

ASPECTOS DA 'NATUREZA DA CIÊNCIA' NUM CURSO DE
FÍSICA DO ENSINO MÉDIO:
UMA ABORDAGEM HISTÓRICA

Marcelo Franco de São Tiago



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física

**ASPECTOS DA 'NATUREZA DA CIÊNCIA' NUM CURSO DE FÍSICA DO
ENSINO MÉDIO: UMA ABORDAGEM HISTÓRICA**

Marcelo Franco de São Tiago

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadores:

Fernando de Souza Barros
Susana Lehrer de Souza Barros

Rio de Janeiro
Abril de 2011

ASPECTOS DA 'NATUREZA DA CIÊNCIA' NUM CURSO DE FÍSICA DO
ENSINO MÉDIO: UMA ABORDAGEM HISTÓRICA

Marcelo Franco de São Tiago

Orientadores:

Fernando de Souza Barros
Susana Lehrer de Souza Barros

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Presidente, Prof. Susana Lehrer de Souza Barros

Prof. Carlos Eduardo Magalhães de Aguiar

Prof. Carlos Benevenuto Guisard Koehler

Rio de Janeiro
Abril de 2011

FICHA CATALOGRÁFICA

S239a São Tiago, Marcelo Franco de
Aspectos da 'natureza da ciência' num curso de
física do ensino médio: uma abordagem histórica. /
Marcelo Franco de São Tiago - Rio de Janeiro: UFRJ /
IF, 2011.
xiii, 138f.: il.;30cm.
Orientadores: Fernando de Souza Barros e
Susana Lehrer de Souza Barros
Dissertação (mestrado) – UFRJ / Instituto de
Física / Programa de Pós-Graduação em Ensino de
Física, 2011.
Referências Bibliográficas: f. 127-138.
1. Ensino de Física. 2. Natureza da ciência. 3.
História da ciência. I. Barros, Fernando de Souza. II.
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de
Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de
Física. III. Aspectos da natureza da ciência num curso
de física do ensino médio: uma abordagem histórica.

Dedico esta dissertação à minha esposa, Simone
e aos meus filhos: Elisa, Maria Clara, Davi
e Mateus – nascendo junto com ela.

Agradecimentos

Agradeço a quem me deu a vida e o mundo ordenado onde ela se realiza. A inteligência para tentar compreendê-los e a capacidade de extasiar-me ante sua beleza. Outros seres como eu, que me compreendem e acolhem. E, acima de tudo, o maior de todos os benefícios, a capacidade de amar e ser amado. Para uns, tudo isto é responsabilidade de partículas, para outros, do acaso. Com profundo respeito por estas e outras visões possíveis, reservo-me o direito de creditá-los a Deus.

Agradeço a meus pais, Lauro e Marcia que me deram tantos bons exemplos que enumerá-los seria impossível. Direi apenas que sempre optaram por mim e pela minha felicidade.

Agradeço a minha esposa, verdadeiro sustentáculo e alimento afetivo para que eu consiga enfrentar as lutas da vida. Como se isso não bastasse, me presenteou com um tesouro: meus filhos. Agradeço a ela também por chegar trazendo o Celso e a Jane, mais dois pais tardios.

Desde que me entendo por gente, meu projeto sempre foi casar e ter filhos. Agradeço aos meus filhos por tomarem parte nele, me amando incondicionalmente (esperando pacientemente o fim deste trabalho).

Agradeço a todos os professores que tomaram parte neste mestrado. Por diferentes razões, gostaria de destacar o Carlos Eduardo e a Marta por sua incansável dedicação administrativa, acadêmica e pessoal; a Deise, pelo leque de idéias interessantes dentro do qual encontrei o caminho para meu trabalho; a Penha, como referencial no uso da história da ciência para enriquecimento do ensino de física e compreensão da natureza da ciência. Agradeço também ao Carlos Koehler, sempre tão receptivo, por aceitar o convite para minha banca.

Agradeço a todos os colegas do curso pelo acolhimento intelectual e afetivo.

Agradeço aos meus alunos, sem eles esse trabalho não teria sentido.

Agradeço aos colegas das escolas em que trabalho por me ajudarem de diferentes formas. Sem eles este trabalho não teria sido possível. Em particular, agradeço ao pessoal do ISERJ: Sandra (diretora geral), Rúbio (diretor do ensino médio), Nilo (coordenador de física), Ana Haum, Eduardo, Miguel e ao meu grande amigo Luciano. Agradeço também às coordenações do Colégio Cruzeiro e do Colégio A. Liessin.

Por fim, mas não menos importante, agradeço ao casal Souza Barros que, por razões que não compreendo, nunca desistiram de mim, mesmo quando eu pensei em fazê-lo. Ao Fernando pelo seu respeito intelectual, apesar do abismo que nos separa. À Susana que, injustamente, aparece apenas como orientadora, quando, em parte, é co-autora. Se não me sinto envergonhado de defender este trabalho diante de uma banca, devo isto a ela. Todos os erros, exageros e omissões são resquícios de minha teimosia que ela não conseguiu demover. Acima de tudo, agradeço por terem se importado.

RESUMO

ASPECTOS DA 'NATUREZA DA CIÊNCIA' NUM CURSO DE FÍSICA DO ENSINO MÉDIO: UMA ABORDAGEM HISTÓRICA

Marcelo Franco de São Tiago

Orientadores:

Fernando de Souza Barros

Susana Lehrer de Souza Barros

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

A ciência tem um profundo impacto na sociedade atual e um dos reflexos disso é o espaço ocupado por ela nos currículos escolares. Há pelo menos um século pesquisadores na área de ensino e cientistas interessados em educação têm proposto que o ensino de ciências inclua elementos sobre a ciência, além dos conteúdos da ciência. Esses elementos, que tratam da origem, do desenvolvimento e da validade do conhecimento científico, constituem aquilo que se convencionou chamar de 'natureza da ciência' (NdC). Neste trabalho apresentam-se as justificativas fornecidas na literatura para a inclusão desses elementos no ensino de ciências. A seguir, são apresentados resultados de pesquisas acerca das idéias que professores e alunos mantêm sobre a NdC. Em geral, estas idéias não correspondem àquelas sugeridas por filósofos e historiadores da ciência. Para o professor interessado em levar elementos da NdC para suas aulas, além de uma imagem informada, é importante saber que elementos estão num nível de complexidade adequado para alunos do ensino médio. Faz-se, então, uma revisão de diferentes métodos utilizados para encontrar visões consensuais da NdC e adequadas para alunos de ensino médio. Dentre as diversas abordagens possíveis para tratar da NdC em sala de aula, é feita a opção pela história da ciência, já indicada pela literatura da área de ensino como instrumento adequado para tal fim. Um conjunto de seis textos fornece elementos da NdC ligados à história das idéias, desde Aristóteles até as que culminaram com a Teoria de Gravitação Universal de Newton. Estes textos são sugeridos como material didático a ser utilizado pelo professor, podendo ser adaptados segundo sua conveniência. Eles trazem sugestões de questões e atividades para proporcionar discussões em torno de diferentes aspectos da NdC.

Palavras-chave: Natureza da Ciência, Ensino de Física, História da Ciência

Rio de Janeiro

Abril de 2011

ABSTRACT

ASPECTS OF 'NATURE OF SCIENCE' IN HIGH SCHOOL PHYSICS TEACHING: A HISTORICAL APPROACH.

Marcelo Franco de São Tiago

Supervisors:

Fernando de Souza Barros
Susana Lehrer de Souza Barros

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

Science has a profound impact on society today as reflected by the space it presently occupies in school curricula. For at least a century researchers in education and scientists interested in education have suggested that science education should include elements about science, beyond the pure content of science. These elements, which deal with the origin, development and validity of scientific knowledge, constitute what is conventionally called 'nature of science' (NOS). In this dissertation justifications to incorporate those elements in science education, as provided in the literature are suggested. Results of research on teachers' and students' ideas about NOS are also raised. Frequently these ideas do not correspond to those suggested by philosophers and historians of science. For those teachers interested in presenting an informed picture of the NOS elements to their classes, it is important to select those that are at a level of complexity appropriate for high school students. A review of different methods used to reach consensus about visions of NOS, appropriate for high school students is also shown. The choice made among several possible approaches to address NOS in the classroom, was the use of history of science, as the science teaching literature points out, being considered an excellent teaching tool for such a purpose. A set of six historical texts subsidizes elements of the NOS which are linked to the history of the ideas, from Aristotle to those that led to the theory of Newton Universal Gravitation. These texts are suggested as didactic material to be used by the teacher and to be adapted for their use in class, according to the school curriculum. They suggest questions and activities to provide discussions on the various aspects of NOS in the classroom.

Keywords: Physics education, Nature of science, History of science

Rio de Janeiro
Abril de 2011

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. Ciência, seu impacto no mundo atual e na educação	1
1.2. A ‘natureza da ciência’ nos cursos de ciências.....	2
1.3. Professores, alunos e a ‘natureza da ciência’	3
1.4. O objetivo deste trabalho.....	4
1.5. História da ciência e ‘natureza da ciência’	5
1.6. O conteúdo deste trabalho	7
2. O(S) SIGNIFICADO(S) DA EXPRESSÃO ‘NATUREZA DA CIÊNCIA’	111
3. JUSTIFICATIVAS PARA A INCLUSÃO DA ‘NATUREZA DA CIÊNCIA’ NO ENSINO DE CIÊNCIAS DO ENSINO MÉDIO	19
3.1. A ‘natureza da ciência’ apresentada em documentos nacionais de orientação curricular.....	19
3.2. Justificativas para a ‘natureza da ciência’ na literatura especializada.....	21
3.3. Justificativas para a ‘natureza da ciência’ nos documentos de orientação curricular internacionais	25
3.4. A ‘natureza da ciência’, a autonomia intelectual e o pensamento crítico.....	27
4. REPRESENTAÇÕES DE ALUNOS E PROFESSORES SOBRE A ‘NATUREZA DA CIÊNCIA’	31
4.1. Representações de alunos acerca da ‘natureza da ciência’.....	32
4.2. Representações de professores acerca da ‘natureza da ciência’	35
4.3. A ‘natureza da ciência’ nos livros didáticos de Física.....	38
4.4. Considerações gerais acerca das representações da NdC.....	41
5. VISÃO CONSENSUAL DA ‘NATUREZA DA CIÊNCIA’ PARA O ENSINO MÉDIO	43
5.1. ‘Natureza da ciência’ – um tema controverso	44
5.2. ‘Natureza da ciência’ – a busca de consenso.....	45
5.2.1. Na literatura de educação em ciências.....	45
5.2.2. Na Filosofia da ciência do século XX	47
5.2.3. Através de um estudo Delphi.....	48
5.2.4. Em propostas curriculares	50
5.2.5. Em livros de divulgação da NdC.....	51
5.3. ‘Natureza da ciência’ – Um consenso em meio aos consensos.....	52

5.4. ‘Natureza da ciência’ e Física – Um exercício de integração.....	54
6. A ‘NATUREZA DA CIÊNCIA’ ATRAVÉS DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA	57
6.1. A História da ciência e o currículo de ciências	58
6.2. A História da ciência e a ‘natureza da ciência’	61
6.3. Aspectos Metodológicos.....	63
6.3.1. Abordagem implícita x abordagem explícita.....	63
6.3.2. Distorções históricas.....	65
6.3.3. Construindo narrativas históricas	68
APÊNDICE – CADERNO DO PROFESSOR: A ‘natureza da ciência’ através do exemplo do desenvolvimento das ideias que levaram à gravitação universal.....	70
ANEXO A – Publicações da AAAS na literatura de ensino de ciências	116
ANEXO B - Análise de livros didáticos de física para o ensino médio quanto ao seu conteúdo de NdC	117
ANEXO C - A NdC na literatura de ensino de ciências.....	121
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

...à questão: “Que é a ciência?”, responderemos que é também uma representação da realidade. Não é mais a representação primeira que Locke e Hume imaginavam, diretamente fabricada com pedaços de realidade, mas antes um quadro abstrato e codificado, mas fiel.

Roland Omnès (1996)

1.1 – CIÊNCIA¹: SEU IMPACTO NO MUNDO ATUAL E NA EDUCAÇÃO

Lançando-se um olhar sobre o passado da humanidade é possível constatar o esforço empreendido pelo homem para representar e compreender a si mesmo e ao mundo à sua volta. Esse esforço tem se apresentado sob formas diversas e constitui aquilo que se tem chamado mito, arte, religião, filosofia, ciência. O surgimento da ciência está, de certo modo, ligado à preocupação com a posse de boas razões para se acreditar nestas representações de si e do mundo.

Desde então, a ciência e sua associada mais direta, a tecnologia, têm alterado o mundo, a vida e as relações sociais como praticamente nenhuma outra criação humana tem feito [Carvalho 2008; McComas, Clough & Almazroa 1998]. Considerem-se as incontáveis aplicações do conhecimento da eletricidade, mais propriamente do eletromagnetismo, da anatomia humana, da ação de substâncias sobre nossos organismos, a geração (transformação) da energia, sua transmissão e seus usos, os meios de transporte, de comunicação, a compreensão dos processos que acontecem no interior, na superfície e na atmosfera terrestre, mas também e infelizmente as armas e as guerras. Sem a imposição de um limite esta lista seria quase infundável. Tudo isso alterou e continua alterando a existência de toda forma de vida nesse planeta. Menos perceptíveis, mas também importantes, são as consequências filosóficas que decorrem de tal conhecimento [Brasil 1999, p.229].

¹ O termo ‘ciência’ é empregado aqui e no que se segue para designar as chamadas ciências da natureza. Esta é uma convenção adotada também pelos autores dos artigos e livros consultados.

Um produto tão importante do esforço intelectual humano não poderia deixar de se fazer presente na escola – instituição destinada, entre outras coisas, à transmissão de uma herança cultural historicamente construída e à reflexão sobre esta herança. De fato, é grande o impacto da ciência nos currículos escolares, como fica patente no trecho citado abaixo:

É uma característica marcante dos sistemas de ensino em todo o mundo que à ciência é invariavelmente concedido um estatuto elevado, e alocados recursos consideráveis, ao longo dos anos de escolaridade obrigatória. Em países de baixa renda, onde as escolhas difíceis sobre a mobilização de recursos são inevitáveis, a ciência é um tema prioritário. Nos países tecnologicamente avançados, a presença da ciência para todos os alunos ao longo da sua carreira escolar está se tornando a norma. [Driver *et al.* 1996]²

Deste modo, podem-se encontrar nos currículos do ensino médio, em maior ou menor grau, conteúdos de Física, Química, Biologia, Astronomia e Geologia. Contudo, *em que pese o estágio avançado do conhecimento científico, é irônico ter de reconhecer que vivemos uma crise sem precedentes na educação das ciências* [Barros & Filipecki 2010]. Apesar dos muitos indicadores do insucesso desses cursos [Carvalho 2008; Silva 2006], não é proposta deste trabalho discutir-lhes a eficiência, no que se refere à apreensão de seus conteúdos. O ponto importante a considerar-se aqui é que, mesmo que esses cursos fossem bem sucedidos na transmissão dos produtos da ciência, uma importante dimensão desta não é tratada como merece. Além dos conteúdos da ciência em si é preciso tratar de conteúdos *sobre* a ciência. É essencial tratar da ‘*natureza da ciência*’.

1.2 – A ‘NATUREZA DA CIÊNCIA’ NO ENSINO DE CIÊNCIAS

A proposta de que o ensino de ciências abranja não só os conteúdos das ciências, mas também conteúdos que tratem da ‘natureza da ciência’ (doravante NdC), tem surgido em um número cada vez maior de artigos na área de ensino de ciências³ e nos currículos de ciências de diferentes partes do mundo⁴. Dentre os muitos países que aderiram a essas recomendações podem-se destacar: Austrália, Canadá, África do Sul, Reino Unido, Estados Unidos, Argentina e França [Lederman 2007; Adúriz-Bravo &

² Tradução do autor.

³ Ver, por exemplo: Millar & Osborne 1998; Matthews 1998a; Meichtry 1999; Smith & Scharmann 1999; Acevedo *et al.* 2005; Monteiro & Nardi 2008.

⁴ Ver, por exemplo: McComas, Clough & Almazroa 1998; Driver *et al.* 1996; Lederman 2007; Adúriz-Bravo & Izquierdo-Aymerich 2009.

Izquierdo-Aymerich 2009] dentre muitos outros. Elementos de NdC também são encontrados no texto dos PCNs [Brasil 1999], apesar de não receberem um tratamento específico como o apresentado no Projeto 2061 [AAAS 1989 e 1993].

Uma revisão da literatura da área mostra que, apesar de atual, a proposta de inclusão da NdC como dimensão curricular remonta ao início do século passado, como indicam Lederman (2007) e Matthews (1998). Numa palestra proferida em 1886, para um grupo de professores do ensino médio, Ernest Mach defendeu que:

Uma compreensão real do mundo e sua civilização, no entanto, não é o único resultado do estudo da matemática e das ciências físicas. Muito mais essencial para a escola preparatória é a cultura formal que vem a partir desses estudos, o fortalecimento da razão e do juízo, o exercício da imaginação. [Mach, 1895]⁵

A inclusão de elementos da NdC no ensino de ciências é fundamental para que a ciência não seja vista como uma caixa preta, uma atividade de gênios privilegiados, *para evitar que a ciência seja percebida como um poder mágico pelos cidadãos* [Barros & Filipecki 2010].

1.3 – PROFESSORES, ALUNOS E A ‘NATUREZA DA CIÊNCIA’

Poder-se-ia supor, dada a ancestralidade da proposta de inserção de aspectos da NdC nos currículos de ciências que, atualmente, os alunos estariam dando mostras de uma razoável compreensão do assunto. Contudo, conforme aponta Lederman em seu artigo de revisão:

A longevidade deste objetivo educacional foi superada apenas pela longevidade da incapacidade dos alunos para articular o significado da expressão ‘natureza da ciência’, e para delinear as características associadas da ciência. [Lederman, 1997]⁶

Quais as causas para esse descompasso entre o que recomendam documentos curriculares e pesquisadores por um lado e a ausência de uma visão adequada da NdC por parte dos alunos por outro? Algumas respostas possíveis: (1) a falta de elementos explícitos da NdC nos cursos de ciências e nos livros didáticos, a despeito das recomendações citadas; (2) a inserção de visões equivocadas sobre a NdC nos cursos de ciências e nos livros didáticos. Os cursos de ciências e os livros didáticos são

⁵ Tradução do autor.

⁶ Idem.

produzidos por professores, com conhecimento científico (Física, Química, Biologia) e que, portanto, deveriam estar habilitados a apresentar uma imagem adequada da NdC. No entanto, segundo Gil-Pérez *et al.* (2001) *...numerosos estudos têm mostrado que tal não acontece...* Assim, qualquer medida que tenha por fim aperfeiçoar a visão da NdC dos alunos tem que levar em conta a necessidade de aperfeiçoar a própria visão de NdC dos professores. Pesquisas na área de ensino de ciências [Abd-El-Khalick & Lederman 2000] têm demonstrado que aumentar o número de disciplinas científicas, de aulas de laboratório, engajar os alunos em pesquisa científica ou em cursos de História da Ciência, sem uma abordagem explícita da NdC, não leva a uma visão mais informada desta.

1.4 – O OBJETIVO DESTE TRABALHO

Um primeiro objetivo deste trabalho é reunir elementos que possam contribuir para a reflexão do professor a respeito do papel da NdC no ensino de ciências. Este objetivo está associado à idéia de que tão importante quanto uma compreensão de conceitos e teorias científicas é a compreensão de como esse conhecimento é construído e de seu ‘status’ epistemológico. É importante destacar que a maioria dos estudantes do ensino médio não seguirá estudos na área das ciências naturais. Deste modo, entre os extensos currículos de ciências do ensino médio atual e, por exemplo, a proposta de letramento científico apresentada por Hazen & Trefil (1995)⁷, é possível encontrar um meio termo que atenda melhor à formação desses alunos. Para tanto, é preciso proporcionar aos alunos condições de desenvolver a capacidade de avaliar a ciência e os conhecimentos por ela produzidos sem a concepção ingênua de que conhecimento científico é conhecimento provado e de que os especialistas são detentores de verdades.

Outra meta deste trabalho é apresentar algumas orientações para a produção de recursos didáticos que permitam aos professores trabalhar elementos da NdC com seus alunos. Um exemplo de tais recursos é apresentado na forma de material didático que acompanha esta dissertação. Essas orientações e a construção do material didático procuram incorporar os resultados de pesquisas na área, evitando as experiências negativas e aproveitando as que demonstraram bons resultados. Contudo, é claro que

⁷ No livro *Saber Ciência*, que é um livro de divulgação científica, seus autores defendem uma proposta de letramento científico através de uma abordagem mais conceitual e menos técnica, menos matemática e, além disso, reduzindo a lista de conteúdos àqueles considerados por eles como os mais importantes para uma compreensão da ciência.

estas orientações e o material didático não representam um caminho único e nem sequer o melhor.

Não se está aqui propondo substituir as aulas de ciências por aulas de Filosofia da Ciência, mas sim fazer um entrelaçamento dos conteúdos que permita aos estudantes não só formar uma visão de como a natureza opera, mas também de como o homem trabalha para produzir essa compreensão. Acredita-se que assim se estará contribuindo para a construção de uma relação muito mais livre⁸ e saudável entre o aluno e a ciência. Não adianta desvendar os fenômenos da *natureza* e manter a *ciência* um mistério, ou pior, transmiti-la através de visões mitificadas, que não correspondem à realidade da pesquisa científica.

Por isso, a proposta deste trabalho é conciliar o ensino de Física no ensino médio com uma abordagem que permita aos alunos adquirir uma visão de ciência que corresponda melhor às características e ao *modus operandi* da ciência. É claro que não se alimenta nenhuma pretensão de que a conceituação de ciência e o estabelecimento de critérios de demarcação entre o que é e o que não é ciência sejam problemas simples, resolvidos e fechados, ou mesmo que possam ser levados em toda a sua profundidade para o ensino médio. Contudo, é também tarefa deste trabalho mostrar que há uma série de elementos da NdC sobre os quais não só há acordo entre os especialistas, como também se encontram em um nível de abstração adequado para serem discutidos no ensino médio.

1.5 – HISTÓRIA DA CIÊNCIA E ‘NATUREZA DA CIÊNCIA’

Muitas são as formas propostas para se abordar a NdC no ensino de ciências. Uma revisão nos principais periódicos⁹ e livros da área¹⁰ e até mesmo em sites da Internet¹¹, produzidos por grupos de pesquisadores, dá uma mostra desta diversidade metodológica. A proposta deste trabalho é utilizar exemplos da história da ciência, para abordar elementos da NdC.

⁸ Sem um entendimento da ‘natureza da ciência’ o aluno estará sempre refém dos “sistemas de especialistas” [Cazelli & Franco 2001], sem possibilidade de pensar criticamente e de se posicionar diante de anúncios de descobertas ou desenvolvimentos científicos. É nesse sentido que se defende que uma compreensão da NdC torna mais livre o aluno.

⁹ Por exemplo: Science & Education, Science Education, Journal of Research in Science Teaching, International Journal of Science Education, Ciência & Educação, Investigação em Ensino de Ciências.

¹⁰ Em especial a segunda parte de McComas (1998).

¹¹ Por exemplo: <http://www.storybehindthescience.org/>; <http://undsci.berkeley.edu/index.php>; <http://sci-ed.org/>.

De acordo com Solomon (1994), a inserção da história da ciência nos currículos de ciências do ensino médio tem sido advogada por um número crescente de pesquisadores de vários países há mais de um século e meio. O historiador da ciência Stephen G. Brush (1974) publicou na revista *Science* um artigo que se tornou um clássico na defesa da inclusão da história da ciência no ensino de ciências.

Matthews (1994) assevera que em tempos e lugares diferentes têm sido propostas as seguintes razões para a inclusão de uma componente histórica nos programas de ensino de ciências:

- 1) A História promove uma melhor compreensão de conceitos e métodos científicos;
- 2) A abordagem histórica conecta o desenvolvimento do pensamento individual com o desenvolvimento de idéias científicas;
- 3) A História da Ciência é intrinsecamente valiosa. Episódios importantes da história da ciência e da cultura – a Revolução Científica, o Darwinismo, a descoberta da penicilina e assim por diante – devem ser familiares para todos os alunos.
- 4) A História é necessária para se compreender a natureza da ciência;
- 5) A História neutraliza o cientificismo e o dogmatismo que são comumente encontrados em textos e aulas de ciências;
- 6) A História, examinando a vida e a época de cientistas individuais, humaniza o objeto da ciência, tornando-o menos abstrato e mais envolvente para os alunos;
- 7) A História permite que sejam feitas conexões dentro dos tópicos e disciplinas da ciência, bem como com outras disciplinas acadêmicas; a História mostra a natureza integrada e interdependente das realizações humanas.¹² [Matthews 1994]

Pode-se observar, assim, que não só há bons motivos para se introduzir a História da Ciência nas disciplinas de ciências, como dentre estes motivos encontra-se o favorecimento da compreensão da NdC. Essa será a opção metodológica seguida neste trabalho. Casos da história da física que levaram à construção de uma teoria de gravitação serão utilizados para permitir que aspectos da NdC sejam identificados e apreendidos. Com isso, espera-se que o aluno consiga apreciar a originalidade das realizações de Newton, ao mesmo tempo em que compreende o caráter coletivo da construção do conhecimento. Espera-se também que o aluno saiba reconhecer o papel da evidência empírica na pesquisa científica, mas reconheça também que toda observação é carregada de teoria; que ele saiba distinguir observação de inferência, hipóteses de leis e estas de teorias, dentre outras idéias que surgirão a seguir.

¹² Tradução do autor.

1.6 – O CONTEÚDO DESTE TRABALHO

A construção deste trabalho se orienta por uma seqüência de perguntas. Deve-se compreender que as respostas oferecidas não pretendem ser completas e/ou definitivas, mas almejam proporcionar uma reflexão informada sobre o assunto. Deseja-se dar alguns passos em direção à solução das dificuldades apresentadas. Para isso, realizou-se uma pesquisa bibliográfica com abrangência e atualidade que servissem aos propósitos mencionados acima.

Os próximos Capítulos desta dissertação surgem como reflexões em torno da seguinte lista de questões, e nessa ordem:

O QUE SE ENTENDE PELA EXPRESSÃO ‘NATUREZA DA CIÊNCIA’?

As modificações ocorridas na maneira como filósofos, historiadores e sociólogos da ciência conceituam a NdC necessariamente se refletem no modo como os educadores de ciências definem a expressão NdC. No Capítulo 2 são apresentadas algumas das definições sugeridas nos documentos curriculares e por pesquisadores da área de ensino de ciências. A partir dessas definições o autor se posiciona em torno daquela que será assumida neste trabalho. Nota-se que a aparente divergência na conceituação da expressão NdC está ligada mais à abrangência do tratamento feito pelos diversos autores do que ao seu significado.

POR QUE INTRODUZIR A ‘NATUREZA DA CIÊNCIA’ NOS PROGRAMAS DE CIÊNCIAS DO ENSINO MÉDIO?

O Capítulo 3 tem a finalidade de apresentar as razões pelas quais se julga importante a inserção da NdC no ensino de ciências. Nele o leitor encontrará um breve histórico das propostas feitas para a inclusão de elementos relacionados às características da ciência, no que diz respeito aos seus aspectos metodológicos, históricos e sociais. São apresentadas também as justificativas fornecidas por alguns especialistas [McComas, Clough & Almazroa 1998; Driver *et al.* 1996; Osborne *et al.* 2001] que fizeram extensas revisões bibliográficas da área.

QUAIS AS IMAGENS DE ‘NATUREZA DA CIÊNCIA’ MAIS COMUMENTE ENCONTRADAS ENTRE PROFESSORES E ALUNOS?

De acordo com o que foi exposto no item 3 acima, o Capítulo 4 apresenta as pesquisas na área de ensino de ciências realizadas com o intuito de mapear as representações dos professores e alunos acerca da NdC e mostra a inadequação destas visões. De fato, de todas as pesquisas feitas envolvendo a temática NdC, o maior número se concentra no mapeamento de tais visões. Elas abrangem alunos de diferentes etapas da escolarização e professores, tanto em formação quanto em serviço, de diferentes disciplinas científicas. Essas pesquisas foram realizadas em diferentes países, dentre os quais se podem citar: Estados Unidos, Reino Unido, China, Turquia e Brasil. [Harres 1999; Gil-Pérez *et al.* 2001; Lederman 2007]

O principal objetivo do Capítulo 4 é apresentar uma síntese dessas visões que permita perceber quais são os pontos críticos e que oferecem maior obstáculo à construção de uma imagem adequada da NdC quando se ensina. Os resultados deste e do Capítulo seguinte serão importantes para a construção do material didático para o professor que acompanha esta dissertação (Apêndice – Caderno do Professor).

QUE ELEMENTOS DE ‘NATUREZA DA CIÊNCIA’ SÃO SUFICIENTEMENTE CONSENSUAIS E ADEQUADOS EM SEU NÍVEL DE COMPLEXIDADE PARA SEREM DISCUTIDOS COM ALUNOS DE ENSINO MÉDIO?

Uma vez que: (1) se está convencido da utilidade e importância de inserir elementos da NdC no ensino de ciências, em particular no ensino de Física do ensino médio; e (2) se considere o afastamento entre as representações de NdC dos professores e alunos da imagem informada pelas pesquisas, o próximo problema que se coloca é o de definir quais os elementos da NdC deveriam ser apresentados para os alunos do ensino médio.

No Capítulo 5 descreve-se por que, apesar da controvérsia existente entre especialistas – filósofos, historiadores e sociólogos da ciência – com relação ao que venha a ser a ciência e como se dá o seu desenvolvimento, foi possível, ao longo do tempo, estabelecer-se um consenso razoável em torno de algumas características básicas da ciência. Entretanto, não basta encontrar elementos consensuais, é necessário que eles apresentem um nível de complexidade compatível com o desenvolvimento cognitivos

dos estudantes do ensino médio. Tendo em vista essa preocupação, foi feito um levantamento destes elementos sobre os quais há acordo entre os escritos de pesquisadores da área de ensino de ciências. Essa escolha se justifica exatamente pelo interesse de que os elementos selecionados sejam adequados para uma discussão no ensino médio. A partir desse levantamento é feita a seleção daqueles componentes que irão direcionar a elaboração do material didático já referido. Esse material tem como público alvo tanto os alunos do ensino médio como os professores de Física deste segmento, conforme sugestão de Develaki (2010).

COMO ABORDAR ELEMENTOS DA ‘NATUREZA DA CIÊNCIA’ NO ENSINO DE FÍSICA DO ENSINO MÉDIO?

Colocada a importância da NdC para o ensino e estabelecidos os conteúdos que devem ser ensinados surge o problema que oferece maior dificuldade: Como fazer?

Responder essa questão é o propósito do Capítulo 6. Nele, faz-se a defesa do uso da História da Ciência para abordar elementos da NdC, inseridos num curso de Física do ensino médio. A História da Ciência possui valores intrínsecos e reivindicações de abordagens históricas no ensino de ciências já têm uma tradição nesta área de pesquisa [Matthews 1994]. Deste modo, o Capítulo começa com um reconhecimento deste valor da História e relaciona alguns dos argumentos apresentados neste sentido.

Em seguida, são apresentados resultados de pesquisas que indicam o uso da História da Ciência para trabalhar aspectos da NdC. As pesquisas revelam, contudo, que o uso da História por si só não garante a eficiência da aprendizagem de elementos da NdC. Assim, neste mesmo Capítulo, são apresentadas orientações em torno de como utilizar a História da Ciência para essa finalidade. Também se consideram os perigos no seu uso e o que deve ser evitado para que ela não acabe por constituir-se em elemento para a propagação de idéias equivocadas e mitos sobre a NdC.

O QUE É O ‘CADERNO DO PROFESSOR’ QUE ACOMPANHA ESTA DISSERTAÇÃO?

O Apêndice ‘Caderno do Professor’ constitui-se de casos históricos da Física relacionados com a construção de uma teoria de gravitação, especificamente escritos para proporcionar reflexões em torno dos elementos da NdC selecionados neste trabalho

para serem introduzidos em sala de aula. Na elaboração deste material levaram-se em conta os resultados apresentados nos Capítulos anteriores, como por exemplo, as visões inadequadas mais comumente apresentadas por professores e alunos a respeito da NdC. Além dos casos históricos a serem trabalhados com os alunos, são descritas orientações a respeito de como utilizá-los para explicitar elementos básicos da NdC.

Como professor de Física do Ensino médio por mais de dez anos, o autor deste trabalho conhece de perto as exigências e limitações impostas por um currículo extenso e uma escola que espera resultados. Desse modo, mesmo que alimentada por um ideal, a proposta apresentada mantém um compromisso com a realidade. Isto se reflete num formato que procura conciliar o ensino de Física com a discussão de elementos da NdC. Assim, é feita uma proposta em que essas discussões possam ocorrer no âmbito de assuntos que já são tratados em sala e fazem parte dos conteúdos programáticos. Acredita-se que esta abordagem pode contribuir também para uma melhor compreensão dos conceitos e teorias da Física, uma vez que parte de sua gênese e desenvolvimento serão apresentados. É importante ressaltar que houve uma intenção explícita de destinar o mínimo de tempo possível daquele que seria dedicado a conceitos de Física para a NdC. Contudo, toda proposta renovadora exige que se façam escolhas. O que este trabalho defende é que dedicar algum tempo à compreensão da NdC constitui-se em benefício para alunos e professores.

Capítulo 2

O(S) SIGNIFICADO(S) DA EXPRESSÃO 'NATUREZA DA CIÊNCIA'

A descoberta mais notável feita por cientistas é a própria ciência.

Jacob Bronowski (1992)

A expressão 'natureza da ciência' tornou-se um jargão na área da educação em ciências e tem aparecido cada vez mais ao longo das últimas décadas em trabalhos publicados nesta área. Propostas curriculares, artigos em periódicos, comunicações em encontros e simpósios e até mesmo um Capítulo¹³ e uma seção¹⁴ em *Handbooks*, tem sido dedicados ao tema. Torna-se, assim, importante, estabelecer o significado de tal expressão na referida área e no escopo deste trabalho.

De fato, o significado da expressão NdC não coloca maiores problemas. A palavra natureza é empregada, aqui, em sua acepção de *essência, conjunto de caracteres particulares, de disposições que distinguem*¹⁵ uma coisa de todas as outras. Pode-se, então, dizer que a NdC trata das questões referentes à essência da ciência, isto é, daquilo que a caracteriza e diferencia de todas as outras disciplinas e construções humanas que não recebem tal denominação.

A ciência é uma forma de se olhar para a natureza, uma representação que se constrói dela. Quando se estuda ciência está-se pesquisando fenômenos e processos do mundo natural. Os seguintes exemplos ilustram questões típicas da ciência: O que é a vida e quais as condições para que ela se desenvolva? Qual a regularidade por trás dos movimentos dos astros? Qual é a idade da Terra? O que é a luz e como ela se propaga? Do que é feita a matéria que compõe tudo o que se encontra a nossa volta? Como o calor se propaga? Como se combinam as diferentes substâncias para formar outras?

¹³ *Handbook of Research on Science Education* (2007)

¹⁴ *Second International Handbook of Science Education* (com publicação prevista para fevereiro de 2011) <http://www.springer.com/education+%26+language/science+education/book/978-1-4020-9040-0> acessado em 08/02/2011.

¹⁵ Dicionário Aurélio Online: <http://www.dicionariodoaurelio.com/>, acesso em 13/02/2011.

A ‘natureza da ciência’ se constitui num olhar para a ciência, que passa então a ser o objeto de estudo. Portanto, as perguntas típicas da natureza da ciência são: O que é a prática científica? O que distingue o conhecimento científico das outras formas de conhecimento? O que assegura a confiabilidade do conhecimento científico? Há um método único para se fazer pesquisa científica? O conhecimento resultante da atividade científica é permanente? A ciência é conhecimento provado?

Mesmo considerando-se que o significado da expressão NdC esteja claro, serão apresentados os tratamentos dados a ela por alguns pesquisadores e educadores em ciências. Isso será feito para apresentar ao leitor uma visão de sua abrangência e as principais idéias e questões a ela relacionadas.

O esquema abaixo, de Driver *et al.* (1996), representa a idéia exposta acima, só que de modo mais sofisticado, fazendo uso do conceito de meta-linguagem¹⁶.

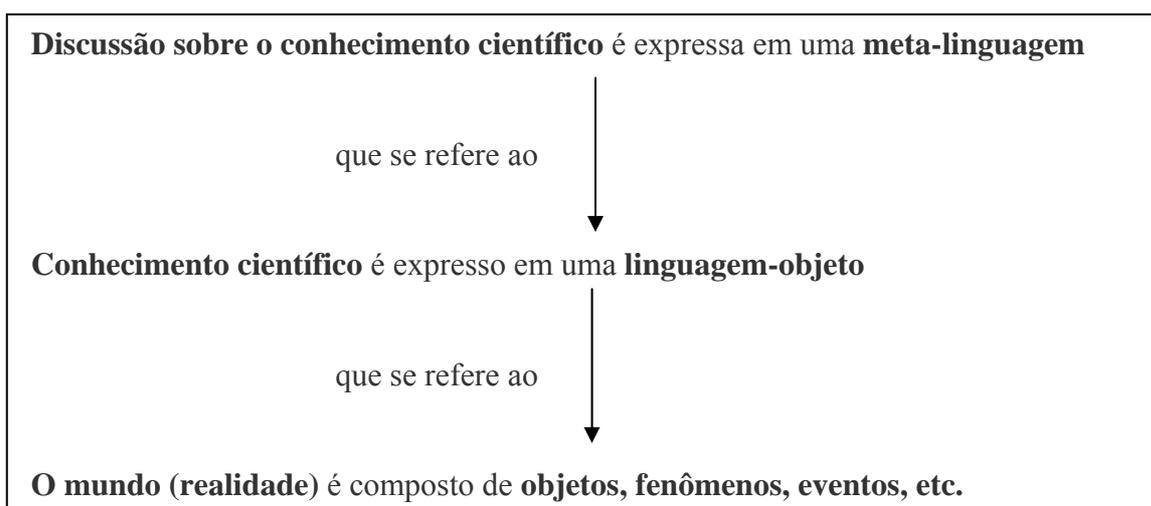


Figura 1 – Relação entre NdC, ciência e mundo factual. [Driver *et al.* 1996]

É natural esperar que as mudanças na forma como a história, a sociologia e a filosofia da Ciência descrevem a ciência tenham reflexos no modo como a educação em ciências conceitua essa expressão NdC. Um único exemplo, suficientemente significativo para deixar isto claro, é o impacto que teve o trabalho de Thomas Kuhn¹⁷, sobre a compreensão que se tem da ciência. As definições de NdC apresentadas por educadores em ciências, antes e depois do trabalho de Kuhn, não permaneceram as

¹⁶ **Meta-linguagem**, em semântica formal, uma linguagem usada para descrever outra linguagem (*a linguagem-objeto*). Audi (1996).

¹⁷ Em particular seu livro ‘A Estrutura das Revoluções Científicas’ [Kuhn 2009]

mesmas. De fato, lançando-se um olhar sobre essa área no último século pode-se perceber essas mudanças. Segue abaixo um sumário destas mudanças, referentes ao século XX, de acordo com artigo de Abd-El-Khalick & Lederman (2000).

Tabela 1 – Alterações na compreensão da NdC na área de educação em ciências no século XX

PERÍODO	CONCEPÇÃO PREDOMINANTE ACERCA DA NdC
1900's	Compreender a NdC é compreender "O Método Científico"
1960's	Ênfase nas habilidades de investigação e processos científicos (por exemplo, observar, formular hipóteses, fazer inferências, interpretar dados e planejar experimentos)
1970's	O conhecimento científico começa a ser descrito como provisório, histórico e humanístico, entre outras características. Nota-se a influência do trabalho de Kuhn.
1980's	Começam a aparecer nas definições da NdC fatores psicológicos como o reconhecimento de que as observações são carregadas de teoria e o papel da criatividade, além de fatores sociológicos como a estrutura social das organizações científicas
1990's	Apenas para citar um exemplo influente, o <i>National Science Education Standards</i> [NRC 1996] enfatizada que apesar da natureza histórica, experimental, empírica, lógica e bem fundamentada das afirmações científicas, necessita-se considerar a interação entre as crenças pessoais, sociais e culturais na geração de conhecimento científico.

Numa das mais recentes revisões bibliográficas acerca da NdC no ensino de ciências Lederman (2007) apresenta a seguinte conceituação: *NdC normalmente se refere à epistemologia da ciência, a ciência como uma forma de saber, ou os valores e as crenças inerentes ao conhecimento científico e seu desenvolvimento.*¹⁸

É possível pensar que o que está sendo chamado de NdC tenha o mesmo significado que Filosofia da Ciência (ou Epistemologia). De fato, a Filosofia da Ciência constitui uma parcela considerável do que se denomina NdC, contudo, esses termos não são sinônimos. Uma pesquisa [McComas & Olson 1998] feita em alguns currículos de

¹⁸ Tradução do autor.

ciências de cinco países diferentes, à procura de elementos de NdC, leva esses autores, dentre outras, à seguinte conclusão: *há indícios de que quatro disciplinas (filosofia, história, sociologia e psicologia da ciência), contribuem para a nossa descrição de como a ciência opera...*¹⁹ Mais detalhes dos resultados dessa pesquisa serão apresentados no Capítulo 4.

A figura 2 abaixo, de McComas & Olson (1998), representa uma aproximação do grau com que cada uma dessas disciplinas contribui para o conhecimento de como a ciência funciona.

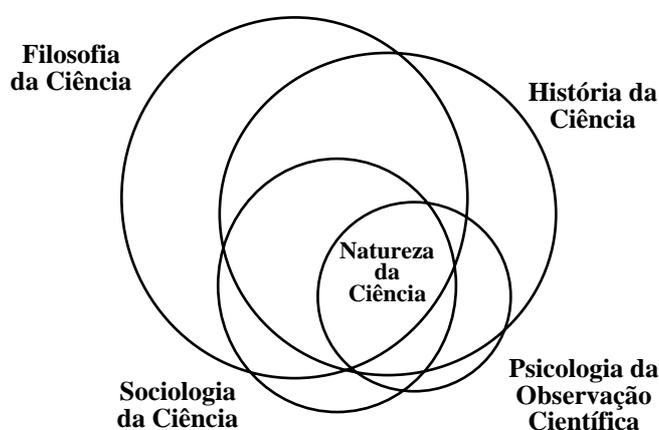


Figura 2 – A natureza da ciência se encontra na interseção das várias disciplinas que contribuem para a construção de uma imagem da ciência. [McComas & Olson 1998]

Em outro artigo [McComas, Clough & Almazroa 1998], é apresentada uma conceituação de NdC:

A expressão “história e filosofia da ciência” (HFC) tem sido utilizada para descrever a interação de disciplinas que informam a educação científica sobre o caráter da própria ciência. No entanto, uma expressão mais abrangente para descrever o empreendimento científico para o ensino da ciência é a “natureza da ciência” (NdC). A natureza da ciência é uma arena fértil e híbrida que combina elementos de vários estudos sociais da ciência, incluindo a história, sociologia e filosofia da ciência combinadas com a investigação das ciências cognitivas, tal como a psicologia, em uma rica descrição do que é ciência, como ela funciona, como os cientistas operam como um grupo social e como a própria sociedade tanto dirige como reage ao empreendimento científico.²⁰ [McComas, Clough & Almazroa, 1998, p. 4]

¹⁹ Tradução do autor.

²⁰ Idem.

Há, ainda, outros pesquisadores, como por exemplo, Crowther, Lederman & Lederman (2005) que consideram que, *para [...] as comunidades de educação científica, a natureza da ciência não é bem definida por uma afirmação concisa, mas é mais bem definida pelos seus componentes*²¹, dentre os quais podemos citar:

- Que a ciência é uma forma de conhecimento, e há crenças e valores inerentes ao desenvolvimento do conhecimento científico [Lederman 1998];
- Que a filosofia, história, sociologia e psicologia da ciência afetam o ensino e a aprendizagem da ciência [McComas, Clough & Almazroa 1998];
- Que a ciência é um esforço humano e que as pessoas de todas as idades, raças, sexos e nacionalidades se dedicam a essa empresa [Weinburgh 2003];
- Que a ciência se baseia em evidências, não lógica ou fé [Weinburgh 2003];
- Nenhum método científico único, universal e passo-a-passo capta toda a complexidade do fazer ciência, [NSTA 2000];
- Criatividade é um ingrediente, ainda que pessoal, vital na produção do conhecimento científico [NSTA 2000];
- Com nova evidência e interpretação, velhas idéias são substituídas ou complementadas por outras mais novas [NSTA 2000]; e
- Embora ciência e tecnologia tenham impacto uma sobre a outra, a pesquisa científica de base não está diretamente relacionada com resultados práticos, mas sim com a compreensão do mundo natural²² [NSTA 2000].

Dois documentos que influenciaram fortemente a área de ensino de ciências, considerando-se o número de citações em artigos²³, dentro e fora do país de origem (Estados Unidos), são as publicações: *Science for All Americans* [AAAS 1989] e *Benchmarks for Science Literacy* [AAAS 1993] da *American Association for the Advancement of Science*. O primeiro Capítulo de ambos os documentos tem como título a expressão ‘A NATUREZA DA CIÊNCIA’. Esse Capítulo não trata de nenhum conteúdo específico da Física, da Química ou da Biologia, mas sim, do conhecimento acerca de como a ciência funciona. Nele são desenvolvidos três temas principais:

(1) **A VISÃO DE MUNDO CIENTÍFICA**: neste tópico são apresentadas certas crenças de ordem metafísica²⁴ (*a natureza do mundo*) e epistemológica (*o que pode ser aprendido sobre ele*) que seriam compartilhadas pelos cientistas.

(a) *O mundo é compreensível* – Tudo na natureza se comporta de acordo com certos padrões que podem ser conhecidos e compreendidos a partir de estudos

²¹ Tradução do autor.

²² Idem.

²³ Justificar esta afirmação exige citar um número razoável de artigos que façam referência a essas publicações. Considerou-se mais apropriado fazê-lo num anexo (Anexo A).

²⁴ Faz-se referência à metafísica enquanto ontologia, isto é, enquanto *doutrina que estuda os caracteres fundamentais do ser* [Abbagnano 2003].

cuidadosos e sistemáticos. Além disso, esses padrões são os mesmos em todo o universo.

(b) *Idéias científicas estão sujeitas a alterações* – É inevitável que novas observações venham a sugerir mudanças em teorias correntemente aceitas, ou que novas teorias venham a explicar uma gama de observações ainda maior do que as teorias anteriores.

(c) *O conhecimento científico é durável* – Apesar de reconhecerem a impossibilidade de se alcançar a verdade, os cientistas consideram que o conhecimento científico é durável. Deste modo, a tendência geral é que, ao longo do tempo, este conhecimento seja modificado ao invés de totalmente abandonado.

(d) *A ciência não pode fornecer respostas completas a todas as perguntas* – Há questões que não podem ser apropriadamente resolvidas pelos mecanismos da ciência como, por exemplo, as questões éticas.

(2) **PESQUISA CIENTÍFICA:** os cientistas que trabalham nas múltiplas disciplinas científicas diferem uns dos outros em aspectos específicos de sua metodologia de trabalho. Ainda assim, concordam sobre o que é uma abordagem cientificamente válida. Isto é possível porque essas diferentes disciplinas científicas têm características comuns como *sua dependência de evidências, o uso de hipóteses e teorias, os tipos de lógica usada, etc.*, que as distinguem de outras atividades humanas.

(a) *A ciência demanda evidências* – A avaliação de afirmações e teorias científicas depende de sua confrontação com dados empíricos. Estes dados podem ser fruto tanto da mera observação como da experimentação controlada, contudo, sem eles não é possível julgar as construções teóricas.

(b) *A ciência é uma combinação de lógica e de imaginação* – A formulação de hipóteses, modelos e teorias é uma atividade essencial da ciência que demanda criatividade. Elas não emergem dos dados, precisam ser inventadas. Contudo, cedo ou tarde, são submetidas aos critérios de validade do raciocínio lógico. É muito comum cientistas discordarem quanto à validade de alguma evidência, hipótese ou teoria, mas costumam estar de acordo sobre as regras de raciocínio lógico que conectam evidências, hipóteses e teorias.

(c) *A ciência explica e prevê* – As teorias científicas são construídas pelos cientistas para explicar os fenômenos observados. Porém, não basta que as teorias

expliquem os fenômenos já conhecidos, é importante que elas levem à previsão de fenômenos novos que, se observados, tornam-se fortes evidências em favor da teoria.

(d) *Os cientistas tentam identificar e evitar preconceitos* – Nacionalidade, gênero, idade, etnia, convicções políticas e religiosas podem influenciar o cientista na construção de teorias, no valor que ele atribui às evidências e nas conclusões que tirará dessas evidências. Os cientistas procuram conhecer as fontes de idéias preconcebidas e seus efeitos para poder evitá-las. Porém isto não é de todo possível.

(e) *A ciência não é partidária do autoritarismo* – A história da ciência tem mostrado que mesmo cientistas de grande destaque numa área de conhecimento podem cometer erros. Deste modo, mesmo que atribuindo grande valor às suas idéias e opiniões, a comunidade científica não as toma como critério de verdade.

(3) **O EMPREENDIMENTO CIENTÍFICO:** a ciência é um empreendimento social, isto é, ela se realiza na esfera pessoal, na esfera institucional e na esfera da sociedade como um todo.

(a) *A ciência é uma atividade social complexa* – A pesquisa científica envolve muitos indivíduos, homens e mulheres de todas as origens étnicas e nacionais. Eles desempenham muitos tipos diferentes de trabalho como, por exemplo, na coleta de dados, na construção de teorias, na construção de instrumentos, ou na comunicação.

(b) *A ciência é organizada em disciplinas e é realizada em várias instituições* – A ciência está organizada em uma multiplicidade de disciplinas que diferem uma das outras por seu objeto de estudo, pelas técnicas empregadas, pela linguagem que utilizam, pelos resultados desejados, entre outros. Porém, no que diz respeito à finalidade e filosofia todas são científicas e partes integrantes do empreendimento científico. Por trás destas disciplinas, e a todo momento surgem novas, estão os órgãos financiadores que podem ser universidades, o estado, indústrias, etc. Essas fontes de recursos financeiros influenciam os rumos que a ciência irá tomar quando decidem o tipo de pesquisa que irá receber apoio.

(c) *Há princípios éticos geralmente aceitos na condução da Ciência* – A ciência, como toda atividade humana, demanda uma ética própria. Uma série de procedimentos como o registro acurado de dados, a ampla divulgação dos resultados, a replicação e revisão por pares, contribuem para que se mantenha uma ética na condução das pesquisas. Além disso, o respeito aos seres vivos envolvidos em pesquisas científicas,

principalmente quando estes são seres humanos, impõem o respeito aos princípios éticos. Faz-se ainda importante a consideração de princípios éticos no que se refere às consequências possivelmente prejudiciais de certas pesquisas científicas.

(d) *Os cientistas participam nos assuntos públicos, quer como especialistas quer como cidadãos* – Os pronunciamentos de cientistas sobre questões públicas podem lançar luz sobre possíveis causas, consequências e até mesmo indicar impossibilidades. Contudo, raramente trazem respostas completas e definitivas para essas questões. Dependendo das questões, é muito difícil para o cientista manter-se isento de seus interesses e idéias preconcebidas, principalmente quando se trate de assunto fora de sua área de especialização.

De todas as conceituações apresentadas sobre o significado da expressão NdC pode-se estabelecer duas classes: (1) as que apresentam a NdC como uma tentativa de caracterizar a ciência, como por exemplo as de Driver *et al.* (1996), McComas & Olson (1998), McComas, Clough & Almazroa (1998) e Lederman (2007); e (2) as que já se comprometem com um determinado conjunto de características para a ciência, como as de Crowther, Lederman & Lederman (2005) e da AAAS (1993). Apenas no Capítulo 5 será estabelecido um compromisso claro com um conjunto determinado de elementos da NdC, mesmo que alguns indícios desse compromisso comecem a surgir antes. Portanto, por enquanto, será feita a opção por uma conceituação mais aberta de NdC. A escolha recaiu sobre as propostas de McComas & Olson (1998) e McComas, Clough & Almazroa (1998). Compreende-se que essas e as outras conceituações não são excludentes, pelo contrário, são complementares. Apenas as de McComas & Olson (1998) e McComas, Clough & Almazroa (1998) se mostraram convenientes pela abertura, concisão e pelo estabelecimento das disciplinas que irão informar a área de educação em ciências para um entendimento da NdC.

Em síntese, a expressão NdC, dentro da área de educação em ciências, foi cunhada para agrupar o conjunto de conhecimentos produzidos por diferentes disciplinas (filosofia, história, sociologia e psicologia da ciência), com a finalidade de contribuir para que os educadores em ciência possam oferecer aos seus alunos uma caracterização mais clara e precisa da atividade científica.

Capítulo 3

JUSTIFICATIVAS PARA A INCLUSÃO DA ‘NATUREZA DA CIÊNCIA’ NO ENSINO DE CIÊNCIAS DO ENSINO MÉDIO

Como Platão insistiu, longo tempo atrás, educação não é apenas a posse de crenças corretas, é a posse de razões adequadas para estas crenças.²⁵

Michael Matthews (1998b)

Na introdução deste trabalho, foram mencionados alguns argumentos que justificam a inserção de elementos da NdC nas disciplinas de ciências do ensino médio. Esses argumentos serão desenvolvidos neste capítulo e a eles serão adicionados outros, extraídos da literatura da área de ensino de ciências.

3.1 – A ‘NATUREZA DA CIÊNCIA’ APRESENTADA EM DOCUMENTOS NACIONAIS DE ORIENTAÇÃO CURRICULAR

Um dos primeiros autores a justificar a importância da NdC para a educação em ciências foi Schwab (1964). Na sua crítica, a ciência é ensinada como *uma retórica de conclusões na qual as construções atuais e temporais dos conhecimentos científicos são transmitidas como verdades empíricas, literais e irrevogáveis*²⁶ [Schwab 1964, apud McComas, Clough & Almazroa, 1998]. Uma idéia semelhante surge no texto “Conhecimentos de Física”, presente nos PCNs [Brasil 1999], onde se lê que, atualmente, o ensino de física *apresenta o conhecimento como um produto acabado*. Ainda no mesmo texto, podem-se destacar os seguintes trechos, importantes para uma reflexão sobre a importância da contribuição da NdC para o ensino de física, mas que pode ser generalizada para as outras ciências:

Espera-se que o ensino de Física, na escola média, contribua para a formação de uma *cultura científica* efetiva, que permita ao indivíduo a

²⁵ Tradução do autor.

²⁶ Idem.

interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. Para tanto, é essencial que o conhecimento físico seja explicitado como um *processo histórico*, objeto de *contínua transformação* e associado às outras formas de expressão e produção humanas. [Brasil 1999, p.229 – grifos do autor]

E um pouco mais adiante:

Ao propiciar esses conhecimentos, o aprendizado da Física promove a articulação de toda uma *visão de mundo*, de uma compreensão dinâmica do universo, mais ampla do que nosso entorno material imediato, capaz portanto de transcender nossos limites temporais e espaciais. Assim, ao lado de um caráter mais prático, a Física revela também uma *dimensão filosófica*, com uma beleza e importância que *não devem ser subestimadas* no processo educativo. [Brasil 1999, p.229 – grifos do autor]

Os destaques do texto não deixam dúvidas sobre a importância atribuída nesse documento às idéias que se relacionam com a NdC, ainda que essa expressão não tenha sido utilizada. A preocupação com um ensino que transcenda a retórica de conclusões pode também ser constatada no texto dos PCNs referente aos conhecimentos de Biologia:

Elementos da *história e da filosofia da Biologia* tornam possível aos alunos a compreensão de que há uma ampla rede de relações entre a produção científica e o *contexto social, econômico e político*. É possível verificar que a formulação, o sucesso ou o fracasso das diferentes teorias científicas estão associados a seu momento histórico. [Brasil 1999, p.219 – grifos do autor]

Na avaliação de El-Hani (2006), esses e outros trechos, contendo idéias semelhantes, presentes nos PCNs, são comentários pontuais que não chegam a estabelecer um compromisso com uma abordagem contextual²⁷ do ensino de ciências. Procedendo-se uma busca pela expressão ‘natureza da ciência’ no texto referente às ciências naturais dos PCNs, o resultado é nulo. Percebe-se que, se por um lado, para um professor ou pesquisador com conhecimentos sobre NdC é fácil reconhecer sua presença nos textos dos PCNs, esta presença está apenas implícita. Mais importante que um nome ou uma expressão, são as idéias que eles veiculam. Contudo, dado o tempo²⁸ que essas idéias vem sendo referidas na literatura da área de ensino de ciências, seria de

²⁷ As abordagens contextuais do ensino de ciências são aquelas nas quais se propõe que a aprendizagem sobre as ciências deve ser acompanhada por uma aprendizagem sobre as ciências [El-Hani 2006].

²⁸ Por exemplo, já em 1954, Wilson publica um artigo na *Science Education* com o título: *A study of opinions related to the nature of science and its purpose in society*, no qual propõe um instrumento para avaliar as concepções de NdC dos estudantes. [Lederman 2007]

se esperar que a expressão NdC surgisse de forma explícita em algum ponto dos textos dos PCNs.

Dentre os diversos documentos nacionais de orientações curriculares, voltados para o ensino de ciências, destaca-se um por avançar de forma explícita no sentido de estabelecer um compromisso com a NdC. É o documento “Reorientação Curricular”, da Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro. No texto “Física no Ensino Médio” encontra-se a seguinte passagem:

Tão importante quanto conhecer os princípios fundamentais da Física é saber *como chegamos a eles, e porque acreditamos neles*. Não basta ter conhecimento científico sobre a natureza; também é necessário entender *como a ciência funciona*, pois só assim as *características e limites* deste saber podem ser avaliados. O estudo da Física coloca os alunos da escola média frente a situações concretas que podem ajudá-los a compreender a **natureza da ciência** e do conhecimento científico. Em particular, eles têm a oportunidade de verificar como é fundamental para a aceitação de uma *teoria científica* que esta seja consistente com *evidências experimentais*. Isso lhes permitirá distinguir melhor entre ciência e pseudociência, e fazer sua própria avaliação sobre temas como astrologia e criacionismo. Eles poderão também reconhecer as *limitações inerentes à investigação científica*, percebendo que existem *questões fundamentais que não são colocadas nem respondidas pela Ciência*. [Aguiar, Gama & Costa 2006 – grifos do autor]

Não só há uma referência explícita à expressão ‘natureza da ciência’, como aparecem indicações claras de quais elementos devem ser trabalhados com os alunos na Física do ensino médio. Portanto, está cada vez mais disseminada a idéia de que a mera apresentação de produtos da atividade científica não é bastante para uma compreensão pública da ciência, ou para o que se convencionou chamar de letramento científico. Há uma crescente compreensão de que é preciso apresentar a ciência como uma construção humana, histórica e social, seus métodos e modos de organização, suas relações com a tecnologia, seu poder e seus limites. Com isso, evita-se a propagação de visões mitificadas de uma ciência feita exclusivamente por gênios, infalível, que cresce através de um acúmulo linear de informações e que é construída a partir da aplicação de um método algoritmo, único e universal.

3.2 – JUSTIFICATIVAS PARA A ‘NATUREZA DA CIÊNCIA’ NA LITERATURA ESPECIALIZADA

O livro *Young People's Images of Science*²⁹ [Driver *et al.* 1996] faz uma revisão bibliográfica sobre os argumentos em favor da compreensão pública da ciência. Após apresentar o resultado dessa revisão, condensado e organizado em cinco argumentos, os autores procuram mostrar que cada um deles tem, como requisito necessário, uma compreensão explícita da NdC. A partir da relação entre compreensão pública da ciência e NdC, as justificativas para sua inclusão no ensino de ciências seriam:

Utilitarista: *Entender a NdC é necessário para dar sentido à ciência e gerenciar os objetos e processos tecnológicos na vida cotidiana.*

Algumas decisões de ordem prática exigem conhecimentos, mas é necessário avaliar a aplicabilidade, confiabilidade e possíveis limitações desses conhecimentos. Esta avaliação não é uma questão da alçada da ciência, mas sim da epistemologia. É claro que algum conhecimento científico também é importante, mas se o conhecimento estiver associado às idéias de infalibilidade, de conhecimento provado e permanente, as decisões podem vir a ser equivocadas. Portanto, além dos conhecimentos propriamente científicos faz-se necessária uma compreensão de elementos da NdC.

Democrática: *Compreender a NdC é necessário para a tomada de decisões esclarecidas sobre questões sócio-científicas.*

Cada vez mais o cidadão comum se vê chamado a participar em debates públicos e a se posicionar sobre temas que envolvem a ciência e são de amplo interesse social. Pode-se citar como exemplo o problema da crescente demanda energética, que exige soluções que aliem eficiência e preservação ambiental, entre muitos outros fatores a serem considerados. Há também as questões relacionadas com a clonagem, com as células-tronco e com os transgênicos, sem mencionar o aborto, a eutanásia e a pena de morte que, apesar de uma grande componente ética, também envolvem questões científicas. Outros exemplos atuais são o efeito estufa e o aquecimento global, o uso de novos materiais, de nanomateriais, o problema da segurança na aplicação das novíssimas tecnologias, etc.

É comum que especialistas discordem sobre quais as causas e soluções para estas questões, além do problema dos interesses econômicos e políticos que influenciam muitas das decisões tomadas pelos governos. Como um leigo poderia, então, se posicionar? De fato, na maior parte dos casos em que estão envolvidas questões sócio-

²⁹ Na tradução do autor: *Imagens de Ciência dos Jovens.*

científicas, a controvérsia maior não está na concordância em torno de modelos ou teorias científicas estabelecidas, mas relaciona-se à sua aplicabilidade à questão em discussão, na confiabilidade dos dados ou na sua interpretação, ou mesmo na sua relevância em dado contexto. Torna-se, portanto, importante uma compreensão de que *explicações científicas são baseadas em modelos que são provisórios e conjecturais*.³⁰ [Driver *et al.* 1996]

Cultural: *Entender a NdC é necessário para apreciar o valor da ciência como parte da cultura contemporânea.*

A conceituação do termo cultura sofreu variações ao longo dos tempos e, ainda hoje, admite múltiplas formas [Abbagnano 2003]. Para a Antropologia, o termo cultura também significa: *Criação de uma ordem simbólica [sendo que] Os símbolos surgem tanto para representar quanto para interpretar a realidade...* [Chauí 1997]

Nota-se que, deste ponto de vista, a ciência está perfeitamente incluída na compreensão de cultura. Diz-se, inclusive, que a ciência constitui-se numa das maiores realizações da cultura humana [Driver *et al.* 1996]. Assim, a ciência deveria ser ensinada, como uma parte importante da cultura, *comunicando uma apreciação da elegância e da poderosa estrutura de idéias desenvolvidas para uma compreensão dos fenômenos e eventos naturais*³¹ [Driver *et al.* 1996]. Deste modo, a presença da figura humana, inserida num contexto histórico e social, a construir o conhecimento, bem como as relações existentes entre ciência e tecnologia, entre ciência e sociedade, deveriam estar presentes numa abordagem cultural da educação científica.

Moral: *Entender a NdC ajuda a desenvolver uma compreensão das normas da comunidade científica que incorporam os compromissos morais, os quais são de interesse geral para a sociedade.*

Há, na prática da ciência, certas normas às quais os cientistas precisam se submeter a fim de que a ciência avance. Estas normas fornecem prescrições de ordem ética, cujo valor se estenderia para além da prática da ciência. Exemplos dessas normas seriam o universalismo, o desinteresse, a crítica de idéias e a liberdade de pensamento. Estas características da atividade científica constituem parte da NdC. Além disso, há as

³⁰ Tradução do autor.

³¹ *Idem.*

questões éticas relacionadas ao mau uso da ciência como, por exemplo, a construção de armas químicas, biológicas e nucleares, consequências da pesquisa de natureza militar.

Aprendizagem das ciências: *Entender a NdC facilita a aprendizagem de assuntos científicos.*

Nas aulas de ciências, os alunos são expostos a idéias apresentadas em forma de conceitos, leis e teorias, além de, algumas vezes, fazerem experiências cujos dados e resultados serão discutidos com os colegas e o professor. A compreensão da relação entre esses elementos (dados empíricos, leis, teorias) e do propósito mesmo da ciência, fica comprometida sem um entendimento da NdC. Por exemplo, o aluno pode pensar que as leis e teorias emergem dos dados empíricos ao invés de perceber o caráter conjectural da interpretação dos mesmos. Sem uma compreensão da NdC, a ciência pode ser vista como um acúmulo de fatos sobre o mundo natural e os fenômenos que nele ocorrem sem que se aprecie seu propósito de fornecer explicações generalizadas para tais objetos e fenômenos.

Numa ampla revisão da literatura sobre a NdC, Lederman (2007) reconhece o valor destes argumentos, porém, ressalta que *neste momento, os argumentos são basicamente intuitivos, com pouca evidência empírica.*³² Ele não pretende enfraquecer os argumentos em favor da NdC no ensino mas sim estimular a produção de mais pesquisas na área, para fundamentar ações futuras. Num outro artigo sobre os motivos comumente apresentados para incluir a NdC no ensino de ciências [Acevedo *et al.* 2005], os autores chamam a atenção para o desacordo entre resultados empíricos e algumas das afirmações feitas para justificar a NdC no ensino. Em particular, eles destacam que pesquisas feitas mostram que outros elementos têm uma influência maior do que a compreensão da NdC na tomada de decisões sobre assuntos tecnocientíficos de interesse social. Ainda assim, os autores desse trabalho se colocam favoráveis à inclusão de elementos da NdC no ensino de ciências. Seu propósito, apenas, é alertar para um maior rigor na divulgação de idéias que devem buscar o apoio de pesquisas empíricas a fim de não se constituírem em mitos sobre o ensino das ciências.

A importância das chamadas meta-ciências (disciplinas que teriam nas ciências o seu objeto de estudos), com ênfase para a filosofia e a história da ciência, é destacada também em artigo mais recente, publicado na revista *Science & Education* [Adúriz-

³² Tradução do autor

Bravo & Izquierdo-Aymerich 2009]. Seus argumentos podem ser resumidos nos três pontos seguintes:

1. A história e a filosofia da ciência devem integrar os currículos de ciências para uma compreensão da ciência como atividade humana, um dos objetivos centrais do letramento científico para todos.

2. A história e a filosofia da ciência oferecem novas e melhores abordagens para o ensino, as quais ajudam os professores de ciências a ter uma atuação mais eficiente.

3. A filosofia e a história da ciência fornecem aos professores uma perspectiva meta-cognitiva crítica, através da prática de questionamento, que pode favorecer a sua autonomia, auto-regulamentação e profissionalização.

Um ponto a ser destacado no trabalho citado acima é a importância atribuída à NdC, no que se refere à metodologia de ensino. Considera-se que sua inclusão ajude os professores de ciências a atrair a atenção dos alunos e a facilitar-lhes a construção de uma imagem mais esclarecida da ciência. Por exemplo, ao humanizar a atividade científica e contextualizá-la historicamente e socialmente, o professor estará favorecendo o interesse de alunos com aptidões para as humanidades e que, muitas vezes, repelem as ciências e a matemática.

3.3 – JUSTIFICATIVAS PARA A ‘NATUREZA DA CIÊNCIA’ NOS DOCUMENTOS DE ORIENTAÇÃO CURRICULAR INTERNACIONAIS

Quando se examinam as mais recentes propostas de reformas curriculares no ensino de ciências, nota-se que a compreensão da NdC tem assumido papel central enquanto conteúdo a ser trabalhado com os alunos, além dos tradicionais conteúdos científicos. No documento *Beyond 2000: Science education for the future*, são apresentadas dez recomendações para guiar o ensino de ciências. Na 6ª lê-se:

O currículo de ciências deve proporcionar aos jovens uma compreensão de algumas idéias-chave, sobre a ciência, isto é, as idéias sobre as maneiras pelas quais o conhecimento confiável do mundo natural tem sido, e está sendo obtido.³³ [Millar & Osborne 1998]

Já em 1985, a Royal Society [Driver *et al.* 1996] apresentou idéias semelhantes quanto ao ensino de ciências ao propor que *compreender inclui não apenas os fatos da*

³³ Tradução do autor

ciência, mas também o método e suas limitações, bem como uma avaliação das implicações práticas e sociais.³⁴ No currículo do País de Gales [WAG 2008] estão presentes:

1. O papel do pensamento criativo na interpretação de dados e promoção de evidências para testar idéias e desenvolver teorias.
2. O papel de teorias e modelos para explicar fenômenos.
3. O reconhecimento de que o conhecimento científico muda ao longo do tempo e não pode resolver todas as questões.

O documento de orientação curricular australiano organiza o currículo de ciências em torno de três frentes interligadas: *a compreensão da ciência; habilidades de investigação científica, e a ciência como um esforço humano*. O primeiro destes três itens agrupa o conhecimento científico em si, os outros dois itens se referem à NdC. Vê-se, assim, a dimensão das questões referentes à NdC no currículo australiano. No mesmo documento pode-se ler que:

Os alunos devem valorizar a ciência por sua racionalidade, a natureza provisória, mas de confiança de seus conhecimentos e sua objetividade, seu caráter compartilhado, sua transcendência de fatores locais, a sua abertura, e sua comunicabilidade. Isto faz da ciência um poderoso esforço humano.³⁵ [ACARA 2009]

Um exame da literatura de ensino de ciências mostra que muitos documentos de reforma e orientação curricular de outros países têm acompanhado essa tendência de valorização da NdC no ensino de ciências [Adúriz-Bravo & Izquierdo-Aymerich 2009; Lederman 2007; McComas & Olson 1998]. Contudo, os documentos onde a temática ganha o maior desenvolvimento são os já citados *Science for All Americans* [AAAS 1989] e *Benchmarks for Science Literacy* [AAAS 1993] da *American Association for the Advancement of Science*. Neles podem-se encontrar os seguintes argumentos para justificar a inclusão da NdC no ensino de ciências:

- Quando as pessoas sabem como os cientistas fazem seu trabalho e chegam a conclusões científicas, e quais são as limitações de tais conclusões, eles são mais propensos a reagir com ponderação em relação às reivindicações científicas e menos propensos a rejeitá-las ou aceitá-las acriticamente. [AAAS 1989 e 1993]
- Uma vez que as pessoas ganham uma boa noção de como a ciência funciona — juntamente com um inventário básico de conceitos-

³⁴ Tradução do autor.

³⁵ Idem.

chave como base para a aprendizagem mais tarde — eles podem seguir a história de aventura da ciência à medida que ela se desenrola durante suas vidas. [AAAS 1989 e 1993]

- As imagens que muitas pessoas têm da ciência e de como ela funciona são frequentemente distorcidas. Os mitos e estereótipos que os jovens têm sobre a ciência não são descartados quando o ensino da ciência centra-se estritamente nas leis, conceitos e teorias da ciência. Assim, o estudo da ciência como uma forma de saber precisa ser explicitado no currículo.³⁶ [AAAS 1989 e 1993]

O conjunto dos esforços empreendidos por todos os pesquisadores e profissionais da área de ensino de ciências, que resultaram em diversos documentos de orientação curricular, dos quais apenas alguns foram citados, forma um verdadeiro arrazoado em favor da inclusão de elementos chave da NdC no ensino de ciências. Ignorar isto é trabalhar em favor da manutenção de uma visão mítica e distorcida da ciência.

3.4 – A ‘NATUREZA DA CIÊNCIA’, A AUTONOMIA INTELECTUAL E O PENSAMENTO CRÍTICO

O escopo deste trabalho é o do ensino de ciências e, mais particularmente, o do ensino de Física no ensino médio. Já em 1989, João Zanetic, reconhece a utilidade de abordagens de NdC (mesmo que sem se utilizar do termo) no ensino de Física e pontua a posição privilegiada desta ciência com relação a tais abordagens.

A filosofia das ciências naturais, que tem passado por um estimulante debate nas últimas décadas, está suficientemente madura para já constituir um efetivo ingrediente educacional das ciências, sobre as quais desenvolve o seu discurso, e a física, nesse contexto é particularmente privilegiada, pois, além de servir como objeto de estudo preferencial desses filósofos, é a mais adequada a muitas das teorizações devido à sua própria história, tão rica em mutações fundamentais. [Zanetic 1989]

No entanto, é possível mostrar que a existência de elementos da NdC no ensino de ciências presta serviço a objetivos mais amplos à educação das crianças e dos jovens. O documento nacional que traça os objetivos da educação de crianças e jovens no Brasil, e que deve ser para todos, é a LDB (Lei de Diretrizes e Bases). O texto dessa Lei pode ser lido nos PCNs do ensino médio, na seção denominada “Bases Legais”. O artigo 35 estabelece como uma das finalidades do Ensino Médio *o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico*. [Brasil 1999]. Infelizmente, a

³⁶ Tradução do autor

constatação de que o ensino não tem se voltado a esse objetivo pode ser encontrada no próprio texto dos PCNs. Neste documento, reconhece-se que, frequentemente, o ensino de Física ocorre através da apresentação desarticulada e descontextualizada de fórmulas e conceitos, privilegiando a abstração desde o início e insistindo em exercícios repetitivos, apostando com isso, na automação e memorização. Além disso, seus conteúdos são apresentados como produtos prontos e acabados, fruto do trabalho de gênios, sugerindo que não resta mais nada a fazer. Esta descrição mostra o quanto o ensino de física está afastado da formação de um pensamento crítico e autônomo.

Uma vez que o ensino de física e o ensino de ciências em geral, estão inseridos no contexto mais amplo da educação básica, fica claro que os objetivos de ambas não podem entrar em conflito. Cabem, pois, as seguintes perguntas:

— Que tipo de ensino de física pode contribuir para o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico?

— Qual o estímulo para o desenvolvimento de uma autonomia intelectual e de um pensamento crítico na transmissão de verdades prontas e acabadas, obtidas através de um método infalível, único e universal, por gênios de inteligência privilegiada?

— É possível excluir a NdC do ensino de física e, ainda assim, contribuir para uma autonomia intelectual e um pensamento crítico?

— É possível transmitir e reforçar idéias inadequadas sobre a NdC no ensino de física e, ainda assim, contribuir para uma autonomia intelectual e um pensamento crítico?

As idéias apresentadas até aqui conduzem ao reconhecimento de que a inclusão de elementos da NdC no ensino de ciências torna-se essencial, não só para atender aos objetivos traçados para o ensino de ciências, mas para que se atinjam os objetivos mais amplos da educação. Numa tese de doutorado defendida recentemente, que aborda a NdC no ensino de Física do ensino médio, encontra-se apoio para estas idéias:

Conhecer sobre as ciências e não apenas os conteúdos científicos, mas também seus pressupostos, limites de validade e influências contextuais, permite criticar o dogmatismo geralmente presente no ensino de ciências, além de promover o pensamento reflexivo e crítico. [Forato 2009]

É esta compreensão da importância da NdC para a autonomia e pensamento crítico que levou os autores do documento americano citado acima a afirmar que *de*

*fato, à medida que os estudantes movem-se através da escola, eles devem ser encorajados a perguntar mais e mais, 'Como sabemos que é verdade?'*³⁷ [AAAS 1989].

Medeiros e Bezerra Filho são enfáticos no que diz respeito à relação entre a NdC e o pensamento crítico, como se pode ver pelo trecho abaixo:

A ciência não pode ser ensinada como um dogma inquestionável. Um ensino da ciência que não ensine a pensar, a refletir, a criticar, que substitua a busca de explicações convincentes pela fé na palavra do mestre, pode ser tudo menos um verdadeiro ensino da ciência. É antes de mais nada um ensino de obediência cega incorporado numa cultura repressiva. [Medeiros & Bezerra Filho 2000]

Bertrand Russell³⁸, cujos escritos trataram de diversas áreas de interesse, já defendia estas idéias no ensaio *On Education*, publicado na época da Primeira Guerra Mundial. Nesse texto Russell afirma que o objetivo da educação não deveria ser o de tornar as crianças adeptas de uma maneira particular de ver as coisas, mas de torná-las capazes de escolher entre as diversas maneiras de fazê-lo, também não deveria ser o de fazê-las pensar como seus professores, mas ensiná-las a pensar de forma crítica e independente [apud. Matthews 1998a].

Diante dos problemas relacionados ao impacto ambiental gerado por uma sociedade de consumo, é fundamental que a escola se posicione e ajude a formar cidadãos críticos e com pensamento autônomo. Não basta que a escola seja uma mera transmissora de verdades prontas e descoladas dos problemas sociais, dos problemas ambientais e, para isso, o ensino de ciências pode e deve prestar um importante serviço. É a formação do cidadão preconizada nos PCNs e em diversos artigos na área de ensino de ciências, como o citado a seguir.

Para se proteger contra os riscos da produção e do consumo, é preciso que o cidadão se identifique com a cultura científica. Essa identidade não é gratuita e precisa de formação continuada a partir da aquisição das primeiras letras, sendo dependente de aspectos contextuais e estruturais do ambiente onde está se desenvolvendo. A característica da universalidade da ciência a torna um dos grandes elementos globalizadores, e compreendê-la é essencial para que o ser humano assuma seu papel de ator e não de mero expectador dos eventos globais. [Barros & Filipecki 2010]

³⁷ Tradução do autor

³⁸ Bertrand Russell (1872 – 1970) foi um dos mais influentes matemáticos, filósofos e lógicos que viveram no século XX. Recebeu o Nobel de Literatura de 1950, "*em reconhecimento dos seus variados e significativos escritos, nos quais ele lutou por ideais humanitários e pela liberdade do pensamento*". http://pt.wikipedia.org/wiki/Bertrand_Russell - acessado em fevereiro de 2011.

Muitas justificativas foram apresentadas para que o ensino de ciências incorpore aspectos da NdC em seus currículos e, mais particularmente, o ensino de física. No entanto, isso não significa que o autor valore igualmente todas elas. Por exemplo, reivindicações de ordem utilitária têm sido questionadas em pesquisas recentes [Acevedo 2005] e são considerados pelo autor como menos convincentes. São considerados muito importantes os apelos de ordem **cultural**: proporcionar uma maior e melhor apreciação da ciência, a partir do entendimento de seus processos internos (os métodos e procedimentos que a caracterizam) e contextuais (sua dimensão histórica e social), humanizando a ciência. Igualmente importantes são as reivindicações para que o ensino se dê de tal forma que os jovens sejam estimulados a desenvolver um **pensamento crítico e autônomo**. Defende-se, aqui, a idéia de que só através de uma consideração séria e consistente da NdC esses objetivos podem ser alcançados.

Capítulo 4

REPRESENTAÇÕES DE ALUNOS E PROFESSORES SOBRE A ‘NATUREZA DA CIÊNCIA’

Compreendemos hoje, com especial clareza, o quanto estão equivocados os teóricos que acreditam que a teoria provém da experiência, por indução. Nem o grande Newton conseguiu escapar desse erro (“Hypotheses non fingo”).

Albert Einstein (1994)

No Capítulo anterior foram apresentadas justificativas para que o ensino de ciências, em particular o de Física no ensino médio, inclua elementos da NdC. Para tanto, é importante conhecer as representações de professores e alunos em relação à NdC. Esse conhecimento será necessário tanto para a seleção dos elementos de NdC que serão trabalhados, como para a definição da ênfase que será dada a eles.

Já está bem estabelecido na área de ensino de ciências que os alunos trazem concepções³⁹ sobre os fenômenos naturais que são anteriores à sua escolarização formal e que estas, normalmente, não correspondem às concepções científicas. Sabe-se, também, que a explicitação dessas concepções prévias dos alunos é muito importante no processo de ensino-aprendizagem e que os professores devem levá-las em consideração ao planejarem sua ação pedagógica. Deste modo, não poderia ser diferente no que concerne à NdC. Aliás, o problema relativo à NdC é maior uma vez que a literatura da área [Harres 1999; Gil-Pérez *et al.* 2001; Lederman 2007] tem apontado que os próprios professores possuem representações inadequadas a respeito das características da ciência. Estudar a questão das concepções dos professores referentes à NdC envolve variáveis que fogem ao escopo deste trabalho, como por exemplo a questão da formação universitária⁴⁰, onde pouco ou nada é trabalhado a respeito da NdC.

³⁹ São as concepções alternativas, ou espontâneas, ou prévias, que têm sido estudadas por quase cinquenta anos e encontram-se mapeadas para muitas áreas da física (mecânica, termologia, ótica, eletromagnetismo, etc.)

⁴⁰ Os professores Olival Freire, na Bahia e Luiz Peduzzi, em Santa Catarina, entre outros, têm descrito disciplinas nos cursos de licenciatura em Física que abordam aspectos epistemológicos da ciência.

O objetivo deste trabalho é oferecer subsídios para que os professores em atividade se interessem pelo tema e tenham algumas diretrizes acerca de como levá-lo à sala de aula. Para isso, além das orientações recolhidas na literatura da área e apresentadas nos Capítulos desse trabalho, o apêndice “Caderno do Professor” apresenta um material didático que pode ser utilizado diretamente com os alunos, ou servir de referência para que o professor produza o seu. Ao mesmo tempo, procura-se também apresentar recursos sobre como o professor pode e deve continuar seus estudos sobre o assunto, a partir da bibliografia citada.

Devido ao fato de ser muito grande o número de artigos publicados na área de ensino de ciências relacionando as representações de alunos e professores a respeito da NdC, neste trabalho, serão utilizados como principais referências as revisões realizadas por Harres (1999), Gil-Pérez *et al.* (2001) e Lederman (2007). Além delas, serão referidos alguns trabalhos mais atuais, porém de menor abrangência, com o intuito de verificar se houve mudança significativa nos resultados das revisões anteriores.

4.1 – REPRESENTAÇÕES DE ALUNOS ACERCA DA ‘NATUREZA DA CIÊNCIA’

O desenvolvimento de instrumentos de avaliação a respeito das representações dos alunos sobre a NdC é um Capítulo relativamente recente na história da área de ensino de ciências e mesmo em relação às reivindicações em torno da NdC. Contudo, sua riqueza e complexidade exigem um tratamento próprio que não será realizado neste trabalho. Assim, questões acerca de validade, abrangência e foco destes mesmos instrumentos não serão consideradas. O que se segue é apenas um resumo dos resultados obtidos ao longo dos anos em que estes instrumentos foram aplicados.

Harres, em sua revisão de 1999, baseia-se naquele que havia sido, até então, o maior trabalho de revisão [Lederman 1992] a respeito das concepções de alunos e professores sobre a NdC. Nesse artigo, Lederman (1992) apresenta o resultado de mais de 20 trabalhos apenas sobre as concepções dos alunos de ensino médio. Harres relata que as concepções inadequadas mais frequentemente encontradas são as seguintes:

- a consideração do conhecimento científico como absoluto;
- a idéia de que o principal objetivo dos cientistas é descobrir leis naturais e verdades;
- lacunas para entender o papel da criatividade na produção do conhecimento;

- lacunas para entender o papel das teorias e sua relação com a pesquisa;
- incompreensão da relação entre experiências, modelos e teorias.

Em seu artigo de revisão de 2007, Lederman aponta que os poucos trabalhos realizados depois de sua grande revisão de 1992 apresentam resultados coerentes com os anteriores. (ou seja, não houve mudança e continua a falta de preocupação com a introdução de NdC, exatamente como acontece na educação ao longo de tantas décadas). Por exemplo:

- visão empirista/absolutista da ciência;
- não compreensão do conhecimento científico como sendo provisório, parcialmente subjetivo e envolvendo criatividade;
- idéias menos adequadas dos seguintes aspectos da NdC: a provisoriedade, a criatividade, a parcimônia, a unicidade do conhecimento, a importância do teste empírico, e a natureza amoral do conhecimento científico.

Em 2008 foi publicado um trabalho [Dogan & Abd-El-Khalick 2008] que apresenta uma pesquisa sobre as representações de NdC de alunos e professores da Turquia. Responderam aos questionários, 362 professores e 2020 alunos de 1º ano do ensino médio de 21 cidades (três de cada uma das sete regiões geográficas da Turquia). As cidades foram escolhidas de modo que as diferentes classes socioeconômicas estivessem representadas. Antes de apresentar os resultados dessa pesquisa os autores do trabalho procederam a uma revisão da literatura. Esta revelou que a maioria dos estudantes do ensino médio não tinham um entendimento sobre vários dos aspectos importantes da NdC, incluindo-se: o papel da criatividade na ciência; a natureza e a relação entre os vários tipos de construções científicas; o caráter provisório do conhecimento científico; a natureza e a função dos modelos científicos; a natureza do raciocínio científico; a ausência de distinção entre ciência e tecnologia.

A pesquisa com os professores e estudantes turcos mostrou que: 1º) eles não mantiveram visões consistentes através dos diferentes conceitos da NdC em foco; 2º) para a maioria dos elementos da NdC que foram alvo da pesquisa, professores e alunos apresentaram visões virtualmente idênticas; e 3º) a grande maioria dos alunos e professores participantes apresentaram representações consideradas ingênuas e/ou parcialmente informadas sobre a maioria dos aspectos da NdC abordados.

Abaixo são listadas as representações consideradas inadequadas sobre a NdC, apresentadas pela maioria dos estudantes pesquisados:

- Os modelos científicos são cópias da realidade, porque, entre outras coisas, os cientistas dizem que eles são verdadeiros ou porque muitas observações científicas e/ou pesquisas têm mostrado que eles são verdadeiros;
- Quando se prova que uma hipótese é correta ela se torna uma teoria; quando pessoas diferentes provam muitas vezes que uma teoria é verdadeira ela se torna uma lei;
- As teorias foram descobertas porque elas estão “lá fora” para serem encontradas ou porque elas são baseadas em fatos;
- Os cientistas não fazem suposições durante o desenvolvimento do conhecimento científico, ou os cientistas têm que fazer suposições “corretas”, ou os cientistas tem que mostrar que essas suposições são corretas antes de prosseguir com seu trabalho;
- A ausência de apreciação do papel da criatividade na produção de conhecimento científico através de suas respostas aos itens que tiveram como alvo o estatuto epistemológico das hipóteses científicas, leis e teorias.

Para corroborar a idéia de que a maioria dessas representações permanece presente nas visões dos alunos sobre a NdC, são apresentados os resultados de uma revisão bibliográfica recente [Teixeira, Freire & El-Hani 2009]. De acordo com os artigos considerados nessa revisão, os alunos frequentemente apresentam as seguintes concepções de NdC:

- Compromisso com uma visão epistemológica absolutista, de acordo com a qual uma forma de conhecimento pode ser entendida como definitiva e absolutamente verdadeira;
- Visão empírico-indutivista da ciência, segundo a qual o conhecimento científico é obtido por generalização indutiva a partir de dados de observação destituídos de qualquer influência teórica e/ou subjetiva, o que asseguraria a natureza verdadeira das proposições científicas;
- Crença na existência de um método único, que seria capaz de assegurar a verdade absoluta das afirmações científicas sobre o mundo; ausência de reconhecimento do papel da criatividade e da imaginação na produção do conhecimento científico;

- Falta de compreensão dos conceitos metateóricos ‘fato’, ‘evidência’, ‘observação’, ‘experimentação’, ‘modelos’, ‘leis’ e ‘teorias’, bem como de suas inter-relações etc.

4.2 – REPRESENTAÇÕES DE PROFESSORES ACERCA DA ‘NATUREZA DA CIÊNCIA’

As representações de NdC dos professores serão apresentadas com base na revisão bibliográfica e na pesquisa realizada por Gil-Pérez e colaboradores [Gil-Pérez *et al.* 2001]. Este artigo é considerado suficiente, pelas seguintes razões: (a) eles apresentam uma revisão bibliográfica bastante completa (189 artigos) nos principais periódicos da área, entre os anos de 1984 e 2000, (b) eles conduzem uma pesquisa própria com grupos de professores, através de diversos *workshops*, ministrados pelos próprios autores, (c) pela forma clara e concisa com que foram combinados, organizados e apresentados os resultados da revisão e da pesquisa em seu trabalho. Foi consultado um artigo de Lederman (2007) mais recente, mas ele não acrescenta mudanças relevantes nos resultados de Gil-Pérez e colaboradores.

A seguir, apresenta-se um resumo dos resultados das pesquisas de Gil-Pérez e colaboradores acerca das concepções de NdC dos professores.

1. Concepção empirico-indutivista e ateórica

A observação e a experimentação não seriam influenciadas por idéias preconcebidas, seriam “neutras”. Tanto as hipóteses como as teorias viriam após, emergindo dos dados obtidos, nunca antes, orientando a investigação. A experimentação e a descoberta seriam a essência da atividade científica. Esta é a concepção de maior incidência nos artigos da literatura da área (citada em 89 artigos), portanto, uma das mais comuns entre os professores.

2. Visão rígida (algorítmica, exata, infalível, ...)

O “método científico” surge como um conjunto de passos a serem seguidos rigidamente e que, com isso, leva seguramente a resultados exatos. Nesta concepção de NdC tem grande destaque o tratamento quantitativo e o controle rigoroso, em detrimento de tudo o que se refira à criatividade, ao caráter provisório, e à dúvida. É outra concepção amplamente relatada na literatura (citada em 60 artigos) e difundida entre os professores.

3. Visão aproblemática e ahistórica (dogmática, fechada)

De acordo com essa visão são transmitidos os conhecimentos já elaborados, sem referência alguma aos problemas que lhes deram origem, a sua formulação, aos problemas para que fossem aceitos pela comunidade científica e a sua evolução. Sem esses elementos os alunos deixam de enxergar as limitações e perspectivas do conhecimento atual. Vários autores⁴¹ têm defendido o valor do ensino de ciências historicamente contextualizado. Entre suas alegações pode-se destacar a humanização das ciências e a idéia de que a compreensão de um conceito pode ser facilitada quando se compreende a questão que se tinha de resolver. Ou seja, é preciso que se considere o que, sobre isso, disse Bachelard (2008, p.18): *Para o espírito científico, todo conhecimento é resposta a uma pergunta. Se não há pergunta, não pode haver conhecimento científico*. Essa visão aparece em 59 dos artigos citados.

4. Visão exclusivamente analítica

Nessa visão, as diferentes disciplinas e mesmo partes das disciplinas científicas são tratadas de modo independente, sem que se evidenciem os esforços de unificação empreendidos posteriormente. Deste modo, o empreendimento científico pode ser visto como um esforço para resolver uma multiplicidade de problemas particulares, quando deveria ser visto como um esforço para a construção de corpos coerentes de conhecimento onde, a partir de alguns princípios básicos, possa-se explicar muitos fenômenos naturais. A história da ciência é rica em oferecer exemplos de visões unitárias que enfrentaram uma forte oposição inicial, mas que acabaram prevalecendo: o heliocentrismo na Astronomia, o evolucionismo na Biologia, a síntese orgânica, na Química, etc. Esta visão não é tão referida pela literatura (citada em 16 artigos – poucos comparados com os 89 que citam a visão empírico-indutivista e atórica).

5. Visão acumulativa de crescimento linear

Nessa visão o crescimento do conhecimento científico ocorre de forma linear e puramente acumulativa. Para propor uma imagem, é como naquelas corridas em que um atleta passa o bastão para outro; um cientista descobre a verdade até um ponto e outro cientista faz a ciência avançar dali em diante. As controvérsias, as crises, as remodelações ficam ignoradas nessa visão acumulativa de crescimento linear. Segunda visão menos mencionada na literatura (35 artigos).

6. Visão individualista e elitista

⁴¹ Isto será assunto do Capítulo 6 desta dissertação.

Esta visão apresenta os conhecimentos científicos como fruto do trabalho de gênios que, além de trabalharem isolados, têm que lutar contra a incompreensão dos outros. Esta visão ignora totalmente o papel do trabalho coletivo e cooperativo na construção do conhecimento científico. Outro equívoco ligado a essa perspectiva é a idéia de que os resultados experimentais obtidos por um único cientista ou equipe podem ser suficientes para verificar, confirmar ou refutar, uma hipótese ou toda uma teoria. Mesmo que alguns experimentos históricos tenham desempenhado papéis importantes no estabelecimento de certas teorias, a história das ciências também nos mostra que muitas vezes teorias têm se mantido apesar de resultados experimentais conflitantes. Uma das visões mais freqüentemente assinaladas neste estudo e também muito tratada na literatura (citada em 47 artigos).

7. Visão descontextualizada, socialmente neutra

Nesta concepção são ignoradas as complexas relações entre ciência, tecnologia e sociedade. Os cientistas são vistos como descolados de uma realidade social e, portanto, não são consideradas as consequências de suas atividades e suas escolhas. Nas palavras de Gil-Pérez e seus colaboradores aparece *uma imagem do cientista como um ser “acima do bem e do mal”, fechados em torres de marfim e alheios à necessidade de fazer opções*. Uma elevada percentagem de professores desconsidera essa dimensão ética da pesquisa científica.

Ao final deste inventário, os autores da pesquisa chamam a atenção para o fato destas concepções não serem completamente autônomas e formarem um esquema relativamente integrado. Citam como exemplo que uma visão individualista e elitista apóie implicitamente a idéia empirista de descoberta e a visão rígida e algorítmica pode reforçar uma interpretação acumulativa e linear. Portanto, se as concepções equivocadas podem constituir-se num modelo de ciência com alguma coerência interna, não basta atacar apenas esta ou aquela concepção, é preciso oferecer outro conjunto de concepções que, além de representar mais fidedignamente a atividade científica, também seja coerente e consistente.

RESUMO:

A análise dos resultados apresentados nas seções anteriores (4.1 e 4.2) mostra um quadro amplo de concepções equivocadas a respeito da NdC mantidas tanto por alunos como por professores. Dentro deste quadro amplo pode-se encontrar pontos de

interseção entre as concepções de NdC de alunos e professores. Deste modo, os itens abaixo não pretendem constituir-se numa lista completa, mas sim num resumo das concepções mais comuns encontradas nos dois grupos. O resultado dessa análise indicou os três aspectos a seguir:

1) O conhecimento científico é absoluto, isto é, tanto alunos como professores desconsideram o caráter provisório do conhecimento científico, assumindo-o como exato, verdadeiro e definitivo.

2) A observação e a experimentação são consideradas neutras, isto é, ao realizá-las os cientistas estão livres de idéias preconcebidas. Segundo esta concepção, portanto, hipóteses e teorias não seriam guias nos processos de observação e experimentação.

3) A desconsideração do papel da criatividade na construção da ciência. As hipóteses emergiriam dos dados obtidos na observação e experimentação. A essência da atividade científica é a descoberta, não havendo espaço para a criação.

4.3 – A ‘NATUREZA DA CIÊNCIA’ NOS LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA

Está além dos objetivos deste trabalho fazer uma discussão detalhada sobre por que professores e alunos apresentam representações de NdC que não correspondem às informadas pelos especialistas. Contudo, considerando-se o papel desempenhado pelo livro didático no ensino de Física, parece bastante razoável supor que eles tenham alguma influência nas visões de NdC, tanto de alunos como de professores. A importância do livro didático no ensino de ciências tem sido reconhecida em diversos estudos na área de ensino de ciências.

Atualmente, o livro didático assume um papel crucial na educação, particularmente no ensino de ciências, uma vez que é a ferramenta base na relação entre o trabalho didático e os conteúdos ensinados pelos professores e também para os alunos, sobretudo fora da sala de aula. [Silva & Pagliarini 2008]

Infelizmente, seu papel no ensino extrapolou o de recurso didático e assumiu funções que deveriam caber ao professor, como fica claro no trecho abaixo:

... a partir da década de setenta do século XX ocorreu uma supervalorização do livro didático. A mesma deu-se como uma tentativa de suprir a crescente desqualificação profissional dos professores. Assim, cada vez mais o livro didático apresentou-se como um instrumento que selecionava tanto os conteúdos como os procedimentos metodológicos adotados nas salas de aula. [Monteiro & Nardi 2008]

Deste modo, tem-se que considerar que, mesmo não sendo o único fator determinante, o livro didático desempenharia um papel importante na formação de imagens tanto sobre os fenômenos naturais quanto sobre a própria ciência. Com isto em vista, serão apresentados os resultados de dois trabalhos que avaliam as representações de NdC presentes em livros de Física do ensino médio.

O primeiro trabalho [Pagliarini 2007] avalia 16 coleções de Física voltadas para o ensino médio (identificadas por letras de A até P – ver ANEXO B). Entre as coleções escolhidas encontram-se alguns dos mais populares livros didáticos de física para o ensino médio, bem como três coleções aprovadas pelo PNLEM. O enfoque desse trabalho recai sobre o conteúdo histórico e as concepções de NdC (particularmente sobre o ‘método científico’) apresentados por cada coleção. Aqui serão apresentados apenas os resultados relativos às questões da NdC. A tabela abaixo (modificada do trabalho original) resume os resultados obtidos por Pagliarini⁴².

Tabela 2 – Classificação das coleções de acordo com as concepções de NdC veiculadas pelas mesmas (adaptada de [Pagliarini 2007])

CONCEPÇÕES DE NATUREZA DA CIÊNCIA VEICULADAS PELAS COLEÇÕES			
CATEGORIA 0	CATEGORIA 1	CATEGORIA 2	CATEGORIA 3
AUSÊNCIA DE CONCEPÇÕES DE NDC	REFERÊNCIA IMPLÍCITA AO “MÉTODO CIENTÍFICO”	REFERÊNCIA EXPLÍCITA AO “MÉTODO CIENTÍFICO”	CONCEPÇÕES MAIS SOFISTICADAS SOBRE A NDC
	A		
		B	
C			
		D	
		E	
		F	
G			
			H
			I
		J	
			K
L			
M			
	N		
		O	
			P

⁴² Uma tabela com resultados mais detalhados e exemplos extraídos do trabalho de Pagliarini é apresentada no ANEXO B

Da observação da tabela acima e dos comentários feitos pelo autor citado, pode-se concluir que:

1º) Quatro das coleções avaliadas (C, G, L e M) não contém menção alguma à conceitos de NdC.

2º) Oito das coleções avaliadas (A, B, D, E, F, J, N e O) contém menções ao método científico. Todas, porém, transmitem visões inadequadas da NdC. As principais delas são:

a) Existe um método único, algorítmico e universal que conduz com segurança ao conhecimento científico.

b) O conhecimento científico obtido a partir do método citado é verdadeiro e permanente.

c) Observações e experimentos antecedem hipóteses e teorias não sendo, portanto, guiados por elas.

d) Não há considerações do papel da imaginação e da criatividade na atividade científica.

e) A ciência é fruto do trabalho de uns poucos gênios isolados.

3º) Quatro coleções (H, I, K e P) apresentam concepções que se poderia considerar informadas com relação aos atuais resultados de pesquisas na área de ensino de ciências.

No segundo trabalho mencionado acima [Monteiro & Nardi 2008] foram analisados seis livros didáticos⁴³ (referidos como L1, L2, L3, L4, L5 e L6), três dos quais recomendados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD). O foco dessa pesquisa é a análise do tratamento dado à Física Moderna e Contemporânea por estes livros e as concepções de NdC veiculadas neste tratamento. Seguem abaixo as concepções da NdC encontradas:

a) Ausência de relação entre a gênese e o desenvolvimento do conhecimento científico e o contexto social externo. (todos os livros)

⁴³ Os autores não identificaram os livros avaliados sob a justificativa de que suas análises incidiram apenas sobre uma pequena parte dos textos dos mesmos.

b) Ausência de referências à construção coletiva, permeada por disputas teóricas, interpretativas e interesses outros e recaindo o avanço da ciência sobre os ombros de uns poucos gênios trabalhando isoladamente. (L2, L3, L5 e L6)

c) O papel dos dados dos sentidos como antecedendo as teorizações. (L2 e L4)

d) Ausência de menção de que as observações realizadas na construção da ciência são impregnadas de teoria. (todos os livros)

e) Visão do conhecimento científico como sendo verdadeiro e imutável. (L4 e L5)

f) Consideração da provisoriedade do conhecimento. (L3)

4.4 – CONSIDERAÇÕES GERAIS ACERCA DAS REPRESENTAÇÕES DA NdC

O trabalho de Lederman, já citado, revisa artigos que se estendem por um período de mais de 50 anos. Nele, são apresentadas as seguintes conclusões:

- Estudantes da educação básica tipicamente não possuem concepções ‘adequadas’ da NdC.
- Professores da educação básica tipicamente não possuem concepções ‘adequadas’ da NdC. (Lederman, 2007)

Com base nos resultados apresentados no item anterior poder-se ia acrescentar às duas afirmações acima mais uma: livros didáticos brasileiros de Física para o ensino médio, tipicamente não veiculam concepções ‘adequadas’ da NdC.

Portanto, este é o quadro que se apresenta: (1) reivindicações a respeito do ensino de elementos da NdC remontam o início do século passado; (2) instrumentos para avaliar as representações de NdC de alunos e professores já podem ser encontrados desde a década de 50 e (3) ainda hoje, a maioria dos estudantes, professores e livros didáticos continuam apresentando representações de NdC que não são adequadas.

Observando-se este panorama em torno das questões relativas à NdC, pode-se dizer que os autores dos documentos curriculares e os pesquisadores da área de ensino de ciências têm procurado avançar. Agora é a vez dos professores assumirem o papel que lhes cabe na concretização de uma abordagem contextual da ciência. Os professores universitários têm a importante função de incluir os elementos da NdC na formação de novos professores. Além disso, podem produzir materiais didáticos de qualidade, que ajudem esses professores a incorporarem elementos de NdC nos currículos de ciências

do ensino médio. Os professores que já estão no ensino médio, devem procurar se informar sobre os elementos básicos da NdC e criar condições para trabalhar esses elementos em sala de aula, com seus alunos. Pode soar utópico, talvez muitos anos ainda sejam necessários para que alguma mudança ocorra. Mas uma coisa é certa, qualquer mudança só acontecerá quando alguém começar. E, no caso da educação, enquanto os professores não aderem às mudanças elas simplesmente não acontecem. É preciso, de certo modo, ser um idealista, pois, segundo a frase normalmente atribuída a Henry Ford, *um idealista é uma pessoa que ajuda os outros a prosperar*.

Capítulo 5

VISÃO CONSENSUAL DA ‘NATUREZA DA CIÊNCIA’ PARA O ENSINO MÉDIO

...uma nova verdade científica não triunfa convencendo seus oponentes e fazendo com que vejam a luz, mas porque seus oponentes finalmente morrem e uma nova geração cresce familiarizada com ela.

Max Planck⁴⁴ (1949)

O olhar em perspectiva sobre o caminho trilhado até aqui permite fazer um breve sumário das principais idéias apresentadas. Primeiro, a expressão ‘natureza da ciência’ refere-se a um conjunto de idéias *sobre* a ciência, fornecidas por filósofos, historiadores e sociólogos da ciência (Capítulo 2). Segundo, ao longo de pelo menos um século, vários cientistas, filósofos e pesquisadores da área de educação científica têm reivindicado a inclusão de aspectos da NdC nos currículos de ciências. Para justificar tal inclusão foram apresentados seus argumentos (Capítulo 3). Terceiro, as pesquisas realizadas nos últimos cinquenta anos revelam que alunos, professores e livros didáticos de física apresentam, frequentemente, representações inadequadas da NdC (Capítulo 4).

Para que um conjunto de idéias seja imputado inconsistente, parece lógico supor que há idéias adequadas, em relação às quais as primeiras foram avaliadas. Contudo, ao contrário dos conteúdos de ciências, para os quais há um consenso bem estabelecido, uma análise da literatura mostra que a existência de tal matriz de idéias coerentes sobre a NdC não é uma questão isenta de controvérsias [Osborne *et al.* 2003]. A finalidade deste Capítulo é construir essa matriz de elementos, uma visão da NdC que obedeça dois critérios mínimos, sendo ao mesmo tempo: 1) consensual entre os especialistas da área (filósofos, historiadores e sociólogos da ciência) e 2) adequada para o ensino médio no que se refere ao nível de complexidade e abstração de suas idéias, como mostrado pelas pesquisas na área de ensino de ciências.

⁴⁴ [Planck 1949 *apud* Kuhn 2009, p.193]

5.1 – ‘NATUREZA DA CIÊNCIA’ – UM TEMA CONTROVERSO

Há indícios de que o homem constrói representações do mundo ao seu redor, desde as épocas mais remotas. No princípio essas representações eram míticas. Com o surgimento, na Grécia antiga, do que se convencionou chamar de filosofia, o homem passa a construir representações racionais e começa a distanciar-se do pensamento mítico. Uma vez estabelecido o compromisso com a razão e a coerência, o homem passa a questionar suas próprias representações, a possibilidade de que elas tenham uma correspondência com o real e os caminhos para que isto ocorra. Surge, assim, a ciência e, com ela, a filosofia da ciência (não será feita distinção entre filosofia da ciência, filosofia do conhecimento ou epistemologia). Esta tradição passa por Platão, Aristóteles, Bacon, Descartes, Hume, Kant e chega ao século XX com os filósofos do círculo de Viena, Popper, Kuhn, Lakatos e Feyerabend, só para citar alguns dos mais significativos. Cada um deles deu origem a uma visão própria da ciência e da atividade científica. O confronto de suas idéias leva a se pensar que não há uma visão única e universal do que seja a NdC.

De fato, não existe uma descrição ou explicação completa e unânime do que seja a NdC. Popper faz uma crítica do método indutivo quando considerado como um distintivo das ciências empíricas e propõe o *falsificacionismo*, na tentativa de justificar as bases lógicas da ciência. Kuhn estabelece os períodos de ‘ciência normal’ e ‘ciência revolucionária’, sugerindo a incomensurabilidade dos diferentes paradigmas, o que tem sido, às vezes, interpretado como relativismo, mas negado pelo próprio Kuhn. Lakatos, num esforço de justificar as bases lógicas da ciência, propõe os ‘programas de pesquisa’, cada um com seu ‘núcleo rígido’ e um ‘cinturão protetor’. Feyerabend escreve *Contra o Método e Adeus à Razão*, obras que dão uma idéia de sua postura epistemológica de pluralismo metodológico livre de qualquer regra ou restrição.

Por outro lado, o apoio dado por educadores, cientistas e filósofos para uma abordagem da NdC no ensino de ciências, poderia levar à suposição de que entre eles há perfeito acordo a respeito dessas idéias. Os artigos e comunicações em encontros na área desmentem isso [Lederman 2007]. Esta ausência de uma visão integral e unânime levou alguns especialistas a duvidar de um consenso [Alters 1997; Hipkins, Barker & Bolstad 2005 *apud* Lederman 2007]. Entretanto, Lederman (2007) e outros [Smith *et al.* 1997; Smith & Scharmann 1999] argumentam que há um nível aceitável de generalidade, sobre o qual há mais consenso do que desacordo. Procura-se estabelecer, a

seguir, com base na literatura da área de ensino de ciências, quais seriam as idéias que constituiriam esse consenso.

5.2 – ‘NATUREZA DA CIÊNCIA’ – A BUSCA DE CONSENSO

O que se segue é uma breve descrição e a apresentação dos resultados de algumas pesquisas empreendidas na busca de idéias consensuais a respeito da NdC. A intenção não é uma apresentação exaustiva, porém é demonstrar como, através de métodos e fontes diferentes, é possível constatar a existência de consenso sobre a NdC. Não é demais destacar que essa concordância de idéias não fornece uma resposta completa para a questão: o que é a ciência. Acredita-se, porém, que os alunos serão capazes de identificar critérios, estruturas, elementos mais gerais que são característica da ciência ao longo de sua aprendizagem de Física quando se faça uma abordagem de ensino comprometida com aspectos da NdC. De acordo com João Zanetic (1989), já citado acima, a Física *é particularmente privilegiada, pois, além de servir como objeto de estudo preferencial desses filósofos, é a mais adequada a muitas das teorizações devido à sua própria história, tão rica em mutações fundamentais*. Contudo, ainda resta o problema de buscar elementos de NdC que sejam consensuais. Este é o propósito dos subitens a seguir.

5.2.1 – NA LITERATURA DE EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS DA NATUREZA

Em sua ampla⁴⁵ revisão na literatura sobre a NdC Lederman (2007) estabelece as características do conhecimento científico que se encontram num nível de generalidade apropriado ao ensino médio. Segundo ele, o conhecimento científico:

- 1) é provisório (sujeito a alteração);
- 2) tem base empírica (baseado em e / ou derivado de observações do mundo natural);
- 3) é subjetivo (envolve antecedentes pessoais, preconceitos e / ou é carregado de teoria);
- 4) envolve necessariamente inferência, imaginação e criatividade humana (refere-se a invenção de explicações);
- 5) é social e culturalmente imerso;

Dois outros aspectos importantes são:

⁴⁵ Mais de 150 artigos cobrindo um período de mais de 50 anos

- 6) a distinção entre a observação e a inferência;
- 7) as funções e as relações entre as teorias e as leis científicas.⁴⁶

Rubba & Andersen (1978) propõem um instrumento⁴⁷ de avaliação sobre idéias relacionadas com a NdC. Nesse artigo, os autores fornecem elementos que constituiriam uma visão esclarecida da NdC, e que têm sua origem num trabalho anterior de Showalter (1974). Segundo eles, estes aspectos teriam sido aprovados por três filósofos da ciência (não identificados em seu artigo). Apesar de ter sido proposta há mais de 30 anos, essa matriz serviu de referencial para um trabalho recente [Chan 2005] sobre a NdC. De acordo com Rubba e Andersen o conhecimento científico apresenta as seguintes características:

1) **Amoral:** O conhecimento científico não traz em si um regulamento sobre como deve ser utilizado. O uso que o homem faz desse conhecimento é passível de julgamento moral, mas não tem sentido estender esse julgamento ao próprio conhecimento.

2) **Criativo:** A criatividade é uma característica essencial da atividade científica. Hipóteses, modelos e teorias não emergem automaticamente dos dados, precisam ser inventados.

3) **Evolucionário:** O surgimento de novas evidências ou a reinterpretação de evidências anteriores faz com que o conhecimento científico esteja em constante reformulação. Além disso, nenhum conhecimento pode ser absolutamente provado.

4) **Parcimonioso:** O conhecimento científico tende à simplicidade, buscando um número cada vez menor de princípios para explicar um número cada vez maior de fenômenos.

5) **Testável:** Hipóteses e teorias científicas devem poder ser submetidas a testes empíricos públicos. Os resultados desses testes serão confrontados com as observações aceitas pela comunidade científica. O conhecimento que não pode ser confrontado com dados empíricos não pode ser científico. Contudo, a coerência nos resultados dos testes não garante a validade da teoria.

⁴⁶ Tradução do autor.

⁴⁷ NSKS – Nature of Scientific Knowledge Scale

6) **Unificado:** O reconhecimento de uma unidade na natureza está na origem da pesquisa científica. As diferentes áreas de conhecimento estabelecem as diversas leis e modelos que permitem à ciência fornecer explicações e fazer previsões.

5.2.2 – NA FILOSOFIA DA CIÊNCIA DO SÉCULO XX

A partir do estudo de propostas feitas por filósofos da ciência contemporâneos para responder a pergunta: *o que é a ciência?* fica clara a divergência entre eles. Contudo, a pergunta que se coloca é: há alguma interseção entre essas diferentes visões? Algum acordo entre esses filósofos? Muitas das questões sobre as quais há divergência apresentam um nível de complexidade que as torna inapropriadas para uma abordagem no ensino médio. Será que, num nível mais elementar, de questões que poderiam ser tratadas com alunos do ensino médio na faixa dos 15 aos 17 anos, não há algum consenso sobre características essenciais da ciência? As idéias apresentadas nas cinco categorias abaixo são propostas como sendo consensuais entre os filósofos da ciência contemporâneos [Gil-Pérez *et al.* 2001].

1) O “Método Científico”

Não há um “Método Científico” único, algorítmico e universal que garanta o conhecimento. Nas palavras de Bunge [1980, *apud* Gil-Pérez *et al.* 2001]: *A expressão (método científico) engana, pois pode induzir a crença de que o método consiste num conjunto de receitas exaustivas e infalíveis...* Esta idéia encontra suporte no estudo da história das ciências. [Kuhn 2009]

2) Observação e Teoria

Rejeição de um empirismo que pressupõe o conhecimento emergindo de ‘dados puros’ através da indução. Toda observação é interpretada no contexto de uma teoria ou, de forma mais ampla, de um paradigma, para utilizar um termo de Kuhn. Um exemplo que pode ilustrar isso é o da detecção da radiação cósmica de fundo. Penzias e Wilson passaram meses acreditando ser ruído ou interferência o que cosmólogos iriam interpretar imediatamente como evidência do Big-Bang.

3) Hipótese, Modelo e Experimento

As hipóteses e modelos não surgiriam para acomodar dados obtidos através de experimentos. Os próprios experimentos seriam planejados, guiados por hipóteses e

modelos prévios. Nas palavras de Hempel [1976, *apud* Gil-Pérez *et al.* 2001]: *não se chega ao conhecimento científico aplicando um procedimento indutivo deduzido de dados recolhidos anteriormente, mas sim mediante o chamado método das hipóteses como tentativas de resposta a um problema em estudo e submetendo estas a prova.*

4) Generalização

A ciência tem como propósito fornecer explicações (teorias) gerais que possam ser aplicadas a uma ampla gama de fenômenos naturais. Isto leva, muitas vezes, à fusão de áreas até então independentes do conhecimento, como aconteceu com física dos Céus e a da Terra, a eletricidade e o magnetismo e, mais tarde, destes com a ótica, etc. Outras idéias unificadoras foram também a de modelo atômico da matéria, a de evolução dos seres vivos, a tectônica global, etc. Além disso, a atividade científica exige coerência entre seus princípios e demanda sua constante revisão através de confronto com dados empíricos. Mesmo assim, um experimento por si só não vai determinar se uma hipótese será refutada ou comprovada, sua aceitação ou abandono depende de como esta hipótese se encaixa num corpo teórico mais amplo.

5) Contexto social

O desenvolvimento do conhecimento científico tem um caráter histórico e social. Cientistas são seres humanos ligados de algum modo à cultura, costumes e visões de sua época. Podem superá-las, mas sofrem alguma influência. Do mesmo modo, a pesquisa científica impacta a sociedade e os outros indivíduos. Além disso, mesmo não determinando a lógica da pesquisa científica e seus métodos, critérios de validação e justificação, o aspecto social demanda a solução de certos problemas, favorece ou não com subsídios, pesquisas desta ou daquela natureza.

5.2.3 – ATRAVÉS DE UM ESTUDO DELPHI

O estudo Delphi é uma técnica através da qual uma questão polêmica ou de importância para a comunidade na definição de critérios sobre sistemas sociais complexos (educação, economia, política, etc.) sobre a qual se deseje consenso, é proposta a um grupo seletivo de especialistas que não mantêm contato direto entre si. As respostas escritas são organizadas e agrupadas pelos promotores do estudo e devolvidas aos especialistas para uma nova rodada de posicionamentos. O objetivo é chegar a uma idéia consensual e informada sobre o assunto em foco.

No caso em análise, Osborne e seus colaboradores [Osborne *et al.* 2003] realizaram um estudo Delphi em três estágios, com 23 especialistas que tinham um interesse comum em comunicar idéias sobre ciência em seus escritos, cursos e outros trabalhos. O grupo era formado por cientistas, historiadores, filósofos e sociólogos da ciência, especialistas em educação científica, professores de ciências e especialistas engajados no trabalho de aperfeiçoar a compreensão pública da ciência.

A primeira etapa do estudo realizou-se através de um questionário aberto com as seguintes questões: (a) *Se você acha que alguma coisa deve ser ensinada sobre os métodos da ciência, o que seria?* (b) *Se você acha que alguma coisa deve ser ensinada sobre a natureza do conhecimento científico, o que seria?* e (c) *Se você acha que alguma coisa deve ser ensinada sobre as instituições e práticas sociais da ciência, o que seria?*⁴⁸ Os participantes foram solicitados a responder da forma mais clara possível, justificando a importância de cada idéia para a educação de um indivíduo. As respostas foram agrupadas e resumidas em 30 temas.

O questionário da segunda etapa apresentou os títulos e sumários dos 30 temas levantados, acompanhados de comentários representativos anônimos feitos pelos participantes durante a primeira etapa. Cada participante teve que avaliar a importância de cada um dos temas através de uma escala de 5 pontos, onde 5 corresponde à concordância máxima com o tema. Foi feita a análise estatística dos resultados e, a partir de considerações dos participantes, que indicaram a conexão entre alguns dos temas, três pares de temas foram fundidos para formar um tema cada um.

Na terceira rodada, os participantes receberam os 18 temas que obtiveram maior média na última rodada e repetiram o procedimento anterior. Foi considerado consensual o tema que recebeu pontuação igual ou maior a 4 de pelo menos 66% dos participantes. A análise resultou em 9 temas sendo considerados consensuais e estáveis. (ver Anexo C). Esses temas, sugeridos pelos autores do estudo como elementos que deveriam ser ensinados aos alunos do ensino médio, são os seguintes:

- 1) A ciência usa o método experimental para testar idéias.
- 2) A atividade científica envolve criatividade.
- 3) O desenvolvimento do conhecimento científico tem uma dimensão histórica.
- 4) Fazer perguntas é uma atividade essencial da pesquisa científica.

⁴⁸ Tradução do autor.

- 5) A ciência utiliza vários métodos e abordagens. Não há um método científico único e universal.
- 6) Obter dados é muito importante, mas não basta, é preciso habilidade para analisá-los e interpretá-los, para que sejam úteis.
- 7) Há conhecimentos científicos que estão mais bem estabelecidos do que outros. O conhecimento atual é o melhor que se tem, mas é passível de revisão à luz de novas evidências.
- 8) O desenvolvimento do conhecimento científico depende da elaboração de hipóteses e previsões sobre os fenômenos naturais.
- 9) O desenvolvimento do conhecimento científico não é fruto do trabalho de indivíduos isolados; depende da cooperação e colaboração. Novos conhecimentos, para serem aceitos, exigem revisão por pares.

5.2.4 – EM PROPOSTAS CURRICULARES

Outro método utilizado por especialistas em ensino de ciências em busca de quais elementos da NdC ensinar, foi o de pesquisar as orientações curriculares que propõem a inclusão desses tópicos. Os dados apresentados na tabela 6 a seguir resultam de um levantamento feito em currículos internacionais [McComas & Olson 1998] combinados com uma análise de dois documentos nacionais [Brasil 1999; Aguiar, Gama & Costa 2006] realizada pelo autor.

McComas e Olson analisaram 8 currículos (4 americanos, 1 inglês, 1 australiano, 1 neo-zelandês e 1 canadense) e escreveram, em cartões, todas as idéias sobre a NdC apresentadas nos mesmos. A seguir fundiram as idéias semelhantes e as reescreveram dando origem a 52 itens divididos em 4 grupos, o das idéias pertinentes à filosofia, sociologia, psicologia e história da ciência. Estes dados foram agrupados em 4 tabelas, uma para cada grupo. O autor deste trabalho transcreveu essas tabelas, acrescentando duas colunas para incluir os documentos nacionais citados, indicando quando uma idéia estava presente na respectiva orientação curricular. As tabelas, que se encontram no ANEXO C, apresentam também uma frequência de 1 a 10 indicando em quantos currículos cada idéia é citada.

O conjunto de idéias apresentado na tabela 3 abaixo foi retirado de um grupo maior de idéias contido no ANEXO C. Foram selecionadas tanto aquelas que obtiveram

maior frequência nesse estudo como as que apresentaram maior coerência com outros resultados apresentados neste Capítulo.

Tabela 3 – Resumo das características da NdC que aparecem em currículos de ciências nacionais e internacionais

ÁREA	ELEMENTO DA NdC
FILOSOFIA DA CIÊNCIA	1) O conhecimento científico é provisório.
	2) A ciência se baseia em evidências empíricas.
	3) A ciência se baseia em ceticismo.
	4) A ciência pretende ser testável.
	5) O conhecimento científico se baseia em análises cuidadosas.
	6) Há muitos modos de fazer investigações científicas.
	7) A ciência possui limitações inerentes.
	8) A ciência é uma tentativa de explicar os fenômenos.
	9) Para aprender como a ciência funciona, o vocabulário é vital: Observação, Hipótese, Lei e Teoria.
SOCIOLOGIA DA CIÊNCIA	10) A ciência é um esforço humano.
	11) Novos conhecimentos devem ser comunicados de forma clara e aberta.
	12) Cientistas tomam decisões éticas.
	13) Cientistas trabalham em cooperação.
PSICOLOGIA DA CIÊNCIA	14) Observações são carregadas de teorias.
	15) Cientistas são criativos.
HISTÓRIA DA CIÊNCIA	16) Mudanças em ciência ocorrem gradualmente.
	17) Ciência e tecnologia impactam uma sobre a outra.
	18) A ciência é parte da tradição social e cultural.

5.2.5 – EM LIVROS DE DIVULGAÇÃO DA NDC

Outro método de pesquisa utilizado na procura de idéias consensuais sobre a NdC foi a análise empreendida por McComas (2008) em oito livros⁴⁹ sobre filosofia da

⁴⁹ A lista de livros utilizados por McComas encontra-se no ANEXO C.

ciência, escritos por especialistas, para um público leigo. Inicialmente, o autor recolhe todas as idéias apresentadas sobre a NdC e depois as agrupa e classifica. Com isso, ele retorna aos textos e avalia o grau de profundidade com que cada idéia é apresentada nos livros. No final desse processo ele apresenta um conjunto de nove categorias de consenso básicas sobre a natureza da ciência, listadas a seguir.

- 1) A ciência demanda e produz evidência empírica.
- 2) Há muitos métodos e técnicas comuns às atividades científicas.
- 3) O conhecimento científico é durável, mas provisório, já que não há prova absoluta.
- 4) Leis e teorias desempenham papéis diferentes na ciência.
- 5) A ciência tem uma componente criativa.
- 6) A ciência possui uma dimensão de subjetividade já que as observações são carregadas de teoria.
- 7) A atividade científica se dá num contexto histórico, social e cultural e interage com ele.
- 8) Ciência e tecnologia não são iguais, mas impactam profundamente uma sobre a outra.
- 9) Há limites para as perguntas que a ciência pode responder.

5.3 – ‘NATUREZA DA CIÊNCIA’ – UM CONSENSO EM MEIO AOS CONSENSOS

Uma análise dos resultados apresentados na seção anterior permite que se conclua que, apesar de toda controvérsia em torno da possibilidade de se oferecer um quadro geral que caracterize a ciência, algumas idéias básicas estão muito bem estabelecidas. Não se pode perder de vista, que o objetivo não é apenas compor uma imagem informada da ciência, mas também definir quanto dessa imagem pode ser apresentada aos alunos do ensino médio. Contudo, uma característica comum às pesquisas citadas neste Capítulo, contribui para resolver esta questão. Todas elas foram empreendidas no âmbito da educação em ciências. Isto é, os pesquisadores conduziram seus trabalhos com o objetivo de informar a comunidade de ensino de ciências e, portanto, todos já buscavam um consenso dentro do que seria razoável trabalhar no

ensino médio. Deste modo, todos os elementos da NdC, apresentados nos itens anteriores, podem ser trabalhados.

Contudo, há muitos itens e a proposta não é criar um curso de NdC, é integrar aspectos da NdC num curso de Física do ensino médio. Portanto, há que se fazer uma seleção dos elementos a serem trabalhados. Como as pesquisas apresentadas neste trabalho já são o resultado da buscas de consensos, não é preciso fazer estatísticas entre elas para decidir quais adotar. Todas as listas acima são igualmente boas para proporcionar aos alunos uma visão mais informada acerca da NdC. O objetivo em compendiar-las neste Capítulo não foi o de procurar as mais citadas, mas sim de mostrar que, de fato, há consenso, dada a coerência dos resultados. Dito isto, apresenta-se a seguir a seleção de idéias sobre a ciência (e os cientistas) que serão adotadas como guia no restante deste trabalho.

LISTA DE ELEMENTOS DA NdC ESCOLHIDOS PARA SER TRABALHADOS NO MATERIAL DIDÁTICO “CADERNO DO PROFESSOR” (APÊNDICE).

1. A CIÊNCIA DEPENDE DE EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS.
2. A DISTINÇÃO ENTRE OBSERVAÇÃO E INFERÊNCIA.
3. LEIS E TEORIAS EXERCEM FUNÇÕES DIFERENTES NA CIÊNCIA.
4. A CIÊNCIA COMO BUSCA DE EXPLICAÇÕES.
5. O CONHECIMENTO CIENTÍFICO É PARCIMONIOSO
6. O CONHECIMENTO CIENTÍFICO TEM UM CARÁTER PROVISÓRIO
7. O CARÁTER SOCIAL DA CIÊNCIA
8. A CIÊNCIA TEM UM COMPONENTE SUBJETIVO (IMPREGNADO DE TEORIA)
9. A CRIATIVIDADE É UMA CARACTERÍSTICA ESSENCIAL DA CIÊNCIA
10. CIÊNCIA E TECNOLOGIA NÃO SÃO A MESMA COISA, MAS IMPACTAM UMA SOBRE A OUTRA

Uma das metas desse trabalho é produzir um material didático que sirva para veicular idéias sobre a NdC num curso de Física do ensino médio. Este material, entretanto, deve contemplar uma unidade do conteúdo curricular de Física. Assim, o exercício que se coloca é o de fazer a integração entre os dez elementos selecionados para integrar a lista acima e tópicos do currículo de Física do ensino médio. A idéia é aproveitar o ensino de Física para ilustrar características da ciência.

5.4 – ‘NATUREZA DA CIÊNCIA’ E FÍSICA – UM EXERCÍCIO DE INTEGRAÇÃO

Para que elementos da NdC possam ser trabalhados em aulas de Física eles devem estar integrados com o seu conteúdo. É preciso, pois, identificar os conteúdos do programa de Física mais apropriados para explicitar essa ou aquela idéia da NdC. A unidade curricular escolhida para este exercício é a Gravitação Universal. O que se seguirá é uma tentativa de acomodar, sob as idéias básicas da NdC, aqueles aspectos do conteúdo de Física junto do qual elas poderão ser apresentadas e discutidas.

1. A CIÊNCIA DEPENDE DE EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS.

Um exemplo extraordinário é o papel desempenhado pelos dados de Tycho Brahe para o estabelecimento de uma cinemática dos corpos celestes por Johannes Kepler. Mas mesmo antes disso, já se encontram modelos cosmogônicos comprometidos com os dados de observação acumulado ao longo dos tempos.

2. A DISTINÇÃO ENTRE OBSERVAÇÃO E INFERÊNCIA.

Quando Penzias e Wilson observaram um sinal de microondas vindo de todos os pontos do universo acharam que era apenas um ruído. Quando os cosmólogos souberam dessa observação inferiram que se tratava de radiação associada ao Big Bang. Esta ligação entre o sinal de microondas detectado e o Big Bang não está no que é observado, tem que ser inferida.

3. LEIS E TEORIAS EXERCEM FUNÇÕES DIFERENTES NA CIÊNCIA.

As leis dos gases estabelecem relações matemáticas entre parâmetros mensuráveis como pressão volume e temperatura. A teoria cinética dos gases fornece uma explicação para estas relações. Portanto, leis e teorias desempenham funções diferentes no âmbito da ciência e uma não se transforma na outra. Outro exemplo são as Leis de Kepler que estabelecem padrões para os movimentos dos astros e a teoria de Gravitação Universal que, a partir da existência de uma força atrativa entre corpos com massa e da forma desta atração explica os resultados obtidos por Kepler.

4. A CIÊNCIA COMO BUSCA DE EXPLICAÇÕES.

O que distingue a forma como os gregos e os outros povos da antiguidade se relacionaram com os dados de observação do céu foi a busca de explicação por parte dos primeiros. Os outros povos reconheceram uma ordem nos movimentos e até conseguiram fazer previsões, mas não construíram modelos que explicassem os diferentes movimentos a partir de alguns princípios básicos, como os círculos dos gregos.

5. O CONHECIMENTO CIENTÍFICO É PARCIMONIOSO

A teoria de gravitação de Newton, juntamente com suas três leis de movimento, conseguiu explicar todos os fenômenos antes relacionados com as leis de Kepler e a mecânica de Galileu. De fato, a mecânica de Newton explicou outros fenômenos não explicados antes. Este poder de explicar um número maior de fenômenos com um menor número de princípios constitui-se num ideal da ciência.

6. O CONHECIMENTO CIENTÍFICO TEM UM CARÁTER PROVISÓRIO

Tomando como exemplo as tentativas de explicar os movimentos dos astros, pode-se dizer que os modelos e teorias construídos vêm se alterando há 2400 anos, sendo que as últimas mudanças ocorreram há menos de 100 anos com Einstein e sua Teoria da Relatividade Geral.

7. CARÁTER SOCIAL DA CIÊNCIA

Um exemplo interessante é o do papel da Igreja com relação ao desenvolvimento das idéias que levaram à Gravitação Universal. A propagação do aristotelismo, os casos de Copérnico e Galileu, etc. Pode-se também explorar a relação entre os interesses comerciais e militares da sociedade e o apoio dado a certos cientistas e suas pesquisas, em função disso. Galileu observava o céu com a luneta, mas também construiu instrumentos de interesse militar.

Outro exemplo mais sofisticado seria comparar a escola francesa (mais afeita à construção de teorias puramente matemáticas) e a escola inglesa (mais empírica e dada à construção de modelos mecânicos) no estudo dos fenômenos elétricos no século XIX.

8. A CIÊNCIA TEM UM COMPONENTE SUBJETIVO (IMPREGNADO DE TEORIA)

Mais uma vez, Kepler é um bom exemplo. Apesar de se dobrar a evidência das observações de Tycho Brahe, que apontavam para a elipse, Kepler relutou muito em abandonar as esferas e os sólidos regulares de Platão, tão caros à sua imagem de Universo. Em seu livro: *De Arquimedes a Einstein: a face oculta da investigação científica*, Pierre Thuillier (1994) dedica um Capítulo inteiro à questão da subjetividade em Einstein.

9. A CRIATIVIDADE É UMA CARACTERÍSTICA ESSENCIAL DA CIÊNCIA

Se os modelos e teorias que explicam o que é observado emergisse dos dados não haveria modelos e teorias diferentes para um mesmo fenômeno. Copérnico construiu seu modelo heliocêntrico utilizando os mesmos dados de Ptolomeu, que havia proposto um modelo geocêntrico para o universo.

Mesmo conhecendo as órbitas elípticas de Kepler e o método de Hooke para analisar o movimento orbital (método que por si só já exigiu o uso de criatividade) a teoria de Gravitação de Newton não pode ser simplesmente inferida destes dados. Sem o uso da imaginação e da criatividade, jamais surgiriam teorias.

10. CIÊNCIA E TECNOLOGIA NÃO SÃO A MESMA COISA, MAS IMPACTAM UMA SOBRE A OUTRA

A ciência é uma busca de descrição e explicação do mundo a nossa volta, nem sempre seus conhecimentos são transformados em aparatos úteis para a realização de alguma tarefa. Já a tecnologia se constitui na construção de tais instrumentos que facilitam ou tornam possíveis certas tarefas, mesmo que a compreensão de seu funcionamento não seja conhecida desde o princípio. Quando Galileu aperfeiçoou a luneta dos holandeses, não tinha ainda uma explicação para o seu funcionamento. Mesmo assim, fez observações que tiveram grande impacto para o avanço da ciência.

Capítulo 6

A 'NATUREZA DA CIÊNCIA' ATRAVÉS DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA

Se a história fosse vista como um repositório para algo mais do que anedotas ou cronologias, poderia produzir uma transformação decisiva na imagem da ciência que atualmente nos domina.

Thomas Kuhn (2009)

Thomas Kuhn foi um dos principais construtores da visão contemporânea de ciência. Seu livro *A Estrutura das Revoluções Científicas* é considerado um dos mais influentes na filosofia da ciência recente. O que teria levado Kuhn a questionar as bases do empreendimento científico, como era compreendido até então? Nas suas próprias palavras:

Naquele tempo eu era um estudante de pós-graduação em física teórica tendo já em vista o fim da minha dissertação. Um envolvimento afortunado com um curso experimental da universidade, que apresentava a ciência física para os não-cientistas, proporcionou-me a primeira exposição à história da ciência. Para minha completa surpresa, essa exposição a teorias e práticas científicas antiquadas minou radicalmente algumas das minhas concepções básicas a respeito da natureza da ciência e das razões de seu sucesso incomum. [Kuhn 2009]

Foi esse primeiro contato com a História da Ciência que levou Kuhn, um estudante conhecedor das técnicas da ciência, a reformular sua visão acerca do empreendimento científico. Mesmo reconhecendo a distância entre um aluno de ensino médio e um especialista em física, parece razoável supor que textos históricos especificamente escritos com este objetivo, possam ajudar os jovens de hoje a construir uma visão da NdC que incorpore alguns elementos fornecidos por pesquisas mais atuais nas áreas da filosofia, sociologia e história da ciência.

O objetivo deste Capítulo é justificar a opção pela História da Ciência como um veículo adequado para que o aluno do ensino médio possa compreender a ciência ensinada na escola, incluindo idéias sobre a NdC. Além disso, pretende-se explicitar as escolhas metodológicas com maiores chances de sucesso, baseadas nas pesquisas da área. No apêndice que se segue a esse Capítulo, apresenta-se uma proposta de unidades

de ensino sobre a NdC, baseadas na História da Ciência, que poderão ser utilizadas pelo professor para sua inclusão no ensino de Física do ensino médio.

6.1 – A HISTÓRIA DA CIÊNCIA E O CURRÍCULO DE CIÊNCIAS

As reivindicações para que o ensino de ciências incorpore aspectos da História da ciência têm uma longa tradição nos escritos da área. Na Inglaterra, os primeiros registros remontam ao ano de 1850 e nos Estados Unidos, a partir da década de 1940. *Nos últimos 20 anos, a lista dos educadores de muitos países que têm recomendado o estudo da História da Ciência no ensino médio tornou-se muito longa para serem catalogados aqui.*⁵⁰ [Solomon *et al.* 1992]. Contudo, os pesquisadores e educadores não ficaram só na proposta, alguns chegaram a produzir material e ministrar cursos de ciências com orientação histórica. Pioneiros de destaque, no ensino superior, foram James B. Conant, com seu *Harvard Case Histories in Experimental Science* [Conant 1957] e Joseph Schwab, com um curso de ciências baseado em textos históricos, na Universidade de Chicago. Essas experiências no ensino superior inspiraram Leo Klopfer a estendê-la para o ensino médio com seu *History of Science Cases for Schools (HOSC)* [Klopfer 1960]. Porém, o curso de ensino médio baseado na História da Ciência mais conhecido e com maior repercussão é o *Harvard Project Physics* (1970) de F. James Rutherford, Gerald Holton e Fletcher G. Watson. Esse projeto foi desenvolvido por um grupo interdisciplinar do qual participaram professores de ensino médio, psicólogos e historiadores e teve como objetivo principal fazer um contraponto humanista ao PSSC (*Physical Studies Science Committee* - 1960), considerado como cientificista⁵¹. Mais recentemente pode-se mencionar o Projeto 2061 que em seus respectivos textos *Science for All Americans* (AAAS, 1989) e *Benchmarks for Science Literacy* (AAAS, 1993) dedicam um Capítulo inteiro à História da Ciência.

⁵⁰ Tradução do autor.

⁵¹ O reconhecimento do insucesso do ensino de ciências na escola média, associado ao lançamento da Sputnik pelos soviéticos, desencadeou uma série de investimentos em propostas de reforma curricular nos EUA. Na Física, os exemplos mais importantes foram o PSSC e o *Harvard Project Physics*. O primeiro tinha o propósito claro de formar novos físicos e acabou por atingir um número pequeno de estudantes (4%) [Oliveira & Freire Júnior 2006] que, nos EUA, podem escolher as disciplinas que vão cursar no ensino médio. O segundo surge exatamente com o intuito de resolver este problema, procurando, através de uma abordagem humanística, interessar um número maior de estudantes. Isto, de fato, acabou acontecendo, apesar do número de estudantes ainda ser considerado pequeno (20 a 25%). É interessante mencionar que estes dois projetos foram importantes iniciativas em relação às expectativas de mudanças no ensino de Física. Eles foram difundidos para outros países, tendo grande influência na literatura de textos científicos a partir de sua primeira edição. Os dois foram traduzidos para muitas línguas, mas nunca conseguiram se estabelecer na escola. Observa-se, portanto, que nem o livro paradigma da ciência nem o livro humanista tiveram sucesso na escola, apesar de sua qualidade inigualável como textos didáticos bem escritos e acompanhados por materiais de apoio sensoriais.

No Brasil o fenômeno é mais recente. Mas uma análise das Atas de Encontros da comunidade de pesquisadores em ensino de Física mostra que sempre há mesas redondas, comunicações ou seminários sobre o ensino e a História da Ciência. Os PCNEM (Brasil 1999) ressaltam a importância da História da Ciência em diversas seções do texto sobre as ciências da natureza.

Na Biologia:

Não é possível tratar, no Ensino Médio, de todo o conhecimento biológico ou de todo o conhecimento tecnológico a ele associado. Mais importante é tratar esses conhecimentos de forma contextualizada, revelando como e por que foram produzidos, em que época, apresentando a história da Biologia como um movimento não linear e frequentemente contraditório. [Brasil 1999]

Na Química:

Na interpretação do mundo através das ferramentas da Química, é essencial que se explicita seu caráter dinâmico. Assim, o conhecimento químico não deve ser entendido como um conjunto de conhecimentos isolados, prontos e acabados, mas sim uma construção da mente humana, em contínua mudança. A História da Química, como parte do conhecimento socialmente produzido, deve permear todo o ensino de Química, possibilitando ao aluno a compreensão do processo de elaboração desse conhecimento, com seus avanços, erros e conflitos. [Brasil 1999]

Na Física:

A Física percebida enquanto construção histórica, como atividade social humana, emerge da cultura e leva à compreensão de que modelos explicativos não são únicos nem finais, tendo se sucedido ao longo dos tempos, como o modelo geocêntrico, substituído pelo heliocêntrico, a teoria do calórico pelo conceito de calor como energia, ou a sucessão dos vários modelos explicativos para a luz. O surgimento de teorias físicas mantém uma relação complexa com o contexto social em que ocorreram. [Brasil 1999]

A leitura cuidadosa dos trechos acima mostra que a proposta de inclusão de elementos da História da Biologia, da Química e da Física presta-se a desvelar aspectos da NdC. No caso do conhecimento de Biologia, para revelar *como e por que foram produzidos*, sendo este o objetivo mais importante. Para o conhecimento de Química, a história é indicada por possibilitar *ao aluno a compreensão do processo de elaboração desse conhecimento, com seus avanços, erros e conflitos*. E, no caso da Física, para levar à *compreensão de que modelos explicativos não são únicos nem finais, tendo se sucedido ao longo dos tempos*. Esses elementos da NdC estão inseridos dentro da lista apresentada no final do Capítulo 5 (p.52) como sendo aqueles sobre os quais há consenso e podem ser trabalhados com alunos do ensino médio.

Apesar destas orientações, qualquer professor do ensino médio pode constatar facilmente o quanto as considerações de ordem histórica estão afastadas do ensino de ciências atual. Contudo, iniciativas têm sido empreendidas por pesquisadores brasileiros para modificar este quadro. Para citar alguns exemplos, têm-se os trabalhos de Roberto Martins (1997), Sérgio Quadros (1996), Attico Chassot (1995), José Atílio Vanin (1996), Samuel Murgel Branco (1996a e 1996b) e do Grupo Teknê [Guerra *et al.* 1997 e 1999; Braga, Guerra & Reis 2003 e 2004], entre outros. Todos esses autores ou grupos têm produzido material (textos, artigos, livros paradidáticos) de base histórica para apoiar o trabalho do professor. Vale destacar ainda o material didático produzido por Luiz Peduzzi (2011) para as disciplinas introdutórias universitárias que, apesar de não ser voltado para o ensino médio, oferece excelentes subsídios para a formação dos futuros professores.

Considerando-se o número de pesquisadores e documentos de orientação curricular propondo a inclusão da História da Ciência no ensino da Física na escola, pode-se perguntar quais as razões para isso. Num Capítulo intitulado *História da Ciência no Currículo*, Matthews (1994) agrupa as respostas dadas pelos pesquisadores, ao longo do tempo: (a lista que se segue é a mesma apresentada no Capítulo 1, item 1.5)

1) A História promove uma melhor compreensão de conceitos e métodos científicos;

2) A abordagem histórica conecta o desenvolvimento do pensamento individual com o desenvolvimento de idéias científicas;

3) A História da Ciência é intrinsecamente valiosa. Episódios importantes da história da ciência e da cultura – a Revolução Científica, o Darwinismo, a descoberta da penicilina e assim por diante – devem ser familiares a todos os alunos.

4) A História é necessária para se compreender a natureza da ciência;

5) A História neutraliza o cientificismo e o dogmatismo que são comumente encontrados em textos e aulas de ciências;

6) A História, examinando a vida e a época de cientistas individuais, humaniza o objeto da ciência, tornando-o menos abstrato e mais envolvente para os alunos;

7) A História permite que sejam feitas conexões dentro dos tópicos e disciplinas da ciência, bem como com outras disciplinas acadêmicas; a História mostra a natureza integrada e interdependente das realizações humanas.⁵² [Matthews 1994, p.50 – grifos do autor].

De todas as razões apresentadas acima, a primeira e a quarta são as que focam no ponto central deste trabalho: a importância da História da Ciência para que o aluno do ensino médio possa atingir uma compreensão da NdC. De forma menos direta, mas

⁵² Tradução do autor.

igualmente importantes para os objetivos deste trabalho, são as razões 5 e 6 enunciadas acima. Nas palavras de Matthews: *a necessidade de ilustrar as reivindicações relativas à natureza da ciência, por referência à história da ciência é extremamente importante para a educação científica*⁵³ [Matthews 1994, p.43].

6.2 – A HISTÓRIA DA CIÊNCIA E A ‘NATUREZA DA CIÊNCIA’

Dentre todas as razões apresentadas acima para a inclusão da História da Ciência no ensino de ciências, a percepção da sua importância para uma compreensão da NdC tem se materializado em propostas concretas. Num artigo relatando a aplicação de uma unidade instrucional informada pela pesquisa para evidenciar aspectos da NdC, Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich (2009) sugerem que idéias fundamentais da NdC podem ser trabalhadas tendo a História da Ciência como veículo significativo, isto é, a NdC é melhor compreendida quando "ancorada" em episódios científicos reais. A História da Ciência é uma fonte de tais episódios, mas eles precisam ser "lidos" a partir de uma perspectiva filosófica.

Esta última afirmação é importante por motivos que serão discutidos mais adiante. Nos documentos da AAAS (1989, 1993) uma das principais razões apresentadas para a inclusão de um Capítulo sobre perspectivas históricas é que ela, a História, oferece mais um caminho para a compreensão de como a ciência funciona. Outros pesquisadores têm proposto abordar a NdC a partir da História da Ciência como, por exemplo, Braga, Guerra e Reis (2010) que utilizaram a controvérsia entre Biot e Ampère para discutir aspectos históricos e filosóficos da Física com alunos do ensino médio; e Develaki (2010) que propõe unidades instrucionais sobre a história da gravitação para discutir idéias da NdC com professores em formação, só para citar dois dos mais recentes.

A idéia de que a História da Ciência contribui para aperfeiçoar a imagem da NdC é mais do que uma suposição razoável, encontra suporte em pesquisas empíricas relatadas na literatura de ensino de ciências [Solomon, Duveen & Scot 1992; Solbes & Traver 2003; Moreira, Massoni & Ostermann 2007; Pereira, Forato & Silva, 2010].

Além das pesquisas acima citadas há grupos de especialistas em ensino de ciências desenvolvendo projetos na Internet relacionados ao uso da História da Ciência para promover uma melhor compreensão da NdC:

⁵³ Tradução do autor.

1) *The Story Behind the Science: Bringing Science and Scientists to Life*⁵⁴ – projeto de um grupo de pesquisadores da *Iowa State University* sob a direção de Michael Clough que escreve e disponibiliza gratuitamente casos históricos, com o objetivo de explicitar elementos chave da NdC.

2) *SHIPS – Resource Centre: for science teachers using Sociology, History and Philosophy of Science*⁵⁵ – projeto do pesquisador Douglas Allchin, pretende constituir um biblioteca online que ofereça recursos para o ensino de história e natureza da ciência.

3) *History and Philosophy in Science Teaching*⁵⁶ – espaço virtual onde pesquisadores de vários países da Europa (Alemanha, Reino Unido, Itália, Grécia, Portugal, Polônia, Hungria e Israel) inserem casos históricos que promovem uma melhor compreensão da ciência. Além dos pesquisadores associados, há possibilidades de que outros pesquisadores e professores também contribuam com casos históricos seguindo orientações oferecidas na página. A intenção é proporcionar reflexões sobre a natureza da ciência em um contexto histórico, com relações concretas de eventos científicos.

4) *Contextual Science Teaching*⁵⁷ – projeto de um grupo de pesquisadores das universidades de Winnipeg e Manitoba, Canadá, tendo Stephen Klassen como investigador principal. Assim como os anteriores, esse grupo disponibiliza casos históricos na internet como, por exemplo: *Newton's Dream – Artificial Sattelites: From Sputnik to Space Shuttle* e *Motion and Pendulum*.

Os projetos mencionados acima, que refletem a preocupação e o esforço empreendidos para que a história e a natureza da ciência se efetivem nos currículos de ciências, são mantidos por pesquisadores reconhecidos na área de ensino de ciências, com artigos publicados em importantes periódicos da área e apresentações em congressos internacionais. Alguns desses trabalhos estão diretamente associados aos projetos mencionados acima e apresentam propostas para aplicação e análise dos resultados da utilização dos casos históricos [Clough 2010; Clough, Herman & Smith 2010; Kruse *et al.* 2009; Kruse 2010; Vanderlinden 2007; Höttecke, Henke & Rieß 2010].

⁵⁴ <http://www.storybehindthescience.org/>

⁵⁵ <http://www1.umn.edu/ships/mission.htm>

⁵⁶ <http://hipstwiki.wetpaint.com/page/hipst+developed+cases>

⁵⁷ <http://sci-ed.org/>

Diante das reivindicações, nacionais e internacionais, e das iniciativas tomadas pelos professores e pesquisadores mencionados acima no sentido de unir História da Ciência, NdC e ensino de ciências, pode-se motivar o professor de ciências a seguir o mesmo caminho. Estimular esse anseio e contribuir para sua concretização é uma das metas deste trabalho. Contudo, estimular os professores a se lançarem nessa empreitada não significa deixar de reconhecer os riscos e dificuldades inerentes à mesma.

Os baixos índices de alfabetização científica em nível mundial, como citados por Shamos (1995) e Barros (1998) dentre outros, são um indício do quão problemático é ensinar ciências. As contínuas controvérsias entre filósofos da ciência no esforço de compreender e descrever a atividade científica, aliadas à constatação de que professores e alunos ainda mantêm representações de NdC distanciadas da que se considera mais adequada (resultados apresentados no Capítulo 4), mostram a complexidade desse assunto. Por outro lado, as atas de congressos e artigos publicados por historiadores da ciência, voltados para o ensino, são um indício de quanto a História tem sido mal utilizada no ensino [Martins 2001], contribuindo, assim, para uma imagem distorcida e mitificada da ciência.

A intenção é chamar a atenção dos professores sobre alguns cuidados e orientações necessários quando se trabalha em sala de aula. No próximo item são apresentados alguns resultados de estudos sobre o uso da História da Ciência em geral e, também, sobre o uso da História da Ciência para informar sobre a NdC.

6.3 – ASPECTOS METODOLÓGICOS

As orientações dadas a seguir poderão ser úteis para o professor que deseje contribuir para que seus alunos construam uma imagem informada da ciência. Elas também serviram de guia para a elaboração do material didático que acompanha essa dissertação.

6.3.1 – ABORDAGEM IMPLÍCITA X ABORDAGEM EXPLÍCITA

Abd-El-Khalick e Lederman (2000a) fizeram uma revisão crítica da literatura a respeito das tentativas empreendidas para aprimorar as concepções de NdC de professores. Os trabalhos revisados foram classificados como de abordagem implícita ou explícita. Em geral, os trabalhos que utilizam uma abordagem *implícita* se apóiam na idéia de que empreendendo pesquisas e desenvolvendo as habilidades próprias para uma atividade científica, os alunos construirão uma imagem informada da ciência. As

pesquisas têm refutado esta idéia. Aumentar o número de disciplinas científicas, mais disciplinas de laboratório, aulas de História da Ciência, nada disto, por si só, garante uma mudança significativa de concepção sobre a NdC.

Por *explícitas* entende-se que as questões referentes aos elementos da NdC devem estar incorporadas nos objetivos instrucionais das aulas de ciências e não desatrelados delas. Essas abordagens tem se mostrado mais eficazes [Rudge & Howe 2007; Acevedo 2005; Abd-El-Khalick & Lederman 2000b]. Por *reflexivas* entende-se que:

... para uma mudança significativa, os alunos precisam ser incentivados a desenvolver uma compreensão mais sofisticada da natureza das questões de ciência *como resultado de suas próprias deliberações*, bem como vir a reconhecer as implicações do conhecimento adquirido *a partir de discussões sobre exemplos específicos* para a sua compreensão da ciência em geral⁵⁸. [Rudge & Howe 2007 – grifos do autor]

Nestes casos, os elementos da NdC são claramente colocados e debatidos com os alunos. Abordagens baseadas na pesquisa científica, na História e Filosofia da Ciência, ou com enfoque CTS, contanto que *explícitas e reflexivas*, têm se mostrado eficazes [Acevedo 2005]. Os autores dos documentos da AAAS (1989, 1993) mostram-se conscientes disto quando escrevem:

Adquirir conhecimento científico sobre como o mundo funciona, não conduz necessariamente a uma compreensão de como a ciência em si funciona, e nem o conhecimento da filosofia e da sociologia da ciência por si só leva a uma compreensão científica do mundo. O desafio para os educadores é o de tecer esses diferentes aspectos da ciência em conjunto para que eles se reforcem mutuamente. [AAAS 1993]

Deste modo, um professor de Física que deseje informar seus alunos sobre aspectos chave da NdC, deve fazê-lo de modo explícito e reflexivo. Não basta apresentar passagens da história da ciência, o trabalho de algum cientista, alguma descoberta, desenhar um contexto histórico, e esperar que os alunos pintem o quadro da ciência. A Física e a História da Física têm que se fazer acompanhar de reflexões epistemológicas e metodológicas, assim como dos próprios conteúdos específicos.

Para concretizar, podem-se considerar as mudanças sofridas pela visão do lugar da Terra no Cosmos ao longo dos séculos. A simples exposição aos modelos de Ptolomeu, Copérnico, às contribuições de Galileu e Kepler, culminando com a grande síntese Newtoniana, não será suficiente para assegurar que os alunos se convençam e estejam conscientes do caráter provisório, subjetivo (em certo grau), e contextualizado

⁵⁸ Tradução do autor.

histórica e socialmente da ciência. Por mais que a narrativa histórica pareça evidenciar esses aspectos, é preciso considerar que os alunos já vêm com imagens de ciência construídas no seu contato com a mídia, com os manuais escolares, onde, muitas vezes, são expostos a apresentações simplificadoras e deturpadas da ciência [Pagliarini 2007; Monteiro & Nardi 2008]. A modificação dessas imagens só será favorecida se os aspectos da NdC forem alvo explícito da ação pedagógica e o professor proporcionar atividades nas quais os alunos venham a refletir sobre elas.

6.3.2 – DISTORÇÕES HISTÓRICAS

Se a História da Ciência pode ser um instrumento eficiente para veicular imagens adequadas da NdC, ela é igualmente poderosa para criar e promover imagens míticas e distorcidas da ciência. Assim, quem quiser usar a História da Ciência para promover uma visão informada da NdC deve estar atento para não caminhar na direção contrária. Roberto Martins (2001) é bastante contundente quando defende este ponto, ou seja, o cuidado com a correção histórica, tanto quanto isto for possível. O reconhecimento da utilidade da História da Física no ensino de Física tem atraído muitos físicos para a historiografia da Física. Infelizmente, nem sempre a qualidade do material produzido corresponde à intenção daquele que se lançou à tarefa. Martins (2001) não sugere que apenas os titulados na área possam fazer a historiografia da ciência, o que seria uma postura corporativa. Argumenta, contudo, com justiça, que para dominar qualquer área do conhecimento são necessários estudo e dedicação. Isso não é diferente no que se refere à História da Física.

O professor de Física, em geral, não faz historiografia da Física, mas essas alertas são importantes uma vez que ele se resolva por utilizar a História da Física como veículo de discussões sobre a NdC. Muitas abordagens históricas contidas em manuais de ensino e livros de divulgação deturpam a História da Física [Pagliarini 2007; Martins 2001] e essa história deturpada não pode construir uma imagem informada da NdC. Assim, é preciso estar atento para os erros mais frequentes.

Douglas Allchin⁵⁹, assim como Roberto Martins, tem envidado esforços no sentido de apontar os erros mais comuns na historiografia da ciência, em particular para os educadores em ciências que não são especialistas em História da Ciência. Deste modo, ele cunhou o termo *pseudo-história* em analogia a pseudociência. Para ele, as

⁵⁹ Ver os artigos: Allchin, 1995, 2003a, 2003b e 2004.

histórias que *romantizam os cientistas, aumentam o drama de suas descobertas, e simplificam o processo da ciência*⁶⁰ [Allchin 2004] são, literalmente, mitos da ciência. A essas ele chama de pseudo-histórias.

Há as histórias falsas da ciência, isto é, fatos que se contam e que não aconteceram como, por exemplo, a maçã caindo na cabeça de Newton [Martins 2006], Galileu jogando bolas do alto da torre inclinada de Pisa, Arquimedes correndo nu pelas ruas de Atenas gritando Eureka [Martins 2000] e muitas outras. É claro que, uma vez reconhecida a inverdade de alguma narrativa histórica, o professor deve esclarecer seus alunos quanto a isso ao invés de continuar propagando o erro.

Allchin (2004) denomina de pseudo-história o uso seletivo de fatos de forma a reforçar visões romantizadas e heróicas dos cientistas e, com isso, promover imagens profundamente enganosas sobre a NdC [Allchin 2004]. Em seus artigos Allchin (1995, 2003a, 2003b e 2004) sistematizou as distorções mais comuns na historiografia da ciência, principalmente com a intenção de orientar os professores de ciências a evitá-los. Um erro muito comum é o *anacronismo*, isto é, avalia-se o passado com os olhos do presente. As ações e posicionamentos de cientistas do passado são julgados a partir de normas e padrões de hoje, em flagrante desrespeito por seu contexto histórico.

Uma das modalidades de anacronismo é o *whigguismo*⁶¹. O objetivo desta prática é reforçar a autoridade de um cientista, teoria ou metodologia selecionando dados favoráveis e desprezando ou distorcendo os desfavoráveis. Uma teoria vista hoje como válida é julgada correta desde o princípio e todas as outras visões ao invés de serem vistas como alternativas plausíveis são apresentadas como adversárias da visão correta. É como se sempre tivesse sido possível saber o melhor caminho a seguir e a dúvida, a incerteza e a controvérsia não fossem características essenciais da atividade científica.

A *hagiografia* é a modalidade de *whigguismo* que tende a apresentar um cientista como herói e todos os que defendem visões contrárias às suas como vilões. Deste modo, por exemplo, Galileu surge como paladino da verdade contra uma plêiade de espíritos ignorantes, preconceituosos e interesseiros. O fato de que havia homens instruídos na Igreja e as falhas na argumentação de Galileu são totalmente desconsideradas. O avanço da ciência fica, portanto, creditado a esses poucos gênios

⁶⁰ Tradução do autor.

⁶¹ Esta denominação tem origem na prática de um partido político britânico que ‘contava’ a história de modo a fortalecer seu próprio poder.

infalíveis que trabalham isolados, sem a contribuição de outros. Isto, é claro, distorce muito aquilo que se entende hoje seja o processo de desenvolvimento do conhecimento científico.

A *reconstrução racional* de um episódio da História da ciência costuma ter motivação didática. Com o objetivo de fazer compreensível um conceito ou teoria, sua gênese é apresentada de forma lógica, acumulativa e linear; as dúvidas, os erros, as idas e vindas do processo de construção do conhecimento científico ficam de fora da narrativa histórica. De fato, a reconstrução racional pode facilitar a apreensão de conceitos da ciência, mas certamente incute conceitos errados *sobre* a ciência. Se uma compreensão adequada da NdC é desejável tem-se que encontrar uma forma de conciliar esta meta com o ensino dos conteúdos da ciência.

Vê-se assim que evitar a pseudociência não é uma questão apenas de se ensinar conceitos científicos adequados, é também uma questão de ensinar conceitos metacientíficos adequados. A pseudo-história é um caminho que conduz à pseudociência. Tendo isso em vista, Allchin (2004) destaca uma série de elementos da arquitetura de narrativas pseudo-históricas, com a finalidade de que sejam mais facilmente identificadas, mesmo por quem não seja especialista em História da Ciência. São, segundo ele, os *sinais de cuidado* da pseudo-história:

- relatos romantizados;
- personalidades sem defeitos;
- descobertas monumentais e individuais;
- *insight* (estalo) tipo eureka;
- apenas experimentos cruciais;
- senso de inevitável;
- retórica da verdade versus ignorância;
- ausência de qualquer erro;
- interpretação apromática de evidências;
- simplificação generalizada ou idealização
- conclusões carregadas de ideologia;
- autor com uma agenda estreita

A desconsideração do contexto no qual a ciência é desenvolvida é outra característica da narrativa de pseudo-história. Assim, estão ausentes delas:

- o cenário social e cultural;
- as contingências humanas;

- as idéias antecedentes;
- as idéias alternativas.

O reconhecimento desses elementos em narrativas históricas sobre a ciência deve levar o professor de ciências a questionar e avaliar suas fontes de confiabilidade. Ainda é grande a incidência de histórias falsas e pseudo-história em manuais de ciências e publicações de divulgação. Contudo, o reconhecimento crescente da utilidade da História da Ciência para o ensino tem atraído historiadores da ciência que, além de publicarem para seus pares, passam a escrever também com a proposta de atender esta crescente demanda do ensino de ciências. É preciso que os profissionais da educação em ciências se municiem de instrumentos que lhes permitam evitar os erros históricos que, por sua vez, incidirão sobre a imagem de NdC.

6.3.3 – CONSTRUINDO NARRATIVAS HISTÓRICAS

Clough (2010), preocupado em orientar a construção de narrativas históricas da ciência que contribuam para uma aprendizagem efetiva da NdC, apresenta as seguintes recomendações:

1. Histórias da ciência devem centrar-se nas idéias de ciência importantes, já presentes em cursos de ciências. Isto irá tornar mais provável a sua utilização na sala de aula de ciências. Muitos professores são relutantes em usar materiais curriculares de história e a natureza da ciência que levam muito tempo afastados do ensino de conteúdos científicos.
2. Histórias da ciência devem ser escritas de modo que possam ser utilizadas de forma flexível por professores de ciências (por exemplo, deve haver a escolha em relação a que histórias usar, o número de histórias a implementar, e onde, no currículo, as histórias são utilizadas, etc.) Essas histórias são mais propensas a fazer o seu caminho nas salas de aula.
3. Histórias da ciência devem ser criadas de modo a abordar o passado e o presente, para que professores e alunos não rejeitem idéias precisas da NdC como sendo de uma época passada.
4. Histórias da ciência devem incorporar, onde for apropriado, as palavras dos cientistas para acentuar o lado humano da ciência e para adicionar autenticidade às idéias da NdC sendo ilustradas.
5. Histórias da ciência devem incorporar comentários que, explicitamente, chamem a atenção dos alunos para as idéias chave da NdC e incluir questões que levem os alunos a refletir sobre a NdC.
6. Histórias da ciência devem ser ligadas ao conteúdo de outras ciências dentro e fora da sala de aula.⁶²

As advertências e recomendações deste Capítulo devem servir para tantos quantos estejam conscientes da importância de dar novos rumos ao ensino de ciências, de expandir os horizontes para além da retórica de conclusões e utilizar a História da

⁶² Tradução do autor.

Ciência, não só por seu valor intrínseco, mas por sua possibilidade de contribuir para a construção de idéias sobre a NdC. Conforme a epígrafe do Capítulo 3, *educação não é apenas a posse de crenças corretas, é a posse de razões adequadas para estas crenças.*

Apêndice: Caderno do Professor

A 'NATUREZA DA CIÊNCIA' ATRAVÉS DO EXEMPLO DO DESENVOLVIMENTO DAS IDEIAS QUE LEVARAM À GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

Marcelo Franco de São Tiago

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadores:

Fernando de Souza Barros
Susana Lehrer de Souza Barros

Rio de Janeiro
Abril de 2011

Não nos perguntamos qual o propósito útil dos pássaros cantarem, pois o canto é o seu prazer, uma vez que foram criados para cantar. Similarmente, não devemos perguntar por que a mente humana se inquieta com a extensão dos segredos dos céus... A diversidade dos fenômenos da Natureza é tão vasta e os tesouros escondidos nos céus tão ricos, precisamente para que a mente humana nunca tenha falta de alimento.

Johannes Kepler

Caro Professor,

O material que se apresenta agora é fruto da minha insatisfação com o ensino de Física como ele frequentemente ocorre. Portanto, se você também estiver insatisfeito, este material poderá lhe interessar.

A motivação para escrevê-lo veio da percepção que os alunos, mesmo aqueles mais interessados e que aprendem o que ensinamos, após três anos de muitas aulas de Física, Química e Biologia, apresentam uma visão equivocada da atividade humana que chamamos ciência.

O aluno pode falar sobre os *modelos* geocêntrico e heliocêntrico, enunciar as *Leis* de Kepler, apresentar algumas idéias sobre a *Teoria* de Gravitação Universal de Newton e mesmo saber escrever corretamente as expressões matemáticas correspondentes. Apesar disto, não sabe o que seja um *modelo*, uma *lei* ou uma *teoria*. Muitas vezes acha que com provas suficientes, uma teoria pode acabar virando uma lei.

Difícilmente será encontrado um aluno no Ensino Médio que não saiba expressar corretamente que a Terra gira em torno de seu eixo e revoluciona em torno do Sol. Porém, será difícil encontrar um que apresente razões para acreditar nisso e que consiga justificar suas afirmativas. Ainda mais difícil será que consigam reconhecer modelos históricos que explicavam o movimento da Terra há mais de dois mil anos atrás, compreender as críticas que levaram ao abandono desses modelos, enfim, reconhecer os avanços, mas, ao mesmo tempo, as limitações das contribuições dadas por Copérnico, Galileu, Brahe, Kepler e Newton.

Certamente, isto não é culpa do aluno. Frequentemente o sistema de ensino é dogmático e mecanizado, baseado na repetição, treinamento e memória e oferece pouco estímulo ao pensamento autônomo e crítico. Na disciplina de Física costuma ser suficiente conhecer um amplo leque dos algoritmos que representam as relações entre as grandezas físicas para resolver problemas. Nesse cenário como esperar que o aluno aprecie a beleza que o conhecimento da Física poderia lhe trazer?

Qualquer professor que pretenda contribuir para transformar a realidade atual do ensino de física terá que preocupar-se com a 'natureza da ciência' no seu trabalho cotidiano. Quer dizer, não basta melhorar a forma como se ensinam os conteúdos da ciência (neste caso, da Física), é preciso ensinar sobre a ciência, mostrá-la como uma atividade humana, uma ferramenta ao mesmo tempo poderosa, mas com limites. Como

dizia Platão, *mostrar as razões pelas quais se deve acreditar na ciência*. Ajudá-lo nesta empreitada é o principal objetivo deste material.

APRESENTAÇÃO

Para o professor do ensino médio que acredite ser importante trabalhar aspectos da ‘natureza da ciência’ quando ensina Física, o acesso a materiais que lhe permitam introduzir elementos de ‘natureza da ciência’ (NdC) pode reforçar o ensino em sala de aula. É importante ressaltar dois aspectos que explicam o porquê dessa situação: os textos didáticos tratam pouco desse assunto de forma explícita, e os professores frequentemente têm um déficit oriundo de sua formação inicial. Somente aqueles que por interesse motivaram-se para leituras e estudos autodidatas sentem-se preparados para enfrentar esse desafio.

Os seis textos históricos apresentados para o professor constituem uma seqüência alinhavada de forma sintética das principais idéias da ciência, que levaram a estabelecer a teoria da Gravitação Universal, dos povos antigos até Newton, que foram desenvolvidas ao longo de 2000 anos. Esses textos têm o objetivo de mostrar de forma muito sucinta as idas e voltas de como se deu o desenvolvimento da ciência, as propostas, as formas de trabalho dos cientistas que as elaboraram, os modelos e exemplos dos elementos que a ciência usa para construir-se e que por tanto a caracterizam de forma singular. Newton juntou esse conhecimento para chegar à grande síntese teórica da Gravitação Universal. Essa análise pode ser usada como exemplo para identificação e reflexão dos elementos essenciais da NdC, que levam a entender os processos cognitivos e avaliativos da ciência, tais como criatividade, dados empíricos, teoria, desenvolvimento de modelos coerentes que podem ser verificados. A evolução das teorias, seus objetivos e limitações auxiliam na compreensão da importância de uma aprendizagem de ciência que não se limite aos conteúdos ‘nus’. Essa aprendizagem pode acontecer de forma mais eficiente e duradoura quando alinhavada através de elementos da NdC, o que levará o aluno a reconhecer o significado do que aprende.

As questões e atividades propostas no final de cada um dos seis textos históricos surgem apenas como uma sugestão de aplicação dos mesmos e têm a intenção de dar algumas idéias para o professor utilizá-los em sala de aula com seus alunos. Cada um dos textos identifica, inicialmente, os elementos da NdC que podem ser trabalhados e que fazem parte da lista apresentada no item 1.3 deste Caderno. Cada um desses

elementos de NdC está associado a um número, que indica sua posição na referida lista. Estes números aparecem em pequenas caixas, na margem lateral do texto. O propósito disto é facilitar a identificação das partes do texto que apresentam com maior clareza determinadas características da atividade científica. As questões de compreensão relacionadas com os textos e os projetos sugeridos para os alunos constituem atividades que eles poderão realizar em grupo ou individualmente. O foco dessas atividades é a busca por *evidências* dos elementos que têm caracterizado a ciência, desde sua gênese até o século XVIII, a partir do caso da Gravitação, isto é, evidências das formas pelas quais cientistas como Galileu e Newton trabalharam e influenciaram decisivamente o conhecimento desenvolvido posteriormente.

Os textos históricos têm o objetivo de apresentar algumas idéias acerca de nossa compreensão do Universo, desde os modelos dos Gregos até a obra de Newton. A intenção é utilizar o desenvolvimento histórico das idéias que levaram à Teoria de Newton da Gravitação Universal para explicitar características da ciência. Pode-se mesmo dizer que o fruto mais importante desse esforço de compreensão do comportamento do Universo não foi a teoria particular, mas sim a forma de desenvolver esse conhecimento. Com a síntese Newtoniana a ciência, nascida na Grécia, atinge a maturidade.

Sumário

1. A ‘NATUREZA DA CIÊNCIA’ E O ENSINO DE FÍSICA	76
1.1. O que significa ‘Natureza da Ciência’	76
1.2. Porque ensinar ‘Natureza da Ciência’	77
1.3. O que ensinar sobre a ‘Natureza da Ciência’	78
1.3.1. Idéias de NdC comumente encontradas.....	78
1.3.2. Elementos de NdC: uma proposta para o ensino médio.....	81
1.4. Ensino de Física, História da Ciência e ‘Natureza da Ciência’	85
1.5. A Gravitação Universal	87
2. TEXTOS HISTÓRICOS SOBRE A GRAVITAÇÃO UNIVERSAL	89
Texto 1 – Um novo olhar para o céu: o surgimento da ciência	89
Texto 2 – A Terra se move? O céu dos Gregos.....	92
Texto 3 – A obra de Copérnico: deslocando a Terra do centro do Universo	97
Texto 4 – Observação e Teoria. As contribuições de Brahe e Kepler.....	100
Texto 5– Galileu: para uma Física da Terra em Movimento.....	105
Texto 6 – Unindo Céu e Terra. A síntese de Newton.....	110
UMA REFLEXÃO SOBRE A CIÊNCIA E SUA NATUREZA NA SALA DE AULA	114
BIBLIOGRAFIA	115

1. A 'NATUREZA DA CIÊNCIA' E O ENSINO DE FÍSICA

1.1. O QUE SIGNIFICA 'NATUREZA DA CIÊNCIA'

Assim como a ciência é uma representação da Natureza, a 'Natureza da Ciência' (NdC) é uma representação da ciência.

A Física propõe respostas para perguntas feitas sobre fatos, processos e objetos do mundo material, por exemplo: Como se movem os astros? O que é a luz e como ela se propaga? Do que são feitas todas as coisas? Como surgiu o universo? Qual é a constituição da matéria?

A NdC propõe respostas para perguntas sobre a ciência: Como se dá o desenvolvimento do conhecimento científico? O que diferencia a ciência de outras atividades humanas? O que é um fenômeno, um fato, uma hipótese, uma lei, um modelo, uma teoria? A ciência exige criatividade? Como a ciência se relaciona com a sociedade e a cultura, de forma mais ampla? Como se testam idéias em ciência?

As respostas dadas a essas e muitas outras perguntas compõem a visão atual de ciência, de "Natureza da Ciência". É preciso reconhecer que há muita controvérsia entre os especialistas e que nem todos enxergam as características da ciência do mesmo modo. Contudo, sobre algumas questões mais básicas (que podem ser compreendidas e interessar alunos do ensino médio), há suficiente acordo para que se possa formar uma imagem de NdC.

Deste modo, pode-se dizer que:

Para os educadores da ciência a expressão 'a natureza da ciência', é usada para descrever a interseção de questões abordadas pela filosofia, história, sociologia e psicologia da ciência como elas se aplicam e potencialmente impactam o ensino e a aprendizagem da ciência. Como tal, a natureza da ciência é um domínio fundamental para orientar os educadores em ciência na acurada representação da ciência aos estudantes. [McComas, Clough & Almazroa 1998, p. 5]

Isto não quer dizer que o professor de Física deva se tornar filósofo, sociólogo, psicólogo ou historiador da ciência. Ele deverá ser informado pelos especialistas das referidas área para construir uma imagem de ciência compreensível para os jovens estudantes.

1.2. PORQUE ENSINAR 'NATUREZA DA CIÊNCIA'

Como Platão insistiu, longo tempo atrás, educação não é apenas a posse de crenças corretas, é a posse de razões adequadas para estas crenças.

Michael Matthews

Para uma compreensão das razões para se crer, como queria Platão, é preciso ir além da ciência. Como dito antes, a ciência é um olhar sobre a natureza e não sobre si própria. Portanto, só com as contribuições das disciplinas que têm como objeto a ciência pode-se chegar a compreender sua gênese e desenvolvimento.

Pesquisadores ligados ao ensino de ciências vêm advogando a inclusão da NdC nos currículos científicos há muitas décadas. Em consequência disto, currículos de ciências de um número cada vez maior de países têm incluído elementos da NdC em seus textos.

Dentre as justificativas apresentadas nesses documentos para essa inclusão, podem-se citar as seguintes: (a) proporcionar uma compreensão sobre as maneiras pelas quais o conhecimento confiável do mundo natural tem sido e está sendo obtido; (b) compreendendo como se produz o conhecimento, as pessoas deixarão de rejeitá-lo ou aceitá-lo acriticamente; (c) apreciar o valor da ciência como parte da cultura contemporânea; (d) os alunos devem compreender a ciência como um poderoso esforço humano. Recentemente, um grupo brasileiro de professores de Física escreveu, num documento de orientação curricular para o estado do Rio de Janeiro, o texto que destacamos a seguir:

Tão importante quanto conhecer os princípios fundamentais da Física é saber *como chegamos a eles, e porque acreditamos neles*. Não basta ter conhecimento científico sobre a natureza; também é necessário entender *como a ciência funciona*, pois só assim as *características e limites* deste saber podem ser avaliados. O estudo da Física coloca os alunos da escola média frente a situações concretas que podem ajudá-los a compreender a ***natureza da ciência*** e do conhecimento científico. Em particular, eles têm a oportunidade de verificar como é fundamental para a aceitação de uma *teoria científica* que esta seja consistente com *evidências experimentais*. Isso lhes permitirá distinguir melhor entre ciência e pseudociência, e fazer sua própria avaliação sobre temas como astrologia e criacionismo. Eles poderão também reconhecer as limitações inerentes a investigação científica, percebendo que existem questões fundamentais que não são colocadas nem respondidas pela Ciência. [Aguiar, Gama e Costa 2006 – grifos do autor]

O que o ensino de Física poderia oferecer de melhor para o imenso grupo de alunos que não seguirá a carreira científica do que o exposto no parágrafo acima?

1.3. O QUE ENSINAR SOBRE A 'NATUREZA DA CIÊNCIA'

Compreendemos hoje, com especial clareza, o quanto estão equivocados os teóricos que acreditam que a teoria provém da experiência, por indução. Nem o grande Newton conseguiu escapar desse erro (“*Hypotheses non fingo*”).

Albert Einstein

Ainda bem que é o Einstein que está dizendo! Mas, brincadeiras à parte, a epígrafe está aí para lembrar que todos erram⁶³. O erro é parte do processo de construção do conhecimento, o que não quer dizer que não se deva corrigi-los quando identificados. Deste modo, é muito comum que alunos, professores e livros didáticos apresentem certas visões mitificadas da ciência. A seguir serão identificados alguns desses mitos, bem como a visão de NdC considerada informada. Antes, porém, é preciso fazer uma ressalva:

Ninguém aprende física só porque recebeu uma folha cheia de fórmulas. Do mesmo modo, a leitura deste material serve, no máximo, para indicar aquilo que deve ser estudado e aprofundado através de fontes mais qualificadas⁶⁴. O objetivo deste trabalho é muito mais fazer refletir e estimular do que informar.

1.3.1 – Idéias de NdC comumente encontradas

Relacionam-se, abaixo, algumas das idéias consideradas equivocadas por pesquisadores das áreas de ensino de ciências, história e filosofia da ciência, mas que ainda são comumente encontradas entre alunos, professores e nos livros didáticos de ciências.

1. O CONHECIMENTO CIENTÍFICO É CONSIDERADO COMO CERTO, VERDADEIRO E ABSOLUTO.

Esta visão se baseia na crença de que testes empíricos podem provar de forma absoluta e definitiva uma afirmação científica. O acordo entre dados de observação e hipóteses, modelos e teorias são evidências que se acumulam em favor dos mesmos,

⁶³ Na realidade, a discussão sobre o sentido da frase de Newton, como ele entendia e fazia ciência é mais complexa e deveria levar em conta o resto de sua obra e o contexto científico da época, como as idéias de Descartes, etc.

⁶⁴ Uma sugestão de fontes deste tipo é dada nas referências bibliográficas.

mas não chegam a constituir-se em prova definitiva. A história de ciência mostra vários desses casos em que teorias têm passado por testes experimentais para serem, mais tarde, abandonadas como incorretas. Outras se encontram em desacordo com algum experimento e, assim mesmo, não são descartadas. O conhecimento tem caráter provisório no sentido de ser auto-corretivo.

2. O CONHECIMENTO CIENTÍFICO EMERGE AUTOMATICAMENTE DA APLICAÇÃO DE UM MÉTODO CIENTÍFICO ALGORÍTMICO, ÚNICO E UNIVERSAL.

Além de não haver um método único que se aplique a todas as ciências, os diversos métodos existentes não são garantia da obtenção de conhecimento. Nenhum conjunto de passos seguidos rigorosamente pode levar à construção de uma teoria, por exemplo. Apesar de se construir apoiado em fatos, o conhecimento científico não é um acúmulo de fatos do mesmo modo que um monte de tijolos não é uma casa.

3. A CRIATIVIDADE NÃO É RECONHECIDA COMO UMA CARACTERÍSTICA ESSENCIAL DA PESQUISA CIENTÍFICA.

A ciência tem como meta proporcionar explicações generalizáveis. Estas explicações são as teorias e os modelos. Nenhum conjunto de fatos é suficiente para, por si só, dar origem às teorias e modelos. Só a criatividade humana é capaz de engendrar tais explicações, isto é, não há um caminho lógico que leve dos dados às explicações, estas têm que ser inventadas.

4. COMPREENSÃO EQUIVOCADA DA RELAÇÃO ENTRE LEIS E TEORIAS CIENTÍFICAS.

As pesquisas em ensino de ciências têm mostrado que é comum pensar-se que com mais evidências favoráveis, uma teoria pode vir a tornar-se uma lei. Contudo, não há esta relação hierárquica entre elas. Leis e teorias exercem funções distintas na pesquisa científica. Leis são generalizações, princípios ou padrões na natureza, estabelecem relações, geralmente quantitativas, entre parâmetros mensuráveis ou características do sistema em estudo. São exemplos as leis de Kepler, as leis de Newton, a lei de Hooke, a lei de Boyle, as leis da termodinâmica, as leis de Maxwell, etc. Já as teorias procuram fornecer as explicações para tais padrões ou regularidades. Um exemplo claro é a relação entre as leis de Boyle, Charles e Gay-Lussac, que estabelecem padrões para o comportamento de um gás e a teoria cinética dos gases, que justifica tal comportamento.

5. MODELOS CIENTÍFICOS SÃO CÓPIAS DA REALIDADE.

A discussão deste ponto está associada à questão filosófica entre realismo (os produtos da ciência não apenas funcionam e permitem previsões, mas realmente representam e/ou descrevem a realidade) e instrumentalismo (as idéias estão de acordo com as observações e são úteis para fazer previsões, mas não pretendem descrever a realidade como ela é). Entre os filósofos a questão é muito sofisticada, mas alguns exemplos da história da ciência podem ajudar o professor a levar essa questão de forma mais simples para o ensino médio. Dois exemplos da história da gravitação são as esferas cristalinas (reais para uns e apenas um modelo para as contas para outros) e o prefácio de Osiander para o livro de Copérnico, propondo que o modelo heliocêntrico seria apenas um recurso para facilitar os cálculos das órbitas dos planetas e não uma descrição da realidade. Uma imagem interessante para discutir isto é fornecida por Einstein e Infeld no livro *A Evolução da Física*⁶⁵. Eles comparam a natureza a um relógio que não pode ser aberto. A ciência é o relógio que construímos e que deve se comportar como o primeiro. Mesmo quando conseguimos fazer com que nosso relógio reproduza todos os movimentos do primeiro, não podemos afirmar que seus mecanismos internos sejam idênticos.

6. O CONHECIMENTO CIENTÍFICO CRESCE E SE ACUMULA DE FORMA LINEAR.

O modo como o conhecimento científico costuma ser apresentado nos livros didáticos e nas aulas de ciências promove a visão de que os cientistas se alinham na construção de uma visão coerente e única da ciência, cada um avançando de onde o anterior parou. As crises, controvérsias, idas e voltas da pesquisa científica são desconsideradas. O estudo das idéias que levaram à gravitação também fornece elementos para a transformação desta visão. O revolucionário Copérnico propõe um modelo que já havia sido proposto na Grécia antiga, e tinha por objetivo resgatar as esferas perfeitas do modelo aristotélico. Kepler defende o heliocentrismo copernicano, mas propõe as órbitas elípticas (uma verdadeira ruptura com as esferas milenares) e sugere partituras para as melodias entoadas pelos astros. Galileu, o mais eficiente defensor do modelo heliocêntrico, não se pronunciou quanto às órbitas elípticas e parece mesmo que continuou aceitando o círculo. Newton usou muito dos resultados de ambos, mas transformou a inércia de Galileu de circular para retilínea e dos muitos escritos e proposições de Kepler ficou apenas com suas leis de movimento planetário. Como se

⁶⁵ [Einstein & Infeld 1988]

pode observar, o crescimento do conhecimento científico se dá de forma muito mais complexa do que a propagada linearidade.

1.3.2 – Principais elementos de NdC

Apesar de toda controvérsia em torno da possibilidade de se oferecer um quadro geral que caracterize a ciência, algumas idéias básicas estão muito bem estabelecidas. Não se pode perder de vista, que o objetivo não é apenas compor uma imagem informada da ciência, mas também definir quanto dessa imagem pode ser apresentada aos alunos do ensino médio. Para a elaboração deste “Caderno do Professor” foram utilizadas pesquisas empreendidas no âmbito da educação em ciências. Isto é, os pesquisadores conduziram seus trabalhos com o objetivo de informar a comunidade de ensino de ciências e, portanto, todos já buscavam um consenso dentro do que seria razoável trabalhar no ensino médio. Deste modo, os elementos da NdC apresentados aqui já cumprem os dois critérios seguintes: (a) são consensuais entre os especialistas e (b) estão num nível de complexidade adequado para serem discutidos com alunos do ensino médio.

LISTA DE ELEMENTOS DA NdC QUE SERÃO TRABALHADOS⁶⁶

1. A CIÊNCIA DEPENDE DE EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS.
2. A DISTINÇÃO ENTRE OBSERVAÇÃO E INFERÊNCIA.
3. LEIS E TEORIAS EXERCEM FUNÇÕES DIFERENTES NA CIÊNCIA.
4. A CIÊNCIA COMO BUSCA DE EXPLICAÇÕES.
5. O CONHECIMENTO CIENTÍFICO É PARCIMONIOSO
6. O CONHECIMENTO CIENTÍFICO TEM UM CARÁTER PROVISÓRIO
7. O CARÁTER SOCIAL DA CIÊNCIA
8. A CIÊNCIA TEM UM COMPONENTE SUBJETIVO (IMPREGNADO DE TEORIA)
9. A CRIATIVIDADE É UMA CARACTERÍSTICA ESSENCIAL DA CIÊNCIA
10. CIÊNCIA E TECNOLOGIA NÃO SÃO A MESMA COISA, MAS IMPACTAM UMA SOBRE A OUTRA

⁶⁶ Esta lista é apenas uma sugestão de trabalho. Há muitos outros elementos da NdC que poderiam ser discutidos no ensino médio, como sugerem as pesquisas na área. Aqui, faz-se uma seleção, com o intuito de exemplificar como esses elementos podem ser trabalhados de forma integrada num programa de Física.

Para que elementos da NdC possam ser trabalhados em aulas de Física eles devem estar integrados com o seu conteúdo. É preciso, pois, identificar os conteúdos do programa de Física mais apropriados para explicitar essa ou aquela idéia da NdC. A unidade curricular escolhida para este exercício é a Gravitação Universal. O que se seguirá é uma tentativa de acomodar, sob as idéias básicas da NdC, aqueles aspectos do conteúdo de Física junto do qual elas poderão ser apresentadas e discutidas.

1. A CIÊNCIA DEPENDE DE EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS.

Um exemplo extraordinário é o papel desempenhado pelos dados de Tycho Brahe para o estabelecimento de uma cinemática dos corpos celestes por Johannes Kepler. Mas mesmo antes disso, já se encontram modelos cosmogônicos comprometidos com os dados de observação acumulado ao longo dos tempos.

2. A DISTINÇÃO ENTRE OBSERVAÇÃO E INFERÊNCIA.

Quando Penzias e Wilson observaram um sinal de microondas vindo de todos os pontos do universo acharam que era apenas um ruído. Quando os cosmólogos souberam dessa observação inferiram que se tratava de radiação associada ao Big Bang. Esta ligação entre o sinal de microondas detectado e o Big Bang não está no que é observado, tem que ser inferida.

3. LEIS E TEORIAS EXERCEM FUNÇÕES DIFERENTES NA CIÊNCIA.

As leis dos gases estabelecem relações matemáticas entre parâmetros mensuráveis como pressão volume e temperatura. A teoria cinética dos gases fornece uma explicação para estas relações. Portanto, leis e teorias desempenham funções diferentes no âmbito da ciência e uma não se transforma na outra. Outro exemplo são as Leis de Kepler que estabelecem padrões para os movimentos dos astros e a teoria de gravitação universal que, a partir da existência de uma força atrativa entre corpos com massa e da forma desta atração explica os resultados obtidos por Kepler.

4. A CIÊNCIA COMO BUSCA DE EXPLICAÇÕES.

O que distingue a forma como os gregos e os outros povos da antiguidade se relacionaram com os dados de observação do céu foi a busca de explicação por parte dos primeiros. Os outros povos reconheceram uma ordem nos movimentos e até conseguiram fazer previsões, mas não construíram modelos que explicassem os diferentes movimentos a partir de alguns princípios básicos, como os círculos dos gregos.

5. O CONHECIMENTO CIENTÍFICO É PARCIMONIOSO

A teoria de gravitação de Newton, juntamente com suas três leis de movimento, conseguiu explicar todos os fenômenos antes relacionados com as leis de Kepler e a mecânica de Galileu. De fato, a mecânica de Newton explicou outros fenômenos não explicados antes. Este poder de explicar um número maior de fenômenos com um menor número de princípios constitui-se num ideal da ciência.

6. O CONHECIMENTO CIENTÍFICO TEM UM CARÁTER PROVISÓRIO

Tomando como exemplo as tentativas de explicar os movimentos dos astros, pode-se dizer que os modelos e teorias construídos vêm se alterando há 2400 anos, sendo que as últimas mudanças ocorreram há menos de 100 anos com Einstein e sua Teoria da Relatividade Geral.

7. O CARÁTER SOCIAL DA CIÊNCIA

Um exemplo interessante é o de Galileu e a Igreja. Outro exemplo mais sofisticado seria comparar a escola francesa (mais afeita à construção de teorias puramente matemáticas) e a escola inglesa (mais empírica e dada à construção de modelos mecânicos) no estudo dos fenômenos elétricos no século XIX.

8. A CIÊNCIA TEM UM COMPONENTE SUBJETIVO (IMPREGNADO DE TEORIA)

Mais uma vez, Kepler é um bom exemplo. Apesar de se dobrar à evidência das observações de Tycho Brahe que apontavam para a elipse, Kepler relutou muito em abandonar as esferas e os sólidos regulares de Platão, tão caros à sua imagem de

Universo. Outro exemplo é o de Einstein, segundo a visão de Pierre Thuillier em seu livro: *De Arquimedes a Einstein: a face oculta da investigação científica*.⁶⁷

9. A CRIATIVIDADE É UMA CARACTERÍSTICA ESSENCIAL DA CIÊNCIA

Mesmo conhecendo as órbitas elípticas de Kepler e o método de Hooke para analisar o movimento orbital (método que por si só já exigiu o uso de criatividade) a teoria de Gravitação de Newton não pode ser simplesmente inferida destes dados. Sem o uso da imaginação e da criatividade, jamais surgiriam teorias.

10. CIÊNCIA E TECNOLOGIA NÃO SÃO A MESMA COISA, MAS IMPACTAM UMA SOBRE A OUTRA

A ciência é uma busca de descrição e explicação do mundo a nossa volta, nem sempre seus conhecimentos são transformados em aparatos úteis para a realização de alguma tarefa. Já a tecnologia se constitui na construção de tais instrumentos que facilitam ou tornam possíveis certas tarefas, mesmo que a compreensão de seu funcionamento não seja conhecida desde o princípio. Quando Galileu aperfeiçoou a luneta dos holandeses, não tinha ainda uma explicação para o seu funcionamento. Mesmo assim fez avanços observações que tiveram grande impacto para o avanço da ciência.

⁶⁷ Thuillier, Pierre — *De Arquimedes à Einstein: a face oculta da invenção científica*. Rio de Janeiro, Jorge Zahar Editor, 1994.

1.4. ENSINO DE FÍSICA, HISTÓRIA DA CIÊNCIA E 'NATUREZA DA CIÊNCIA'

Se a história fosse vista como um repositório para algo mais do que anedotas ou cronologias, poderia produzir uma transformação decisiva na imagem da ciência que atualmente nos domina.

Thomas Kuhn

Diversos documentos de orientação curricular, artigos em revistas especializadas e pronunciamentos em congressos refletem a compreensão, cada vez maior, de que a história da ciência tem um papel importante no ensino de ciências. Isso acontece em diversos países, inclusive no Brasil. O parágrafo abaixo é parte integrante do texto dos PCN's.

A Física percebida enquanto construção histórica, como atividade social humana, emerge da cultura e leva à compreensão de que modelos explicativos não são únicos nem finais, tendo se sucedido ao longo dos tempos, como o modelo geocêntrico, substituído pelo heliocêntrico, a teoria do calórico pelo conceito de calor como energia, ou a sucessão dos vários modelos explicativos para a luz. O surgimento de teorias físicas mantém uma relação complexa com o contexto social em que ocorreram. [Brasil 1999]

Este texto foi publicado há mais de dez anos, contudo a abordagem proposta encontra-se ainda distanciada da maioria das salas de aula.

Matthews (1994, p.50) reuniu uma série de argumentos a favor da inclusão da História da Ciência no ensino de ciências. Dentre eles, pode-se destacar que a História da Ciência: 1) promove melhor compreensão de conceitos e métodos científicos; 2) é intrinsecamente valiosa, de modo que episódios importantes como a Revolução Científica, o darwinismo, a descoberta da penicilina e assim por diante - devem ser familiares a todo estudante; 3) é necessária para compreender a natureza da ciência; 4) neutraliza o cientificismo e o dogmatismo que são encontrados frequentemente em manuais de ensino de ciências e nas aulas; 5) pelo exame da vida e da época dos pesquisadores individuais, humaniza a matéria científica, tornando-a menos abstrata e mais interessante aos alunos.

Já se pode perceber, pelas razões acima, que idéias fundamentais da NdC podem ser trabalhadas tendo a História da Ciência como veículo significativo, isto é, a NdC é melhor compreendida quando encontra suporte em episódios científicos reais. A História da Ciência é uma fonte riquíssima de tais episódios, mas eles precisam ser reconstruídos a partir de uma perspectiva filosófica. Não basta apresentar passagens da

história da ciência e esperar que os alunos infiram daí os elementos da NdC, é preciso que os fatos selecionados e a abordagem do texto histórico sejam explícitos quanto aos elementos da NdC que se deseje trabalhar.

Considera-se difícil, hoje, trabalhar todo o conteúdo de física a partir da história, como o famoso Projeto Harvard fez no século passado. A tendência atual, observada nos livros didáticos é fazer algumas inserções histórico-filosóficas, prévia e cuidadosamente preparadas e planejadas com este fim.

É necessária muita cautela com as fontes de consulta de casos históricos [Martins 2001]. Frequentemente os livros didáticos têm apresentado uma história deturpada da ciência, o que acaba resultando na promoção de mitos a respeito desta, ao invés da imagem informada que se deseja. Algumas fontes históricas são fornecidas nas referências deste trabalho.

Como reforço ao que foi dito acima e para reflexão do professor, segue uma passagem do texto 'Física é cultura' de João Zanetic (1989).

A filosofia das ciências naturais, que tem passado por um estimulante debate nas últimas décadas, está suficientemente madura para já constituir um efetivo ingrediente educacional das ciências, sobre as quais desenvolve o seu discurso, e a física, nesse contexto é particularmente privilegiada, pois, além de servir como objeto de estudo preferencial desses filósofos, é a mais adequada a muitas das teorizações devido à sua própria história, tão rica em mutações fundamentais. [Zanetic 1989]

1.5. A GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

A Teoria da Gravitação Universal está no cerne daquilo que se convencionou chamar de Revolução Científica e sua história está diretamente ligada ao surgimento da ciência como a compreendemos hoje. Apesar disto, ela tem recebido pouca atenção nos cursos de Física. Seu tratamento geralmente se restringe à apresentação das três Leis de Kepler e da Lei de Newton de Gravitação Universal, ficando sua discussão reduzida à solução de alguns problemas numéricos.

Contudo, além de sua importância dentro do âmbito da Física, a história que conduz à formulação da Teoria de Gravitação Universal, sua validação e subsequentes aplicações, representam um material riquíssimo para evidenciar aspectos importantes da atividade científica, aquilo que temos chamado NdC.

Os textos históricos que se seguem são reconstruções dessa trajetória, escritos com o intuito de explicitar e promover a discussão de elementos da NdC na escola. Eles não pretendem substituir o livro texto adotado pelo professor para seu curso, mas sim fornecer elementos, geralmente ausentes destes livros, que permitam explicitar elementos da NdC. Assim, estes textos se oferecem como material complementar, que pode ser usado na íntegra, ou adaptado de acordo com a conveniência do professor. Apesar de conter elementos da física, lembramos que o objetivo dos textos é oferecer subsídios para uma discussão em torno de elementos da NdC e não oferecer uma apresentação sistemática da física.

No item 1.3 acima, já foram feitas algumas ligações entre passagens da história que culminou com a teoria de gravitação universal e aspectos da natureza da ciência. Nos textos que se seguem procuramos estabelecer outras e sugerir perguntas e projetos que possam ser utilizados pelo professor, com seus alunos, para destacar e aprofundar algumas dessas ligações.

Nos textos a seguir, os elementos de NdC que integram a lista do item 1.3 são identificados por números, correspondentes a sua posição naquela lista. Além de serem elencados no início de cada texto, os números correspondentes a eles surgem em pequenas caixas ao lado das partes do texto em que eles são explicitados. É claro que eles podem surgir em outras partes dos textos e mesmo outros elementos de NdC poderiam ser trabalhados. Procurá-los é um exercício que deixamos para os professores

e alunos interessados. O que se segue é apenas um exemplo de como a NdC e a Física podem ser entrelaçadas num programa mais útil e estimulante para os nossos alunos.

TEXTO 1

Um novo olhar para o céu: o surgimento da ciência

- A CIÊNCIA COMO BUSCA DE EXPLICAÇÕES (4)
- O CARÁTER SOCIAL DA CIÊNCIA (7)

Você certamente já contemplou o céu. Para apreciar a beleza de uma lua cheia, para procurar o Cruzeiro do Sul, as Três Marias, esperar por uma estrela cadente, para ver um cometa passar, ou para admirar um eclipse. Por uma razão ou por outra, todos nós já contemplamos o céu.

Num passado distante, quando não havia computador, televisão, Internet, iPhone, Blackberry ou iPad, o homem olhava muito mais para o céu. Também não havia poluição e nem as luzes da cidade (nem mesmo cidades). Assim, os astros apareciam mais brilhantes e podia-se ver uma quantidade maior deles. Mas, apesar de todo o encanto, havia outros motivos para que o homem se interessasse pelo céu e os movimentos que nele ocorrem.

Há mais ou menos 10.000 anos o homem aprendeu a plantar. Isto foi tão importante que recebeu o nome de Revolução Agrícola. Graças a ela o homem pode parar de correr o mundo atrás de alimento e fixar-se numa região. Contudo, plantar não é apenas uma questão de colocar a semente na terra e jogar água de vez em quando, *há tempo de plantar e tempo de colher*. Era imprescindível marcar a passagem do tempo. Mas como fazê-lo? Lembre-se: estamos falando da pré-história.

De tanto observar o céu o homem percebeu que os astros realizam movimentos periódicos, isto é, que se repetem de tempos em tempos. Esta regularidade permitiu que os povos do passado construíssem calendários. O movimento do Sol deu origem ao conceito de dia e noite, provavelmente nossa primeira unidade de tempo. As fases da lua deram origem ao mês. Uma observação mais atenta do Sol mostrou que ele parece mover-se contra o fundo das estrelas e esse movimento deu origem ao ano. Por sua vez, as estrelas formam uma configuração fixa e diferentes partes dessa configuração são visíveis em diferentes épocas do ano. Ao longo de uma noite, toda a configuração gira em torno de um ponto próximo à Estrela do Norte (para quem está no hemisfério Norte). A fotografia abaixo, figura 1, de longa exposição, mostra esse movimento.



Movimento aparente do Sol ao longo do ano.



Figura 1 – Trilha das estrelas – 8 horas de exposição.

<http://photo.net/nature-photography-forum/00DF8w> acessado em 20/03/2011

Na figura 2 são mostrados cinco corpos celestes, com o tamanho aparente das estrelas, que se movem entre elas realizando trajetórias complexas. São os planetas (palavra que significa astros errantes) visíveis a olho nu – Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno. Muitos povos antigos como os Maias e os Incas nas Américas e os Chineses realizaram esforços para construir observatórios a partir dos quais pudessem medir as posições do Sol, da Lua e dos planetas. Os Babilônios, os Egípcios e os Chineses fizeram extensos registros das posições dos corpos celestes, que ainda hoje são úteis aos astrônomos. Portanto, essas observações e registros feitos ao longo de milhares de anos forneceram à Astronomia um acúmulo de dados maior do que o de qualquer outra ciência.



Figura 2 – Trajetórias dos planetas vistas da Terra.
<http://astro.if.ufrgs.br/p1/node1.htm> acessado em 27/03/2011.

Apesar disso tudo, nenhum desses povos praticou a astronomia, isto é, nenhum deles fez ciência. Isto porque eles estavam interessados apenas em fazer previsões. Eles acreditavam que os acontecimentos na Terra estavam relacionados com as posições dos astros e, portanto, determinar essas posições com precisão lhes permitiria adivinhar os acontecimentos futuros. Os Babilônios eram exímios em fazer extrapolações a partir de seus dados para prever as posições dos astros. Já os Chineses estavam interessados nas irregularidades, supondo-as sinais dos céus. Quando perceberam que havia regularidade nos eclipses, desinteressaram-se deles. De um modo geral, a astronomia dos povos antigos era povoada de mitos.

Os Gregos estabeleceram uma relação diferente de todos os outros povos do passado com as observações do céu. Interessava-lhes a ordem por trás dos movimentos observados. Contudo, não pararam aí, tentaram *explicar* esses movimentos. Por exemplo, imaginaram a Terra parada no centro do Universo, com todos os outros astros girando ao redor dela presos em esferas concêntricas. Isto é, construíram *modelos* a partir dos quais tentavam explicar todos os movimentos observados no céu. Esta tentativa de construir modelos, de fornecer explicações e fazer generalizações que estejam de acordo com dados de observação está no cerne daquilo que entendemos hoje por ciência.

Os textos seguintes têm o objetivo de apresentar algumas idéias acerca de nossa compreensão do Universo, desde os modelos dos Gregos até a obra de Newton. A intenção é utilizar o desenvolvimento histórico das idéias que levaram à Teoria de Newton da Gravitação Universal para explicitar características da ciência. Pode-se mesmo dizer que o fruto mais importante desse esforço de compreensão do comportamento do Universo não foi a teoria particular, mas sim a forma de desenvolver

esse conhecimento. Com a síntese Newtoniana a ciência, nascida na Grécia, atinge a maturidade.

ATIVIDADES

Questões

- 1) Quais foram as motivações para que o homem antigo observasse e registrasse tão atentamente os movimentos dos corpos celestes?
- 2) De que forma os povos pré-históricos marcam a passagem do tempo?
- 3) O que possibilitou a construção de calendários?
- 4) O texto afirma que: *nenhum desses povos praticou a astronomia, isto é, nenhum deles fez ciência*. Então comente porque esses povos faziam observações?
- 5) Em que difere a postura dos Gregos diante dos movimentos celestes da de outros povos do passado?

Projetos extra classe

- 1) Solicitar que os alunos procurem referências sobre os instrumentos utilizados na pré história e montem um painel para discussão.
- 2) Solicitar que os alunos pesquisem sobre as formas de registro das observações no período a que o texto se refere.
- 3) Solicitar que seus alunos abram o site abaixo para observar uma simulação sobre gravitação Universal: <http://phet.colorado.edu/en/simulation/gravity-and-orbits>.

TEXTO 2 – A Terra se move? O céu dos Gregos

- A CIÊNCIA DEPENDE DE EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS (1)
- A DISTINÇÃO ENTRE OBSERVAÇÃO E INFERÊNCIA (2)
- A CIÊNCIA COMO BUSCA DE EXPLICAÇÃO (4)
- O CONHECIMENTO CIENTÍFICO TEM UM CARÁTER PROVISÓRIO (6)
- A CIÊNCIA TEM UM COMPONENTE SUBJETIVO (OBSERVAÇÕES SÃO IMPREGNADAS DE TEORIA) (8)
- A CRIATIVIDADE É UMA CARACTERÍSTICA ESSENCIAL DA CIÊNCIA (9)
- CIÊNCIA E TECNOLOGIA NÃO SÃO A MESMA COISA, MAS IMPACTAM UMA SOBRE A OUTRA (10)

Muitos povos utilizaram a matemática para descrever e mesmo prever movimentos celestes, contudo, apenas os Gregos a utilizaram em busca das causas desses movimentos. Ao criar modelos do Universo, os Gregos mantinham um compromisso com as observações, porém, baseavam-se também em suas *visões de mundo*.

8

Sistemas antigos em que a Terra está em Movimento

Pitágoras de Samos (Grécia, 570-495 a.C.) foi o primeiro a defender a idéia de que a verdadeira natureza do mundo é baseada em *relações matemáticas*. Assim, ele e seus discípulos construíram modelos geométricos do Universo utilizando uma série de esferas concêntricas de acordo com a figura 3 abaixo. A Terra, a Lua, o Sol e cinco planetas giravam em torno do fogo central. Este não era visto da Terra graças à Esfera de Oposição, sempre se movendo entre ambos. Segundo este modelo a Terra também rotaciona em torno de seu eixo.

9

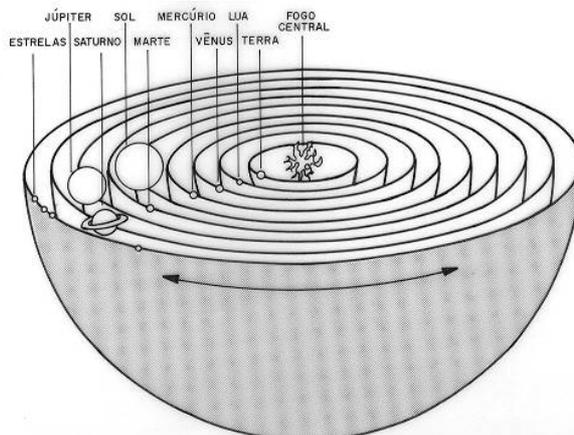


Figura 3 – Modelo de Universo da escola Pitagórica

<http://www.oba.org.br/cursos/astronomia/fundamentoshistastro.htm> - acessado em 29/03/2011

Aristarco de Samos (Grécia, 310 e 230 a.C.) propôs um sistema em que a Terra gira em torno de si (o que explicaria o dia e a noite) e, assim como os outros planetas, gira em torno do Sol (explicando o movimento aparente do Sol e dos planetas). Nesta época já se conhecia o tamanho da Terra, e a discussão era se o Sol e a Lua seriam menores, do mesmo tamanho ou maiores do que a Terra. Aristarco determinou as distâncias da Terra à Lua e da Terra ao Sol, concluindo que a Lua era menor do que a Terra, mas que o Sol era muito maior. Por isso, imaginou que o Sol era mais importante

1

e não poderia girar em torno da Terra. Este argumento não convenceu seus contemporâneos que preferiram modelos com a Terra imóvel. Algumas pessoas podem se surpreender com isso, imaginando Aristarco como um gênio e visionário incompreendido e seus contemporâneos como sendo menos inteligentes ou incompetentes. Todavia, ele não foi capaz de responder satisfatoriamente às críticas dirigidas ao seu modelo como, por exemplo, a falta de evidência de que a Terra se move e a ausência de paralaxe estelar (alteração na posição aparente de uma estrela em função do movimento do observador) na observação das estrelas.

2

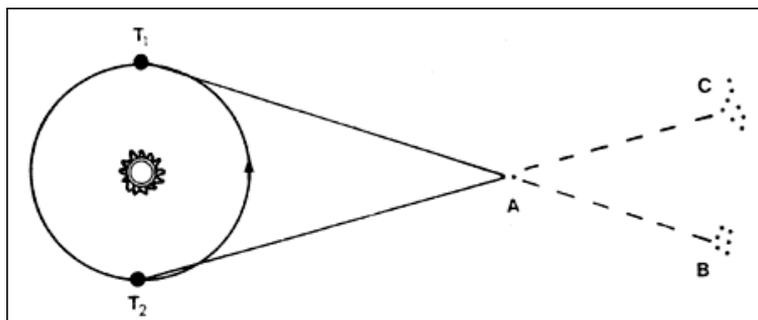


Figura 4 – Paralaxe estelar. Para os defensores da Terra parada, o movimento da Terra deveria fazer com que a estrela corpo A fosse vista entre o grupo de estrelas B e, algum tempo depois, entre o grupo de estrelas C. Isto realmente acontece, mas o fenômeno é muito pequeno para ser observado a olho nu.

10

Sistemas antigos em que a Terra está em Repouso

A importância dada à matemática por Pitágoras foi incorporada por Platão (Grécia, 428-348 a.C.) em sua filosofia. Assim, no século IV a.C., Platão propôs um problema que teve grande influência nos modelos de Universo construídos depois: “Quais são os movimentos uniformes e ordenados cuja existência é preciso supor para explicar os movimentos aparentes dos planetas?”

Platão acreditava que o céu e os corpos celestes eram perfeitos, portanto, seus movimentos também deveriam sê-lo. Para ele as formas perfeitas eram o círculo e a esfera de modo que os movimentos dos astros deveriam ser circulares e uniformes, sempre iguais a si mesmos. Entretanto, seu discípulo Eudoxo (Grécia, 390-338 a.C.) percebeu que, com apenas uma esfera para cada corpo celeste, não seria possível explicar todos os movimentos observados, por exemplo, os planetas realizam movimentos retrógrados em intervalos de tempo que variam de um planeta para outro (figura 5). Então, ele propôs um modelo com várias esferas concêntricas, três para o Sol, três para a Lua e quatro para cada planeta. Deste modo ele conseguiu explicar todos os movimentos aparentes dos astros.

8



Figura 5 – Movimento retrógrado de Marte: seu movimento é observado no céu em relação às estrelas fixas. Note que ele parece 'retornar' no céu, ou fazer um loop.

Não há evidências de que Eudoxo tenha pensado suas esferas como objetos físicos reais, elas seriam apenas um artifício matemático. Porém, Aristóteles (Macedônia, 384-322 a.C.) interpretou-as como esferas cristalinas, materiais, acrescentando outras, num total de 55 esferas, todas movidas pela mais externa.

As idéias de Aristóteles tiveram grande influência no desenvolvimento do pensamento ocidental e da própria ciência. Por isso, vamos apresentar alguns elementos de sua Física, que têm relação com o desenvolvimento da Astronomia e da Gravitação Universal.

O Universo é dividido em dois mundos: (1) o sublunar, onde está a Terra e (2) o Céu, onde estão a Lua, o Sol, os planetas e as estrelas.

No mundo sublunar tudo é constituído dos quatro elementos: terra, água, ar e fogo. Cada elemento possui seu lugar natural, o do elemento terra é no centro do Universo, da água é sobre a terra, do ar é sobre as águas e do fogo é próximo da esfera da Lua. O estado natural dos corpos é o repouso no lugar natural de seu elemento predominante. Assim, como a Terra é constituída prioritariamente do elemento terra, ela está no centro do Universo. Os corpos se movem em linha reta para o seu lugar natural, sem que haja a necessidade de que *algo* atue sobre eles. Este é o ‘movimento natural’. Para qualquer outro tipo de movimento que não seja o de cair para o centro da Terra ou subir se afastando dele, é necessário que haja um movente, isto é, algo externo que atue sobre ele. Este é o ‘movimento violento’.

No Céu, todos os corpos são feitos de um quinto elemento, puro, incorruptível, chamado éter. Todos os corpos são perfeitamente esféricos e o movimento natural é o circular uniforme em torno do centro do Universo. Tanto a matéria quanto as regras destes dois mundos (sublunar e Céu) são totalmente distintas e independentes.

É importante notar que na Física aristotélica (sua explicação dos fenômenos do mundo sublunar) para que um corpo se mova é necessário algo para movê-lo. Somente com uma Física inercial (completada como trabalho de Newton, quase dois mil anos depois) os proponentes de uma Terra em movimento puderam contestar as críticas de seus opositores.

Outro ponto importante é notar que o que Aristóteles chama de gravidade não é uma força como na Teoria Newtoniana, mas simplesmente a propriedade dos graves (corpos pesados) de buscarem seu lugar natural.

O Sistema Geocêntrico de Ptolomeu

Claudio Ptolomeu (Grécia, 90-168 d.C.) foi um importante astrônomo que viveu e trabalhou na cidade de Alexandria, no Egito. Ele propôs um modelo geocêntrico (e geostacionário) através do qual as posições dos planetas podiam ser preditas com grande precisão. Durante séculos seu modelo permaneceu como a explicação do universo.

Seu modelo consistiu numa tentativa de acomodar os movimentos aparentes dos planetas, que não são nem circulares e nem uniformes, em movimentos circulares e uniformes. Confuso? O esquema abaixo (figura 6) ajuda a compreender o que ele fez. Para ajustar os complexos movimentos aparentes dos planetas (mudança de distância, mudança de velocidade, retrogradação) com a idéia de movimentos circulares e uniformes, Ptolomeu criou o seguinte modelo:

- 1) O planeta gira com movimento circular uniforme num epiciclo;
- 2) O centro do epiciclo (ponto C) gira sobre o deferente com movimento uniforme em relação a um ponto Q (equante).

3) O ponto Q e a Terra estão igualmente distantes do centro do deferente (ponto A) e estão em oposição.

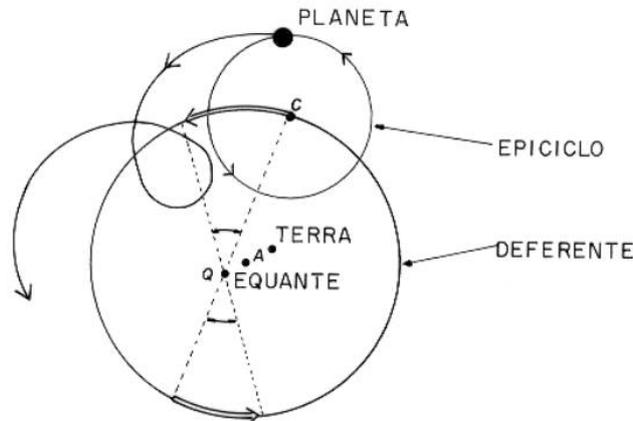


Figura 6 – Sistema de Ptolomeu com epiciclo, deferente e equante, para um planeta.

Ptolomeu foi capaz de ajustar os períodos de revolução dos planetas nos epiciclos e dos centros dos epiciclos nos deferentes de modo a que eles reproduzissem os movimentos observados. A figura 7 mostra uma visão mais ampla do sistema de Ptolomeu. Como Mercúrio e Vênus nunca são observados distantes do Sol, Ptolomeu colocou o centro de seus epiciclos numa linha ligando a Terra ao Sol. O sistema de Ptolomeu permitiu a previsão de posições planetárias com precisão de aproximadamente 1° e prevaleceu como sistema astronômico por 1400 anos.

- 1
- 2
- 6

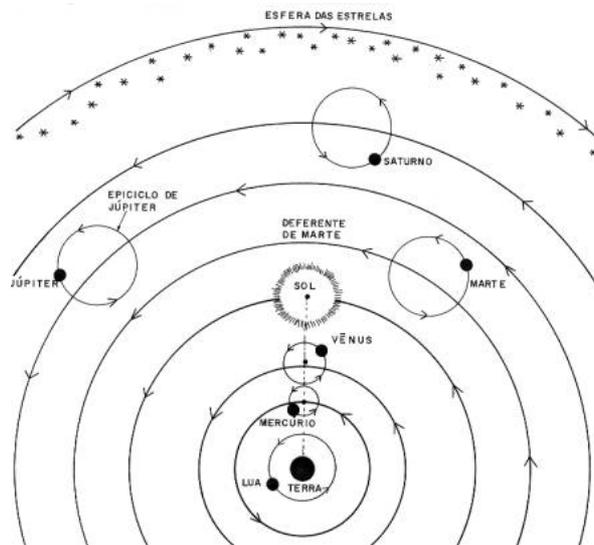


Figura 7 – O Sistema Geocêntrico e Geoestacionário de Ptolomeu.

Questões

- 1) Pitágoras de Samos (Grécia, 570-495 a.C.) foi o primeiro a defender a idéia de que a verdadeira natureza do mundo é baseada em *relações matemáticas*. Qual a idéia de Pitágoras sobre a natureza do mundo?

- 2) Qual foi a proposta de Platão que influenciou os modelos de universo construídos depois?
- 3) Como era constituída a matéria no universo de Aristóteles?
- 4) Como explicava Aristarco o fato de haver dia e noite na Terra?
- 5) O que é o conceito de gravidade para Aristóteles?
- 6) Era possível prever as posições planárias com o modelo de Ptolomeu?
- 7) Com que precisão Ptolomeu conseguiu fazer suas medidas?

Projetos

- 1) Fazer uma maquete do modelo ptolomaico.
- 2) COMO SABEMOS? Os alunos podem fazer um projeto (levantamento bibliográfico na Internet) sobre os métodos utilizados para determinar o tamanho da Terra ao longo do tempo.
- 3) SAIBA MAIS. Pedir aos alunos para procurar informação sobre o papel de Alexandria como centro de conhecimento das artes e da ciência.
- 4) Propor uma pesquisa: Quais teriam sido as condições sociais, políticas e culturais que favoreceram o surgimento da ciência na Grécia?

TEXTO 3 – A obra de Copérnico: deslocando a Terra do centro do Universo.

- A CIÊNCIA DEPENDE DE EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS (1)
- O CONHECIMENTO CIENTÍFICO É PARCIMONIOSO (5)
- O CONHECIMENTO CIENTÍFICO TEM UM CARÁTER PROVISÓRIO (6)
- CARÁTER SOCIAL DA CIÊNCIA (7)
- A CIÊNCIA TEM UM COMPONENTE SUBJETIVO (OBSERVAÇÕES SÃO IMPREGNADAS DE TEORIA) (8)

O MODELO DE COPÉRNICO

A visão dominante sobre o Universo, na Europa medieval, era a de que a Terra encontra-se imóvel no centro e todos os outros corpos celestes giram em torno dela. Os fenômenos terrestres e celestes eram entendidos e explicados segundo a Física de Aristóteles e o Sistema de Ptolomeu.

No modelo proposto pelo monge católico polonês Nicolau Copérnico (1473-1543) o Sol encontra-se imóvel no centro enquanto a Terra e os demais planetas giram em torno dele. Copérnico não inventou o sistema heliocêntrico, mas deu a ele um tratamento matemático tão metódico e rigoroso quanto Ptolomeu ao sistema geocêntrico. Considera-se hoje que esse trabalho de Copérnico iniciou uma revolução na ciência. O livro em que Copérnico publicou essas idéias “Sobre as Revoluções dos Orbes Celestes” (*De Revolutionibus Orbium Coelestium*), publicado em 1543, passou a integrar a lista de livros proibidos pela Igreja em 1616.

A ironia está no fato de que Copérnico era, sob vários aspectos, um conservador mais do que um revolucionário. Católico e aristotélico percebeu que o sistema ptolomaico não estava em estrito acordo com o universo esférico de Aristóteles e tentou restaurá-lo. A figura 8 é a expressão artística do modelo copernicano.

7

8

CRÍTICAS AO SISTEMA DE COPÉRNICO

Argumentos mecânicos:

1) O argumento da torre. Se a Terra gira sobre o seu eixo, qualquer ponto de sua superfície irá deslocar-se em um segundo. Portanto, uma pedra abandonada do alto de uma torre cairia em direção ao centro da Terra enquanto a torre se move acompanhando o movimento da Terra. Deste modo, a pedra teria que cair distante do pé da torre, o que, de fato, não acontece.

2) Se a Terra gira, por que objetos soltos sobre a sua superfície não são lançados longe, como uma pedra sobre um disco em rotação? Se ela move-se em torno do Sol, por que não deixa a Lua para trás?



Figura 8 – Sistema heliocêntrico copernicano.

Argumentos astronômicos:

1) Ausência de paralaxe estelar. Esta crítica já havia sido dirigida ao sistema de Aristarco. Uma possível resposta para isto é que as estrelas estão a uma distância muito maior do que se supunha, pelo menos mil vezes mais longe da Terra do que o raio da órbita terrestre.

2) De acordo com o modelo de Copérnico os tamanhos aparentes dos planetas deveriam mudar com o tempo, uma vez que a distância entre a Terra e eles varia. Contudo, as observações feitas na época de Copérnico, a olho nu, de Marte e Vênus, não reproduziam as variações esperadas. Somente cem anos mais tarde, com o telescópio, puderam-se constatar essas mudanças em seus tamanhos aparentes.

10

VANTAGENS DO SISTEMA COPERNICANO

A maior vantagem do sistema copernicano é a simplicidade conceitual. Por exemplo, o movimento de retrogradação dos planetas, que no modelo geocêntrico exigia epiciclos e deferentes, passa a ser entendido como uma consequência natural do movimento da Terra. Deste modo, o movimento real dos planetas aconteceria num único sentido, nós é que o veríamos retrogradar por estarmos num referencial em movimento, como mostra a figura 9.

5

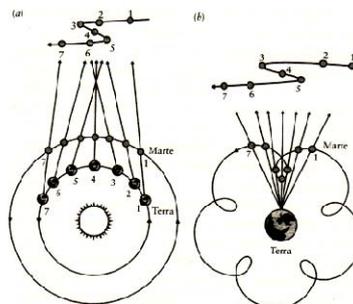


Figura 9 – Retrogradação de Marte: (a) no modelo heliocêntrico; (b) no modelo geocêntrico.

O fato de Mercúrio e Vênus serem vistos sempre próximos do Sol também tem uma explicação mais natural no sistema heliocêntrico. Isto é decorrência de suas órbitas serem internas à da Terra, isto é eles estão entre a Terra e o Sol. Ptolomeu precisou impor que os centros dos epiciclos de Mercúrio e Vênus estivessem sempre na linha que liga a Terra ao Sol para acomodar seu modelo com os dados da observação.

Outra vantagem do sistema de Copérnico é possibilitar, pela primeira vez, uma determinação das distâncias no sistema solar relativas ao raio de órbita da Terra. Tomando o raio da Terra como unidade (U.A. = unidade astronômica) temos na tabela

abaixo uma comparação entre os valores encontrados por Copérnico e os valores aceitos hoje.

Tabela 1. Comparação dos raios médios das órbitas dos planetas conhecidos medidos por Copérnico com dados atuais.

Planeta	Raio Médio da órbita em U.A. ($R_T = 1U.A.$)	
	Copérnico	Atual
Mercúrio	0,3763	0,3871
Vênus	0,7193	0,7233
Marte	1,5198	1,5237
Júpiter	5,2192	5,2028
Saturno	9,1743	9,5388

É comum dizer-se que o sistema copernicano é muito mais simples do que o ptolomaico. Qualitativamente, isto é verdade. O movimento de retrogradação dos planetas (a figura 9 compara este movimento nos dois modelos) e a proximidade de Mercúrio e Vênus do Sol ganham explicações mais simples e naturais no modelo copernicano. Porém, para fazer previsões precisas das posições dos planetas, Copérnico teve que introduzir 34 epiciclos em seu modelo. Ainda assim, suas previsões não eram melhores do que as de Ptolomeu. Como podemos observar, a simplicidade do modelo copernicano é apenas conceitual, no que diz respeito aos cálculos ele é tão complexo quanto o ptolomaico e apenas tão preciso quanto.

Copérnico não pode responder satisfatoriamente a todas as críticas dirigidas ao seu modelo, pois isto exigiria uma nova Física e ele estava, de certo modo, comprometido com a Física de Aristóteles. Sem os trabalhos de Kepler, Galileu e Newton estas críticas não poderiam ser totalmente afastadas. Contudo, a obra de Copérnico serviu como uma mola propulsora para avanços, tanto na astronomia (com Kepler) quanto no estudo do movimento (com Galileu). A ironia está em que provavelmente, Copérnico não iria gostar dos avanços em nenhuma dessas áreas.

6

ATIVIDADES

Questões

- 1) Como é compreendido o movimento de retrogradação dos planetas no modelo copernicano?
- 2) Qual seria o movimento real dos planetas visto por um observador que está num referencial em movimento?
- 3) Pode-se dizer que o sistema copernicano é mais simples do que o ptolomaico? Justifique.
- 4) Porque Copérnico não consegue refutar as criticas ao seu modelo?

Projetos

- 1) CIÊNCIA E CONTEXTO. Pesquisar o contexto social, cultural e político da época em que Copérnico desenvolveu sua Teoria.
- 2) A qualidade dos dados de Copérnico. Como ele obteve essas medidas?
- 3) Peça aos seus alunos uma visita a um Site que mostra a posição dos planetas em tempo real em uma animação em 3D:
http://odia.terra.com.br/porta/digital/html/2011/4/site_mostra_posicao_dos_planetas_e_m_3d_156608.html#

TEXTO 4 – Observação e Teoria: as contribuições de Brahe e Kepler

- A CIÊNCIA DEPENDE DE EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS (1)
- A DISTINÇÃO ENTRE OBSERVAÇÃO E INFERÊNCIA (2)
- O CONHECIMENTO CIENTÍFICO É PARCIMONIOSO (5)
- O CONHECIMENTO CIENTÍFICO TEM UM CARÁTER PROVISÓRIO (6)
- CARÁTER SOCIAL DA CIÊNCIA (7)
- A CRIATIVIDADE É UMA CARACTERÍSTICA ESSENCIAL DA CIÊNCIA (9)
- CIÊNCIA E TECNOLOGIA NÃO SÃO A MESMA COISA, MAS IMPACTAM UMA SOBRE A OUTRA (10)

TYCHO BRAHE (1546-1601)

A importância do dinamarquês Tycho Brahe para a história de nossa compreensão do Universo deve-se a sua tenacidade e cuidado na observação e registro das posições dos planetas. Ele dedicou sua vida a isso. Suas observações foram feitas a olho nu, mas com instrumentos de grandes proporções (figura 10). Isto era importante para melhorar a precisão de suas medidas o que também decorria de suas habilidades próprias. Deste modo, seus dados eram, pelo menos, duas vezes mais precisos do que os dados anteriores.

10



Figura 10 – Instrumentos utilizados por Tycho Brahe.

Copérnico havia proposto seu modelo com base nos mesmos dados utilizados por Ptolomeu. A obtenção de novos e melhores dados poderia levar à descoberta de fenômenos novos ou solucionar a disputa entre modelos rivais. Podia também levar à proposta de novos modelos. Foi o que fez Tycho Brahe. Ele propôs um modelo que era um híbrido dos modelos ptolomaico e copernicano, de acordo com a figura 11 abaixo. Nele, a Terra continua imóvel no centro do Universo com a Lua e o Sol girando ao seu redor. A diferença é que os planetas giram ao redor do Sol e não da Terra. Tycho rejeitou o modelo copernicano por não ter sido capaz de observar qualquer paralaxe estelar. A paralaxe a ser observada no caso da Terra se mover depende da distância dela às estrelas. Tycho considerou as estrelas muito mais próximas do que estão de fato, esperando ver uma paralaxe que, sabemos hoje, existe, mas não poderia ter sido observada com os instrumentos de Tycho a olho nu. Somente mais tarde, com a

2

invenção do telescópio, a pequena paralaxe estelar, devida ao movimento da Terra, pode ser detectada.

Apesar de não ter conseguido se libertar da imobilidade da Terra, e se manter, de algum modo preso à tradição, Tycho Brahe legou à posteridade e, particularmente, a seu assistente Kepler, dados sobre o sistema planetário com precisão suficiente para, em mãos habilidosas, promover o rompimento com uma tradição milenar – o círculo.

1

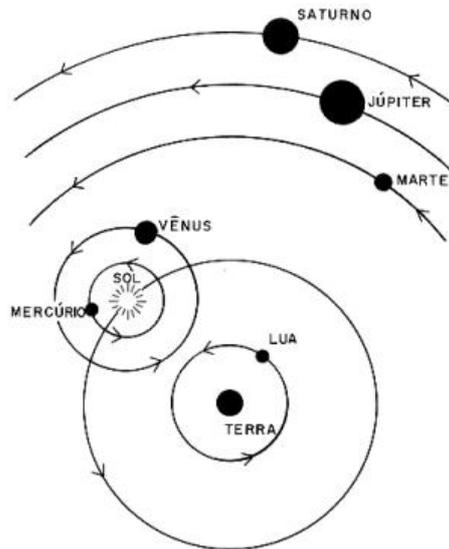


Figura 11 – Modelo planetário de Tycho Brahe, um híbrido de Ptolomeu e Copérnico.

JOHANNES KEPLER (1571-1630)

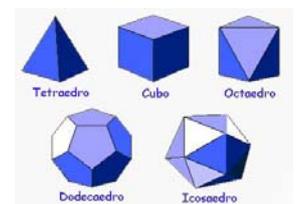
A simplicidade sempre foi uma meta da ciência. Aristóteles já dizia que *A natureza não faz, em vão, nada supérfluo*. E, no século XIV, Guilherme de Occam propôs um princípio de parcimônia que ficou conhecido como a navalha de Occam. Inicialmente, a proposta dos Gregos era simples. A Terra estaria imóvel no centro do Universo e todos os astros girariam em esferas concêntricas com ela. Porém, a necessidade de reproduzir os movimentos observados fez com que os modelos fossem se complicando. Surgiram os epiciclos, deferentes e o centro das órbitas foram deslocados da Terra. O trabalho realizado por Kepler sobre os dados de Tycho Brahe resgatou o ideal de simplicidade, mas isso teve um preço que o próprio Kepler relutou em pagar.

5

Johannes Kepler foi um astrônomo alemão que dedicou sua vida a encontrar a ordem por trás dos movimentos dos planetas. Ele pode ser contado entre os continuadores da tradição pitagórica e platônica que supunha o Universo construído a partir de um plano matemático e geométrico. Chegou mesmo a escrever: *A Geometria existiu antes da Criação. É co-eterna com a mente de Deus... A Geometria forneceu a Deus um modelo para a Criação... A Geometria é o próprio Deus*.

7

Kepler conheceu os modelos de Ptolomeu e Copérnico e tornou-se árduo defensor do heliocentrismo. Assim, para ele, havia seis planetas (a Terra seria um deles). Kepler se perguntava por que só havia seis planetas e por que as distâncias entre eles eram aquelas determinadas por Copérnico. Teve então a idéia de que a explicação deveria estar associada ao fato de só haver cinco poliedros regulares, também conhecidos como poliedros de Platão. Imaginou que entre as esferas de



cada par de planetas vizinhos deveria haver um sólido regular que ditaria a distância entre elas (figura 12). Comparou seus resultados com os valores calculados por Copérnico para os raios das órbitas planetárias, mas o acordo entre eles não era muito bom. Para resolver este problema Kepler entendeu que precisava de dados mais precisos. Por isso foi trabalhar com Tycho Brahe.

1

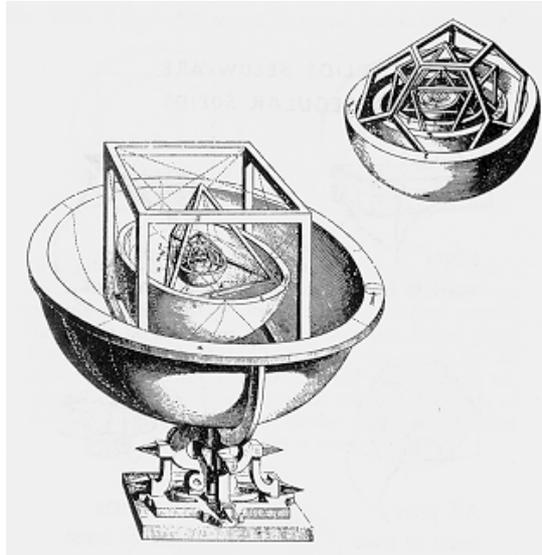


Figura 12 – Os poliedros de Platão e as órbitas dos planetas segundo Kepler.

A colaboração com Brahe não teve o efeito que Kepler desejava. Aquele, apenas a custo, fornecia algum dado sobre o movimento dos planetas, e eram sempre fragmentários. Contudo, após um ano, Brahe morre deixando para Kepler o maior e mais exato conjunto de dados acerca do movimento dos planetas reunido até então. De início, ele tentou acomodar os dados ao sistema de Brahe, como havia prometido, mas não obteve sucesso. Em seguida, passa a trabalhar com o modelo de Copérnico, mas encontra um desvio de 8 minutos de arco para a órbita de Marte. Esta diferença era pequena e compatível com os dados usados por Copérnico, mas Kepler sabia que as observações de Brahe, extremamente precisas, eram confiáveis dentro de 4 minutos de arco. Esses 8 minutos de arco deram origem ao rompimento com o conceito mais arraigado e permanente da história da astronomia: o círculo.

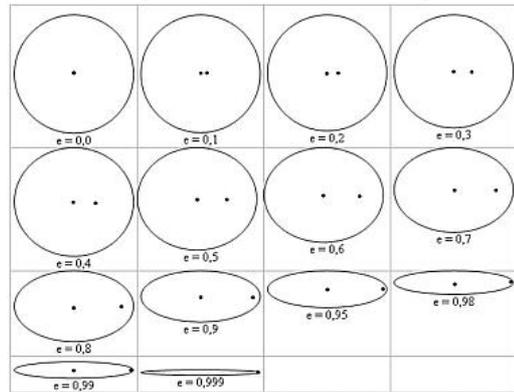
1

2

9

As Leis de Kepler

O círculo era considerado a forma perfeita e, portanto, a única digna dos movimentos no céu – o mundo perfeito. Copérnico, Tycho e até mesmo Galileu acreditavam em um movimento planetário circular e uniforme. Após exaustivas tentativas de acomodar as órbitas planetárias a movimentos circulares sem sucesso, Kepler resolve tentar formas ovais. Ele comete erros que se cancelam, chega à equação da elipse, mas a rejeita. Tenta outro caminho e, mais tarde, chega à elipse novamente conseguindo um acordo maravilhoso com os dados. Assim,



6

9

Kepler enuncia aquela que seria conhecida como sua primeira lei: *As órbitas descritas pelos planetas em torno do Sol são elipses com o Sol num dos focos.*

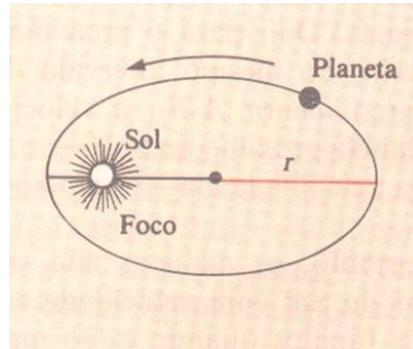


Figura 13 – Órbita elíptica de um planeta com o Sol num dos focos da elipse. A figura está exagerando a excentricidade da elipse, as órbitas são elipses muito próximas da circunferência.

Suas outras duas leis também estabelecem regularidades matemáticas para os movimentos planetários. A segunda estabelece que: “O raio vetor que liga um planeta ao Sol descreve áreas iguais em tempos iguais”. A terceira apresenta uma relação entre os períodos de revolução dos planetas em torno do Sol e os raios médios de suas órbitas (representados por r na figura 13): “Os quadrados dos períodos de revolução de dois planetas quaisquer estão entre si como os cubos de suas distâncias médias ao Sol.” A Tabela 1 mostra essa relação utilizando como unidade de distância o raio terrestre (1 U.A. = unidade astronômica) e como unidade de tempo o período da Terra (1 ano terrestre).

Tabela 1. Comparação dos valores calculados por Kepler com os atuais.

Planeta	Valores de Copérnico			Valores atuais		
	T (anos)	R (U.A.)	T^2/R^3	T (anos)	R (U.A.)	T^2/R^3
Mercúrio	0,241	0,38	1,06	0,241	0,387	1,00
Vênus	0,614	0,72	1,01	0,615	0,723	1,00
Marte	1,881	1,52	1,01	1,881	1,524	1,00
Júpiter	11,8	5,2	0,99	11,862	5,203	1,00
Saturno	29,5	9,2	1,12	29,457	9,539	1,00

O acordo é notável! Porém, Kepler interpretou de forma literal esta harmonia no movimento dos planetas, supondo mesmo que eles emitiriam notas musicais em seus movimentos pelo céu. A figura 14 mostra as melodias entoadas por cada planeta segundo Kepler em seu livro “Harmonias do Mundo”.

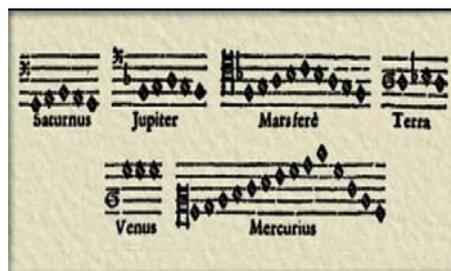


Figura 14 – Melodias dos planetas de acordo com Kepler (“Harmonices Mundi”).

Podem-se destacar três razões pelas quais o trabalho de Kepler foi importante. Primeiro, e o mais comumente divulgado, ele predisse corretamente a trajetória dos planetas em torno do Sol. Elas são elípticas. Este resultado será importante para o desenvolvimento futuro da Gravitação Universal por Newton. Segundo, ele foi capaz de abandonar suas pressuposições metafísicas (as órbitas circulares afastadas por sólidos regulares, idéia que ele muito estimava) em favor do acordo com os dados da observação. Ao mesmo tempo em que se alinhava com o pitagóricos do passado em sua relação mística com os números, Kepler dava um passo largo em direção ao futuro e à ciência moderna com sua insistência no acordo entre teoria e a evidência empírica. Terceiro, ele pensou os movimentos dos planetas em termos de causas físicas, isto é, além de descrever seus movimentos (cinemática), Kepler procurou a causa por trás daqueles movimentos.

1

4

Kepler realizou estudos com a luz que o levaram a descobrir que a intensidade luminosa cai com o quadrado da distância, isto é, se a uma distância d de uma fonte a intensidade luminosa é i , a uma distância $2d$ será $i/4$ e a uma distância $3d$ será $i/9$. Além disso, ele conhecia o trabalho de William Gilbert (*De Magnet*, 1600) em que a Terra é apresentada como um grande ímã. Com base nisso, ele imaginou que os planetas se moveriam sob a ação de uma força magnética com origem no Sol. Esta força não atuaria em todas as direções, mas apenas no plano de órbita dos planetas. Hoje sabemos que ele estava errado, mas a idéia essencial de que o movimento dos planetas é guiado por alguma causa física ligada ao Sol estava correta, até mesmo na relação com a distância, e foi importante para desenvolvimentos futuros.

6

8

9

ATIVIDADES

Questões

- 1) Comente a citação de Aristóteles sobre a simplicidade da ciência.
- 2) Como se explica que as observações de Tycho Brahe, feitas a olho nu, fossem tanto mais precisas que as anteriores?
- 3) Qual foi o problema de Tycho quando observou a paralaxe das estrelas?
- 4) O que de fato possibilitou observar a paralaxe estelar?
- 5) O que levou Kepler a procurar os dados de Tycho Brahe?
- 6) Por que podemos dizer que o trabalho de Kepler resgatou o ideal de simplicidade?
- 7) Qual era a forma considerada perfeita?
- 8) Como seria o movimento planetário para Copérnico e Tycho?
- 9) Qual era a natureza da força que Kepler imaginou existir para manter os planetas nas suas órbitas em torno do Sol?
- 10) Destaque as razões pelas quais o trabalho de Kepler foi tão importante para o desenvolvimento da ciência.

Projetos

1. Fazer um levantamento dos instrumentos utilizados por Tycho Brahe.
2. Construir uma elipse de forma concreta para verificar que o círculo é o limite da elipse quando os focos coincidem.
3. Peça aos seus alunos para debater a relação entre ciência e tecnologia com base no exemplo de Tycho Brahe e Kepler.

TEXTO 5 – Galileu: para uma Física da Terra em Movimento

- A CIÊNCIA DEPENDE DE EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS (1)
- DISTINÇÃO ENTRE OBSERVAÇÃO E INFERÊNCIA (2)
- A CIÊNCIA COMO BUSCA DE EXPLICAÇÃO (4)
- O CONHECIMENTO CIENTÍFICO É PROVISÓRIO (6)
- O CARÁTER SOCIAL DA CIÊNCIA (7)
- A CIÊNCIA TEM UM COMPONENTE SUBJETIVO (OBSERVAÇÕES SÃO IMPREGNADAS DE TEORIA) (8)
- CIÊNCIA E TECNOLOGIA NÃO SÃO A MESMA COISA, MAS IMPACTAM UMA SOBRE A OUTRA (10)

A maior contribuição para a defesa do sistema copernicano veio da obra do físico e matemático italiano Galileu Galilei (1564-1642). Podem-se classificar suas contribuições em dois grupos: astronômicas e mecânicas. Fazem parte do primeiro grupo suas observações com a luneta e do segundo, seus esforços por estabelecer uma física inercial.

É comum que se diga que Galileu provou que a Terra se move em torno do Sol, resolvendo definitivamente a disputa entre os sistemas geocêntrico e heliocêntrico. Porém, a história se mostra bem mais complexa que isso. Em primeiro lugar, é importante salientar que algum desacordo entre observação e teoria (nesse caso, modelos planetários) não costuma ser suficiente para que se abandone a teoria. Temos visto diversas tentativas de contornar isso. Em segundo lugar, apesar de oferecerem algum suporte para o sistema de Copérnico, as contribuições de Galileu foram mais eficientes em rebater as críticas ao heliocentrismo do que em prová-lo, o que não é, absolutamente, a mesma coisa. Vejamos, então, de que modo Galileu se insere no contexto da evolução dos modelos planetários para a construção de uma teoria de Gravitação Universal.

8

Contribuições astronômicas

Em 1609 Galileu aponta para o céu, pela primeira vez, um instrumento inventado na Holanda, e que ele aperfeiçoou – a luneta. Isto foi um marco na história da Astronomia. Há momentos na história da ciência em que determinados avanços tecnológicos tem um profundo impacto. É o caso em questão. A luneta permitiu a observação de aspectos do céu, dos astros e seus movimentos, impossíveis a olho nu. Ao apontar sua luneta para o céu, Galileu fez uma séria de observações incompatíveis com o sistema geocêntrico de Ptolomeu.

10

A lua era vista como um corpo celeste, portanto deveria ser perfeita como tudo no céu. Apontando sua luneta para ela, Galileu percebeu que sua superfície se parecia muito mais com a da imperfeita Terra do que com uma esfera lisa e polida como o pretendiam os aristotélicos. Na verdade, ela possuía montanhas e depressões (figura 15). Através de sua engenhosidade e habilidade matemática chegou mesmo a calcular a altura de algumas dessas montanhas da Lua.

1

2

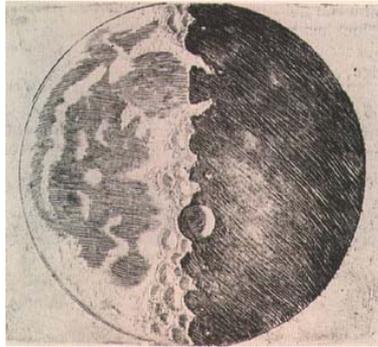


Figura 15 – Aquarela da Lua feita por Galileu ao observá-la como sua luneta.

Outra observação feita por Galileu, que colocava em dificuldades o modelo ptolomaico, mas se ajustava naturalmente ao copernicano, foi a de luas em Júpiter. A princípio, os pequenos corpos brilhantes observados perto de Júpiter poderiam ser considerados estrelas não vistas antes. Contudo, a observação continuada da Galileu mostrou que eles acompanhavam Júpiter mesmo em seu movimento retrógrado e que nunca se afastavam muito dele (figura 16). Com isso, concluiu que estariam ligados a ele. Galileu chegou a determinar seus períodos de revolução em torno de Júpiter. Logo, a idéia de que todos os corpos celestes têm que girar em torno da Terra não se ajusta a essa observação. Por outro lado, diminui a barreira que separa a Terra (com sua Lua) dos outros astros celestes, ajudando a entendê-la como mais um deles.

1

2

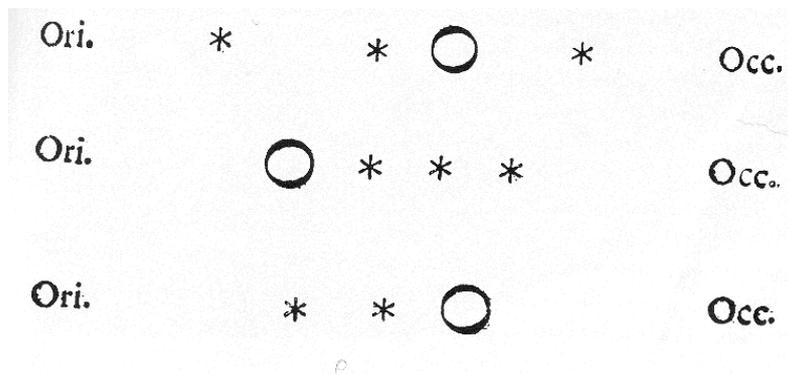


Figura 16 – Desenho das luas de Júpiter publicado por Galileu em seu livro O Mensageiro das Estrelas (*Sidereus Nuncius*).

Não se esgotam aí as observações de Galileu com a luneta, mas iremos considerar apenas mais uma. Observando Vênus através da luneta, Galileu percebeu que o planeta apresenta fases. A existência de fases é consequência das posições relativas do observador (no caso, da Terra), de Vênus (que não possui luz própria) e do Sol. A figura 17, a seguir, mostra que, de acordo com o sistema de Ptolomeu (à esquerda) não deveriam ser observadas fases em Vênus, ao passo que o sistema de Copérnico (à direita) as pressupõe.

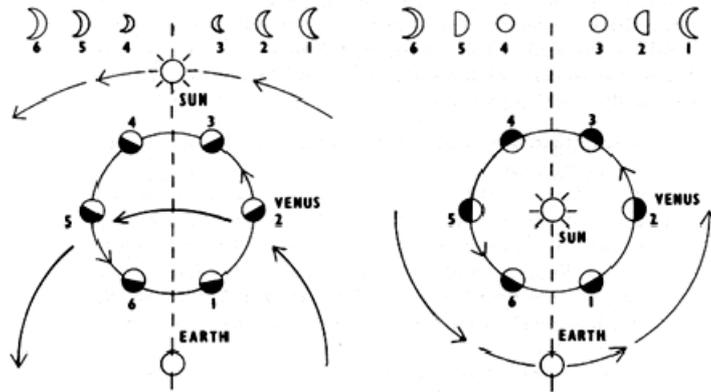


Figura 17 – Aparência de Vênus visto da Terra, segundo os modelos de Ptolomeu (à esquerda) e de Copérnico (à direita). Note que apenas de acordo com o segundo Vênus apresenta fase.

Diante dessas observações de Galileu pode parecer estranho que nem todos tenham se convencido imediatamente da superioridade do sistema copernicano sobre o ptolomaico. A explicação mais comumente encontrada para isso é que seus oponentes eram retrógrados, pouco inteligentes, ou defendiam interesses pessoais. Contudo, mais uma vez, a explicação não parece ser tão simples. Essa história contada da perspectiva de hoje, e que separa seus personagens em heróis bons e infalíveis e adversários maus e ignorantes dificilmente dará conta dos acontecimentos passados. Sem desconsiderar as questões políticas e sociais e o papel restritivo que a Igreja representava na época, outra classe de argumento pode ser alinhada para ajudar a compreender a não aceitação imediata das idéias de Galileu. Por exemplo, por que se deveriam preferir as observações com a luneta às feitas a olho nu? Uma explicação pormenorizada do funcionamento da luneta poderia responder a pergunta, contudo, Galileu não deu tal explicação. Kepler começou a estudar a luneta para fornecer uma teoria de seu funcionamento, mas tal teoria só foi completamente desenvolvida com a contribuição de outros, décadas depois. Outra solução seria mostrar que ela funciona para ampliar e aproximar objetos terrestres, logo, deve fazer o mesmo com o céu. Entretanto, a luneta introduz aberrações na imagem. Na observação de objetos terrestres e, portanto, conhecidos, sabemos descontar essas aberrações, mas, e no caso do céu? Não podemos ir lá, observar de perto, para saber como as coisas realmente são. De fato, nem todas as crateras que Galileu observou na Lua existem. Sabemos hoje que, em geral, as observações de Galileu estavam corretas e foram fundamentais para o desenvolvimento da ciência, porém temos que ser mais cuidadosos ao julgar o passado, quando o conhecimento era outro.

7

10

8

Contribuições mecânicas

Apesar do grande valor de suas contribuições astronômicas – Galileu não engendrou nenhum modelo, mas contribuiu muito para o estabelecimento do modelo de Copérnico – considera-se, hoje, que sua maior contribuição tenha sido o desenvolvimento de uma física do movimento – de uma mecânica. Um dos grandes problemas enfrentados pelos proponentes do heliocentrismo era como explicar certos fenômenos na Terra. A Física adotada na época era a Aristotélica e essa era incompatível com uma Terra em movimento. As críticas a uma Terra em movimento foram apresentadas no texto 3 sobre Copérnico. Portanto, quem quer que se lance em defesa do sistema heliocêntrico deveria explicar como uma esfera abandonada do alto

4

6

de uma torre cai no pé da mesma, ou porque não somos todos jogados para fora da Terra em rotação. O caso da torre, Galileu conseguiu resolver. O fato de que corpos soltos na superfície da Terra não são lançados para fora só seria satisfatoriamente explicado no âmbito da teoria de Gravitação Universal, desenvolvida mais tarde por Isaac Newton. Este, porém, não poderia tê-la concebido sem as contribuições de seus predecessores, dentre os quais se destaca Galileu. A compreensão que temos do movimento hoje é dada quase que integralmente pela mecânica Newtoniana, dentro da qual o conceito de inércia ocupa um lugar de destaque. Galileu foi um dos construtores de tal idéia. Dentre suas contribuições para uma ciência do movimento podem-se contar as seguintes: (1) distinguiu claramente a diferença entre velocidade e aceleração; (2) mostrou que corpos em queda caem com aceleração constante, independentemente de seu peso; (3) que esses mesmos corpos caem distâncias proporcionais ao quadrado do tempo de queda; (4) concebeu uma inércia circular através da qual um corpo permaneceria em movimento uniforme num plano horizontal em volta da Terra; (5) desenvolveu o conceito de movimento relativo; (6) aplicou seu conceito de inércia na decomposição do movimento de um projétil, determinando sua trajetória parabólica; (7) negou o conceito aristotélico de que para haver movimento tem que haver um movente; e (8) argumentou que o movimento uniforme e o repouso de um sistema não podem ser distinguidos por meios mecânicos dentro do próprio sistema, somente apelando-se para um referencial externo.

9

Esses desenvolvimentos foram graduais e se deram, em parte a partir de experiências reais, em parte através de experiências de pensamento. De fato, a extensão com que Galileu realizou experimentos é uma questão ainda não resolvida na História da Ciência. O fato é que com sua argumentação baseada em experimentos (realizados ou pensados) e apoiada por um desenvolvimento matemático seguro, Galileu ofereceu a primeira defesa consistente do modelo de Copérnico, contra as críticas que lhe eram dirigidas.

9

ATIVIDADES

Questões

- 1) O desacordo entre observação e teoria foi bastante para resolver definitivamente a disputa entre o sistema geocêntrico e o heliocêntrico?
- 2) Que importância teve a tecnologia nos trabalhos científicos de Galileu?
- 3) Quais foram as observações de Galileu que diferiam do modelo de Ptolomeu e sustentavam o modelo copernicano?
- 4) Por que se deveriam preferir as observações com a luneta às feitas a olho nu?
- 5) Qual a relação entre entender o fato da bola abandonada do alto de uma torre cair no pé da mesma e a disputa entre os sistemas geocêntrico e heliocêntrico?
- 6) Quais foram as contribuições de Galileu para a ciência do movimento?
- 7) Por que as contribuições de Galileu foram mais eficientes do que as de Copérnico para rebater as críticas ao heliocentrismo?

Projetos

1. Pesquisar a experiência pensada de Galileu que explica seu conceito de inércia, e fazer uma maquete da mesma.

2. PARA SABER MAIS. No contexto da teoria heliocêntrica, defendida por Galileu, solicite que seus alunos procurem argumentos para responder: *como se resolvem as disputas em ciência?*

3. Promova um debate com seus alunos sobre o filme *Galileo Galilei*, cujas informações seguem abaixo. Atente para aspectos que levantam mitos sobre a ciência dos alunos.

Título no Brasil: Galileu

Título Original: Galileo Galilei

País de Origem: EUA

Gênero: Animação

Tempo de Duração: 60 minutos

Ano de Lançamento: 2001

Site Oficial: Estúdio/Distrib.: Imagem Filmes

Direção: [Richard Rich](#)

TEXTO 6 – Unindo Céu e Terra: a síntese de Newton

- A CIÊNCIA DEPENDE DE EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS (1)
- LEIS E TEORIAS EXERCEM FUNÇÕES DIFERENTES NA CIÊNCIA (3)
- A CIÊNCIA COMO BUSCA DE EXPLICAÇÕES (4)
- O CONHECIMENTO CIENTÍFICO É PARCIMONIOSO (5)
- O CONHECIMENTO CIENTÍFICO TEM UM CARÁTER PROVISÓRIO (6)
- A CRIATIVIDADE É UMA CARACTERÍSTICA ESSENCIAL DA CIÊNCIA (9)

O abandono da idéia de que os corpos celestes eram feitos de uma substância perfeita com a propriedade de realizar movimento circular uniforme colocou a questão de que causa estaria por trás de seus movimentos. Galileu não propôs nada a esse respeito. Como já foi dito antes, Kepler deu uma sugestão correta em alguns sentidos (ligando os planetas ao Sol e supondo que a ação decresce com o quadrado da distância), mas errada em outros (só atuar no plano das órbitas e ter origem magnética). Contudo, a solução do problema só viria com o trabalho do físico e matemático inglês Isaac Newton (1642-1727).

COMO NEWTON CHEGA A LEI DE GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

Quando Newton atacou o problema da Gravitação Universal, a compreensão dos movimentos no céu e na Terra já havia avançado em relação ao sistema de Aristóteles e Ptolomeu. Havia os trabalhos de Huygens (1629-1695) sobre os movimentos circulares usando o conceito de força centrípeta, as leis de Kepler indicando as trajetórias e regularidades nos movimentos dos planetas e a idéia de inércia, esboçada por Galileu e aperfeiçoada pelo próprio Newton e constituindo sua primeira lei de movimento. Já havia também mais duas leis de movimento estabelecidas por Newton. Tudo isso teve importância na construção de uma teoria de Gravitação Universal.

4

6

Vamos apresentar agora, de forma sucinta e simplificada, o raciocínio de Newton:

- 1) Como as excentricidades das órbitas planetárias são muito pequenas, Newton tratou do caso ideal de uma órbita circular.
- 2) Planetas e suas luas não estão em equilíbrio, pois neste caso teriam que realizar movimentos retilíneos uniformes. Como suas trajetórias são curvilíneas, tem que haver uma resultante não nula.
- 3) Para ser consistente com as órbitas elípticas e com a propriedade de varrer áreas iguais em tempos iguais (1ª e 2ª Leis de Kepler) essa força resultante tem que apontar constantemente para o centro da órbita.
- 4) Newton demonstrou que para seguir órbitas elípticas a força centrípeta atuando sobre o planeta ou satélite deve variar com o inverso do quadrado da distância, isto é, $F = C/D^2$, onde C = constante e D = distância entre o corpo em órbita e o corpo atrator. Assim, ele mostrou que sob a ação de uma força deste tipo qualquer corpo em órbita obedeceria à terceira Lei de Kepler ($T^2/D^3 =$ constante).

5) Newton sugeriu que a força que mantém os planetas girando em torno do Sol e as luas em torno de seus planetas é de mesma natureza da atração que a Terra exerce sobre todos os corpos em sua superfície e que é responsável pela queda deles quando abandonados. À semelhança de Kepler, que imaginou ser uma força magnética que mantinha os planetas em orbitas em torno do sol, Newton propôs uma força que chamou de gravitacional e que dependeria das massas dos dois corpos: planeta e sol. Algum tempo antes esta proposição unificando as leis que explicariam o movimento nos céus e na Terra seria considerada uma heresia. Esta conjectura não derivou de forma alguma dos dados empíricos, foi fruto da imaginação e criatividade de Newton.

9

6) Para testar sua hipótese, Newton compara a queda de uma maçã com a “queda da Lua”, isto é, o quanto a Lua se afasta de sua trajetória em linha reta. A distância da maçã ao centro da Terra é de um raio terrestre e a distância da Lua ao centro da Terra é de 60 raios terrestres. Com isso, num dado intervalo de tempo, se uma maçã na superfície da Terra cai de uma distância x , um corpo submetido à mesma força gravitacional, mas 60 vezes mais distante, deve cair $x/3600$ já que a força varia com o quadrado da distância. Newton fez esse cálculo e, de fato, encontrou que os valores concordam muito bem.

1

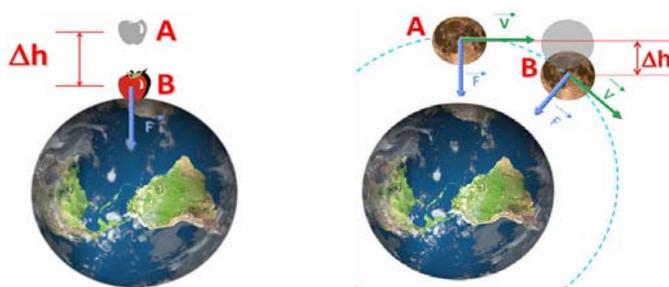


Figura 18 – Comparação da queda da maçã com a “queda da Lua”, submetidas à ação de uma atração gravitacional da Terra.

A TEORIA DE GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

A Teoria de Gravitação Universal consiste na hipótese de que todos os corpos, devido à sua massa, exercem forças atrativas uns sobre os outros. Essa teoria possibilitou Newton derivar sua Lei de Gravitação Universal. A partir dessa Lei e de suas três Leis de Movimento, Newton pode deduzir tanto as Leis de Kepler sobre os movimentos dos planetas, como as Leis de queda de Galileu. Isto mostra o incrível poder interpretativo da síntese Newtoniana, as Leis de Kepler e Galileu, aparentemente desconexas e tratando de fenômenos inteiramente diversos, passa a ser vistas como consequências naturais de uma Teoria única. Finalmente, a dicotomia Aristotélica entre céu e Terra havia sido superada. A Mecânica de Newton é igualmente aplicável a ambos. Com isso Newton realiza um dos ideais da ciência – a unificação.

3

5

Além de seu poder interpretativo e unificador, a teoria de Newton apresentou outra característica importante para a ciência – seu poder preditivo. A partir de seus princípios e leis gerais, podem-se deduzir consequências empiricamente observáveis. Este confronto entre as previsões de uma teoria e os resultados de observações e experimentos constitui um importante teste das mesmas. No próprio livro em que publicou sua teoria nos Princípios Matemáticos de Filosofia Natural. Newton faz algumas destas deduções. Apenas para citar algumas notáveis, Newton previu a

possibilidade de se lançarem satélites artificiais (figura 19) e deu as primeiras explicações satisfatórias para o fenômeno das marés e da precessão dos equinócios (quer dizer que a Terra gira como um pião; ela gira em torno de seu eixo e seu eixo também gira). Outros resultados importantes, deduzidos da Teoria de Newton foram: a descoberta de Netuno (previsto em cálculos antes de ser visto), as determinações das massas da Terra e do Sol, a medida da velocidade da Luz através dos satélites de Júpiter.

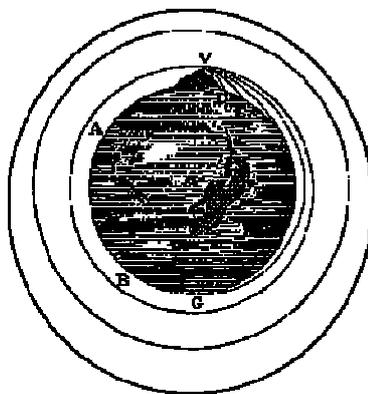


Figura 19 – Desenho de Newton em que ele prevê a possibilidade de se lançarem satélites artificiais.

O sucesso da aplicação da Teoria de Newton aos fenômenos observados na natureza foi tão grande que ela passou a ser uma espécie de modelo do que é ciência e como se faz ciência. Contudo, ela também tem os seus limites. A rotação do periélio do planeta Mercúrio e o desvio sofrido pela luz de uma estrela ao passar perto do Sol são mais precisamente descritos pela Teoria da Relatividade Geral de Albert Einstein (1879-1955), considerada atualmente a melhor explicação para os fenômenos envolvendo a Gravidade. Mesmo assim, para uma ampla gama de situações, a Teoria de Newton continua fornecendo resultados plenamente satisfatórios.

6

ATIVIDADES

Questões

- 1) De que forma o trabalho de Newton se relaciona com os trabalhos de Kepler e Galileu?
- 2) Discuta a aplicação dos termos lei e teoria no texto acima.
- 3) Discuta o ideal de generalização da ciência com base no exemplo da teoria de gravitação e na mecânica de Newton.
- 4) Quando Galileu observou a lua através da luneta, percebeu que ela era mais parecida com a Terra do que com uma esfera perfeita. Foi o primeiro passo para unificar a Terra e os Céus. Como Newton completou este processo? Qual o papel da teoria e qual o papel da evidência empírica nessa história?
- 5) O que o método de Newton tem de comum e no que ele se distingue dos métodos de seus predecessores?
- 6) Qual o papel da criatividade no trabalho de Newton?
- 7) A capacidade de fazer previsões a partir da teoria de gravitação levou Newton a fazer previsões muito modernas. Cite algumas.

Projetos

1. Henry Cavendish foi o primeiro cientista a determinar experimentalmente o valor da constante da gravitação universal. Solicite aos seus alunos que procurem informações sobre o experimento feito por Cavendish. É certo que uma procura cuidadosa no *You Tube* poderá permitir uma interessante discussão dos resultados.
2. Pesquisar sobre a física envolvida no lançamento e órbita dos satélites artificiais.
3. Pesquisar sobre o desenvolvimento das teorias sobre as marés, com destaque para a explicação de Newton.

UMA REFLEXÃO SOBRE A CIÊNCIA E SUA NATUREZA NA SALA DE AULA.

Há quem pense que quando a ciência explicou o brilho das estrelas estava, de certa forma, tirando um pouco de seu encanto, de sua beleza. Há quem enxergue beleza no processo pelo qual a luz é produzida nas estrelas. Para o homem medieval a lua era uma esfera perfeita, lisa, polida, feita de uma substância só presente nos céus. Para o homem de hoje ela é cheia de crateras, montanhas e imperfeições, feita dos mesmos elementos presentes na Terra. Seria a lua mais bonita na Idade Média? Hoje sabemos que a Lua ajuda a regular os movimentos da Terra, tem grande influência nas marés e reflete luz polarizada para nós. Teria esse conhecimento o poder de diminuir nossa capacidade de nos extasiarmos diante de uma noite de lua cheia? Minha resposta enfática é NÃO! Conhecer a natureza faz com que apreciemos sua beleza além do que pode ser visto, apreciamos sua ordem, a harmonia por trás dos fenômenos.

Do mesmo modo há quem pense que a ciência deve ser vista como uma verdade construída por gênios através de métodos claros, seguros e inquestionáveis, um conjunto de conhecimentos que cresce linearmente por acumulação. Os que questionam esta visão de ciência são tidos como seus inimigos, cuja finalidade seria enfraquecê-la diante das novas gerações. Mas, seria a ciência essa atividade fria e algorítmica, isenta de subjetividades, dúvidas e preconceitos? Não, a ciência é uma atividade humana e como tal compartilha das limitações daqueles que a produzem. Desvendá-la para nossos alunos, retirá-la de cima de um falso pedestal de infalibilidade, e mostrar suas diversas idas e vindas, construções e reconstruções, faz dela uma atividade menos interessante? Tira sua credibilidade? A confiança na ciência não pode se basear numa visão ingênua e equivocada. Apesar de todas as suas limitações, a ciência produziu e produz resultados verdadeiramente extraordinários e úteis. É o que de melhor o homem inventou para conhecer o mundo em que vivemos.

Apresentá-la tal qual é, ao invés de uma imagem caricata e artificial levará, certamente, a uma visão crítica a respeito de suas possibilidades e resultados. Por outro lado, será vista também, como uma atividade mais humana, que depende da criatividade e de nossas concepções de mundo, que interage com a sociedade, sofrendo a influência de seu tempo e influenciando-o. Por isso esse material foi escrito, para que o aluno aprenda ciência e *sobre* a ciência.

O presente texto foi concebido com a intenção de ser utilizado em sala de aula por professores e alunos. Contudo, seu maior objetivo é estimular os professores de física a incluírem elementos de NdC em suas aulas. Se esse material lhes parecer adequado, poderá ser utilizado para leitura e discussão com os alunos. Se, por alguma razão, o professor julgar que este material não está adequado para o uso direto com os alunos, poderá servir-se dele como subsídio para a construção de seu próprio material.

As possibilidades de uso são várias, e as relações da Física com a NdC não se restringem à Gravitação Universal e à lista de características apresentadas no item 1.3 deste Caderno. Apesar de ter sido escrito com a intenção de ser utilizado em sala de aula, outra intenção deste material era servir de exemplo de como a história da ciência e os conteúdos de ciência do ensino médio podem ser aproximados para favorecer a construção de uma imagem de ciência que corresponda melhor a essa importante atividade humana. O primeiro passo está dado, os caminhos são vários, só não se pode ficar parado. Que este material seja fermento de mudança para uma educação que atenda cada vez melhor às necessidades de um mundo que não pode abrir mão de um ensino de qualidade.

Bibliografia

[Aguiar, Gama & Costa 2006] C. E. M. Aguiar; E. A. Gama e S. M. Costa. Física no Ensino Médio. In: SECRETARIA DE ESTADO DE EDUCAÇÃO, RJ, *Livro II: Sucesso escolar: Reorientação curricular, Ciências da natureza e matemática*, RJ, 2006.

[Brasil 1999] Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio. Brasília: MEC; SEMTEC, 1999.

[Einstein & Infeld 1988] A. Einstein e L. Infeld. A Evolução da Física. Rio de Janeiro: Guanabara Coogan, 1988.

[Martins 2001] R. A. Martins. Como não escrever sobre história da física – um manifesto historiográfico. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.23, n.1, março de 2001.

[Matthews 1994] M. R. Matthews. *Science Teaching – The role of history and philosophy of science*. London, Routledge, 1994.

[McComas, Clough & Almazroa 1998] W. F. McComas, M. P. Clough & H. Almazroa. The role and character of the nature of science in science education. In: W. F. McComas (Ed.). *The nature of science in science education: rationales and strategies*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. p. 3-39, 1998.

[Zanetic 1989] J. Zanetic. Física Também é Cultura, *Tese de doutorado*, FEUSP, São Paulo. 1989.

Utilizada para o desenvolvimento dos textos históricos

CHALMERS, A. F., *O que é a ciência afinal?* SP. Editora Brasiliense, 1997.

CROMER, A., *Senso incomum, a natureza herética da ciência*. RJ, UniverCidade Editora, 1997.

COHEN, I. B. *O nascimento de uma nova ciência*, SP, EDART, 1997.

DERRY, G. N., *What science is and how it works*, Princeton, Princeton University Press, 1999.

NUSSENZVEIG, H. M., *Mecânica*, v.1, SP, Ed. E. Blücher, 2008.

PROJETO FÍSICA, UNIDADE 2 – Movimento nos céus, Fundação Calouste Gubelkian, Lisboa, 1978.

Anexo A

Publicações da AAAS na literatura de ensino de ciências

Bybee, Powell, & Ellis, 1991; Matthews, 1992, 2009a, 2009b; Eichinger, Abell & Dagher, 1997; Alters, 1997; Smith *et al.*, 1997; Abd-El-Khalick, Bell & Lederman, 1998; McComas, Almazroa & Clough 1998; Eflin, Glennan & Reisch, 1999; Lederman, 1999; Smith & Scharmann, 1999; Volkmann & Eichinger, 1999; Meichtry, 1999; Abd-El-Khalick & Lederman, 2000; Akerson, Abd-El-Khalick & Lederman, 2000; Bell, Lederman & Abd-El-Khalick, 2000; Wang & Schmidt, 2001; Cobern & Loving, 2002; Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002; Lederman, Abd-El-Khalick, Bell & Schwartz, 2002; Lin & Chen, 2002; Liu & Lederman, 2002; Akerson & Abd-El-Khalick, 2003; Bell, 2003; Bell *et al.*, 2003; Dhingra, 2003; Galili & Tseitlin, 2003; Osborne *et al.*, 2003; Stinner *et al.*, 2003; Taylor & Dana, 2003; Duarte, 2004; Bartholomew, Osborne & Ratcliffe, 2004; Sadler, Chambers & Zeidler, 2004; Schwartz, Lederman & Crawford, 2004; Windschitl, 2004; Acevedo *et al.*, 2005; Lawson, 2005; Akerson & Volrich, 2006; Chen, 2006; Hanuscin, Phillipson-Mower & Akerson, 2006; Khishfe & Lederman, 2006; Tretter *et al.*, 2006; Henze, van Driel & Verloop, 2007; Khishfe, 2008; Küçük, 2008; Liang *et al.*, 2008; Abd-El-Khalick, Waters & Le, 2008; Dogan & Abd-El-Khalick, 2008; Gauch, 2009; Morrison, Raab & Ingram, 2009; Peters, 2009; Schulz, 2009; Spiliotopoulou-Papantoniou & Agelopoulos, 2009; Akerson, Buzzelli & Donnelly, 2010; Clough, 2010; Kim & Irving, 2010; Turgut, 2010; Teixeira *et al.*, 2010.

Anexo B

Análise de livros didáticos de física para o ensino médio quanto ao seu conteúdo de NdC

Tabela 1 – Tabela extraída do trabalho de Pagliarini onde são identificadas as coleções de física analisadas.

Coleção	Título	Autor(es) e ano das edições de seus volumes
A	Alicerces da Física	Shigekiyo, C. T.; Yamamoto, K.; Fuke, L. P. – 1993/-/-
B	Aulas de Física 1, 2, 3	Ferraro, N. G.; Soares, P. A. T.; Santos, J. I. C. – 1996/97/95
C	Bases da Física 1, 2, 3	Ramalho Jr, F.; Herskowitz, G.; Scolfaro, V. – 1981/-/82
D	Curso de Física 1, 2, 3	Álvares, B. A.; Luz, A. M. R. – 1992/93/86 e 2005/05/05
E	Estudos de Física 1, 2, 3	Ueno, P. T.; Yamamoto, I. – 1982/82/-
F	Física 1, 2, 3	Cabral, F.; Lago, A. – 2002/02/02
G	Física 1, 2, 3	Freitas, J. A. F.; Cencic, M. D. – 2002/-/-
H	Física 1, 2, 3	Gaspar, A. – 2000/00/00
I	Física (v. único)	Gaspar, A. – 2004
J	Física (v. único)	Paraná, D. N. – 1994
K	Física	Talavera, A. C. – -/-/2005/-
L	Física Básica (v. único)	Ferraro, N. G.; Soares, P. A. T. – 1990
M	Física Clássica	Sampaio, J. L.; Caçada, C. S. – 1991/91/85/85/85
N	Física na Escola Atual 1, 2, 3	Arruda, M. A. T.; Anjos, I. G. – 1993/93/93
O	Fundamentos da Física 1, 2, 3	Ferraro, N. G.; Soares, P. A. T.; Santos, J. I. C.; Ramalho Jr, F. – 1991/94/93
P	Universo da Física 1, 2, 3	Sampaio, J. L.; Caçada, C. S. – 2001/01/01

A tabela a seguir foi construída a partir da pesquisa feita por Pagliarini (2007). Nela são apresentadas diversas passagens de caráter histórico e as concepções de NdC associadas.

Tabela 2 – Textos históricos e concepções de NdC retiradas de livros didáticos de física de ensino médio.

Coleção	Contexto/texto histórico/filosófico	Concepção da NdC
A	Galileu e a inércia.	<ul style="list-style-type: none"> O conhecimento científico é obra de gênios isolados.
A	“Os cientistas, cada qual com os métodos de pesquisa da época e do lugar, <u>observam sistematicamente</u> os fenômenos da natureza, tomam dados sobre as grandezas físicas envolvidas e <u>induzem as leis ou princípios.</u> ” (grifos do autor)	<ul style="list-style-type: none"> Visão empírico-indutivista da ciência

B	“... o estudo científico dos movimentos dos corpos deve-se a Galileu Galilei (1564-1642), que introduziu em Física o <u>método experimental</u> . Este consiste em <u>observar</u> os fenômenos, <u>medir</u> suas grandezas e <u>estabelecer as leis físicas</u> que os regem.” (grifos do autor)	<ul style="list-style-type: none"> • O conhecimento científico é obra de gênios isolados. • Visão empírico-indutivista da ciência • Crença na existência de um método único • Desconsideração do papel da criatividade na construção da ciência • A observação e a experimentação são consideradas neutras
D	“[...] Galileu fundamentava suas conclusões em experiências e observações cuidadosas, aliadas a um raciocínio lógico. Este modo de proceder constitui a base do método experimental, introduzido por ele no estudo dos fenômenos naturais, sendo por isto considerado o precursor da grande revolução verificada na Física a partir do século XVII.”	<ul style="list-style-type: none"> • Visão empírico-indutivista da ciência • Crença na existência de um método único
E	Newton e a gravitação	<ul style="list-style-type: none"> • O conhecimento científico é obra de gênios isolados.
E	Seção: “Física e seu método”	<ul style="list-style-type: none"> • Procedimento indutivo do método científico
F	Apêndice A: “O Método Científico”	<ul style="list-style-type: none"> • Visão empírico-indutivista da ciência • Crença na existência de um método único
H/I	[...] à medida que o ser humano aprofunda o seu conhecimento da natureza, torna-se necessário aprimorar o saber científico, o que exige contínua atualização e reformulação dessa forma de conhecimento. Por essas razões, a ciência não tem verdades definitivas ou dogmas. Todas as teorias e leis e todos os princípios científicos são provisórios, valem durante algum tempo e em determinadas condições.”	<ul style="list-style-type: none"> • Caráter provisório do conhecimento científico
H/I	“Embora seja comum falar em um método científico, composto de uma série de procedimentos que possibilitariam novas descobertas, é pouco provável que alguma descoberta científica o tenha seguido com rigor.”	<ul style="list-style-type: none"> • Não há um método científico único, algorítmico que conduza ao conhecimento.
H/I	“A idéia de que hipóteses e teorias surjam da observação dos fatos ou da experimentação não é verdadeira. Que fatos? Que experiências? A seleção de determinados fatos ou a realização de determinadas experiências indicam que, na verdade, as hipóteses e teorias a investigar já existem.”	<ul style="list-style-type: none"> • Observações e experimentos são guiados por hipóteses e teorias
J	... com Galileu Galilei chegamos, no século XVII, à descoberta do método científico, que rompeu definitivamente com o pensamento aristotélico.	<ul style="list-style-type: none"> • O conhecimento científico é obra de gênios isolados. • Crença na existência de um método único • Desconsideração do papel da criatividade na construção da ciência • Teorias foram descobertas porque elas estão “lá fora” para serem encontradas

K	<p>“A demonstração do Teorema de Newton sobre as forças centrais e as áreas percorridas, nada tem a ver com infantis ‘inspirações poéticas’ em torno da queda das maçãs. Baseia-se, isto sim, em análise algébrica avançada! Contra o mito do mero observador sagaz e intuitivo, a realidade nos mostra Newton como um matemático de grandes qualidades. Ele não só se apoiou em pesquisas anteriores, mas foi capaz de renová-las e ampliá-las, usando para isso grande dose de imaginação e criatividade.”</p>	<ul style="list-style-type: none"> • A construção do conhecimento científico é uma obra coletiva • A criatividade e a imaginação são elementos fundamentais na construção da ciência
N	<p>“Você teria uma idéia inicial de como descobrir tais leis da natureza? Segundo Lord Kelvin, famoso fisico inglês do século XIX, ‘quando você puder medir aquilo do que estiver falando e conseguir expressá-lo em números, você conhecerá alguma coisa sobre o assunto’...”</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Visão ingênua até para a concepção empírico-indutivista.
O	<p>“... a física estuda determinados fenômenos que ocorrem no Universo. O método que utiliza para conhecer esses fenômenos é simplificadamente o seguinte: observa repetidas vezes o fenômeno destacando fatos notáveis. Utilizando aparelhos de medida, desde o relógio para medir o tempo e a fita métrica para medir comprimentos, até instrumentos mais sofisticados, determina a medida das principais grandezas presentes no fenômeno. Com essas medidas procura alguma relação existente no fenômeno, tentando descobrir alguma lei ou princípio que o rege. Eventualmente essas leis ou princípios são expressos por fórmulas [...]. Em resumo, o método da apreensão do conhecimento da Física é o seguinte: a) observação dos fenômenos, b) medida de suas grandezas, c) indução ou conclusão de leis ou princípios que regem os fenômenos. Esse método de conhecimento é denominado método experimental.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Visão empírico-indutivista da ciência • Crença na existência de um método científico rígido e único • Desconsideração do papel da criatividade na construção da ciência • A observação e a experimentação são consideradas neutras
P	<p>Frequentemente ouvimos falar, de um modo bastante questionável, num método científico, como se houvesse um método único e seguro que se aplicasse a todas as ciências. Infelizmente, porém, as coisas não são tão simples. Há um ramo da Filosofia, denominado Filosofia da Ciência, que se preocupa em estudar, entre outros temas, a questão do método científico, e até agora não há unanimidade entre os filósofos sobre essa questão. [...] Tudo indica que há, na realidade, vários métodos; cada ciência tem os seus próprios caminhos na busca do conhecimento. Em segundo lugar, não há acordo nem mesmo dentro de uma ciência, como é o caso da Física. Fazendo-se um estudo dos caminhos seguidos pelos físicos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Não há um método científico único, universal e infalível.

	em um grande número de casos, verifica-se que não há uma receita dentro da qual se encaixem todos esses caminhos.”	
P	“Frequentemente estão envolvidos outros fatores, como o acaso. Há inúmeros exemplos de idéias que surgiram por acaso, e não por meio de uma busca intencional. [...] Outro aspecto importante a ressaltar refere-se à terceira fase, na qual o cientista deve fazer a interpretação dos fatos e imaginar uma explicação, isto é, imaginar uma hipótese que depois será testada. [...] Quando se trata de grandes teorias, que explicam um grande número de fatos, não há receitas para imaginar a explicação. Como disse Albert Einstein, ‘as explicações são livres criações da mente humana’.”	<ul style="list-style-type: none"> • Consideração do papel da imaginação na construção da ciência
P	“... atitude científica importante é estar com o espírito aberto a qualquer nova idéia. Isso não quer dizer que nós vamos aceitar como verdadeira qualquer idéia. Isso não! Nós vamos testá-la. Mas o que não se pode fazer é jogar a idéia fora sem testá-la, por puro preconceito.”	<ul style="list-style-type: none"> • Abertura a novas idéias • Importância do teste experimental
P	“... estar consciente de que uma idéia nunca pode ser considerada como definitiva. Mesmo que ela passe por repetidos testes, pode ser que algum dia seja feito algum tipo de teste pelo qual ela não passe.”	<ul style="list-style-type: none"> • Caráter transitório do conhecimento científico

Anexo C

Elementos da NdC na pesquisa em ensino de ciências

Tabela 3 – Modelo do Conhecimento Científico de Rubba (Rubba & Andersen, 1978)

1) Amoral	O conhecimento científico provê o homem com muitos recursos, mas não o instrui sobre como usá-los. O julgamento moral só pode recair sobre os usos que o homem faça do conhecimento científico, e não sobre o próprio conhecimento.
2) Criativo	O conhecimento científico é um produto do intelecto humano. Sua invenção requer tanta imaginação criativa quanto o trabalho de um artista, um poeta, ou um compositor. O conhecimento científico corporifica a essência criativa do processo de investigação científica.
3) Evolucionário	O conhecimento científico nunca é "provado" em um sentido absoluto e definitivo. Ele muda ao longo do tempo. O processo de justificação limita o conhecimento científico como provável. Crenças que parecem ser boas em um momento podem ser apreciadas de forma diferente quando mais evidência está disponível. Crenças previamente aceitas devem ser julgadas em seu contexto histórico.
4) Parcimonioso	O conhecimento científico tende à simplicidade, mas não por desprezo à complexidade. É abrangente em contraposição a ser específico. Há um esforço contínuo na ciência para desenvolver um número mínimo de conceitos capazes de explicar o maior número possível de observações.
5) Testável	O conhecimento científico é capaz de teste empírico público. Sua validade é estabelecida através de testes repetidos em comparação com as observações aceitas. A coerência entre os resultados dos testes é uma condição necessária, mas não suficiente para a validade do conhecimento científico.
6) Unificado	O conhecimento científico nasce de um esforço para compreender a unidade da natureza. O conhecimento produzido pelas diversas ciências especializadas contribui para uma rede de leis, teorias e conceitos. Este corpo sistematizado dá à ciência o seu poder explicativo e preditivo.

Tabela 4 – Resultado do estudo Delphi. (OSBORNE *et al.*, 2003)

TEMA	EXPLICAÇÃO
1) Método científico e teste crucial	Deve-se ensinar aos alunos que a ciência usa o método experimental para testar idéias e, em particular, sobre algumas técnicas básicas, tais como o uso de controle. Deve ficar claro que o resultado de um único experimento raramente é suficiente para estabelecer uma reivindicação de conhecimento.
2) Criatividade	Os alunos devem compreender que a ciência é uma atividade que envolve a criatividade e a imaginação tanto quanto muitas outras atividades humanas e que algumas idéias científicas são realizações intelectuais enormes. Os cientistas, tanto quanto qualquer outro profissional, são seres humanos apaixonados e envolvidos, cujo trabalho se baseia em inspiração e imaginação.
3) Desenvolvimento histórico do conhecimento científico	Deve-se ensinar aos alunos alguns dos antecedentes históricos do desenvolvimento do conhecimento científico.
4) Ciência e questionamento	Deve-se ensinar aos alunos que um aspecto importante do trabalho de um cientista é o contínuo e cíclico processo de fazer perguntas e procurar respostas, que, em seguida, conduzem a novas perguntas. Este processo leva ao surgimento de novas teorias científicas e técnicas, que são então testadas empiricamente.
5) Diversidade do pensamento científico	Deve-se ensinar aos alunos que a ciência utiliza uma variedade de métodos e abordagens e que não há um único método científico ou abordagem.
6) Análise e interpretação dos dados	Deve-se ensinar aos alunos que a prática da ciência envolve uma habilidosa análise e interpretação dos dados. Afirmações de conhecimento científico não surgem simplesmente a partir dos dados, mas através de um processo de interpretação e construção de teorias que podem exigir habilidades sofisticadas. É possível para os cientistas chegar legitimamente a diferentes interpretações dos mesmos dados, e, portanto, discordar.
7) Ciência e certeza	Os alunos devem entender porque muito conhecimento científico, sobretudo aquele ensinado em ciências na escola, está bem estabelecido e acima de qualquer dúvida razoável, e porque outro conhecimento científico é mais aberto a dúvida legítima. Também deve ser explicado que o conhecimento científico atual é o melhor que temos, mas pode ser sujeito a alterações no futuro, dadas novas evidências ou novas interpretações de evidências antigas.
8) Hipótese e previsão	Deve-se ensinar aos alunos que os cientistas desenvolvem hipóteses e previsões sobre fenômenos naturais. Este processo é essencial para o desenvolvimento de novas afirmações de conhecimentos.
9) Cooperação e colaboração para o desenvolvimento do conhecimento científico	Deve-se ensinar aos alunos que desenvolvimentos em ciência não são o resultado de um esforço individual. Eles são provenientes de atividades e colaboração de grupo, muitas vezes de natureza multidisciplinar e internacional. Os créditos de novos conhecimentos são geralmente compartilhados e, para ser aceito pela comunidade, deve sobreviver a um processo de revisão por pares críticos.

Tabelas 5 – Elementos de NdC presentes em currículos nacionais e internacionais. Tabela retirada de McComas (1998c) acrescida das três últimas colunas pelo autor desse trabalho. A última coluna indica em quantos currículos cada elemento de NdC aparece.

	1. EUA - Bechmarks	2. EUA - Califórnia	3. EUA – Nat'l Sci. St	4. Austrália	5. EUA - Universitário	6. Inglaterra / País de Gales	7. Nona Zelândia	8. Canadá	9. Brasil – PCN e PCN +	10. Brasil – SEE - RJ	FREQUÊNCIA
1. O conhecimento científico é estável		x		x				x			3
2. O conhecimento científico é provisório	x	x	x	x	x	x	x	x		X	9
3. A ciência nunca será concluída		x		x	x						3
4. A ciência se baseia em evidências empíricas		x	x	x	x		x	x		X	7
5. A ciência se baseia em argumentos lógicos	x		x	x				x			4
6. A ciência se baseia em ceticismo			x	x	x		x	x			5
7. A ciência pretende ser objetiva		x		x							2
8. A ciência pretende ser testável		x		x		x		x		X	5
9. A ciência pretende ser consistente		x	x							X	3
10. A ciência pretende ser precisa				x		x					2
11. O conhecimento científico se baseia em observações		x	x	x		x		x	X		6
12. O conhecimento científico se baseia em evidências experimentais		x	x	x		x		x		X	6
13. O conhecimento científico se baseia em análises cuidadosas	x			x		x		x	X		5
14. Mudança em ciência resulta de informações de teorias melhores	x	x	x		x						4
15. Há muitos modos de fazer investigações científicas	x					x	x	x		X	5
16. A ciência possui limitações inerentes	x				x	x		x		X	5
17. A ciência é uma tentativa de explicar os fenômenos	x		x	x	x	x	x	x			7
18. Para aprender como a ciência funciona, o vocabulário é vital			x			x		x			3
Observação	x	x	x			x		x	X		6
Hipótese	x	x	x					x	X		5
Lei	x		x		x			x	X		5
Teoria		x	x	x		x		x	X	X	7
Inferência		x									1
Modelo			x		x				X	X	4

1.	EUA - Bechmarks
2.	EUA - Califórnia
3.	EUA – Nat’l Sci. St
4.	Austrália
5.	EUA - Universitário
6.	Inglaterra / País de Gales
7.	Nona Zelândia
8.	Canadá
9.	Brasil - PCN
10.	Brasil – SEE - RJ
	FREQUÊNCIA

Suposições, Declarações e *Insights* Sociológicos

1.	Todas as culturas (podem) contribuir para a ciência	x	x	x	x			x	x			6
2.	A ciência é um esforço humano	x		x	x			x	x	X		6
3.	Novos conhecimentos devem ser comunicados de forma clara e aberta		x	x	x	x	x	x			X	7
4.	Cientistas tomam decisões éticas	x	x	x	x	x	x	x	x			8
5a.	Os cientistas exigem: manutenção de registros acurados	x	x	x			x		x			5
5b.	revisão pelos pares	x	x	x			x					4
5c.	replicabilidade	x	x	x		x	x	x	x			7
5d.	comunicação confiável	x	x	x	x	x	x		x			7
6.	Cientistas trabalham em colaboração	x		x		x			x			4

1.	EUA - Bechmarks
2.	EUA - Califórnia
3.	EUA – Nat’l Sci. St
4.	Austrália
5.	EUA - Universitário
6.	Inglaterra / País de Gales
7.	Nona Zelândia
8.	Canadá
9.	Brasil - PCN
10.	Brasil – SEE - RJ
	FREQUÊNCIA

Suposições, Declarações e *Insights* Psicológicos

1.	Observações são carregadas de teorias	x	x		x	x						4
2.	Cientistas devem estar abertos a novas idéias			x	x	x	x		x		X	6
3.	Cientistas devem ser intelectualmente honestos				x		x		x			3
4.	Cientistas são criativos	x		x	x	x	x		x			6

1. EUA - Bechmarks
 2. EUA - Califórnia
 3. EUA – Nat’l Sci. St
 4. Austrália
 5. EUA - Universitário
 6. Inglaterra / País de Gales
 7. Nona Zelândia
 8. Canadá
 9. Brasil - PCN
 10. Brasil – SEE - RJ
FREQUÊNCIA

Suposições e Declarações Históricas

1. Novas idéias científicas têm sido freqüentemente rejeitadas	x		x		x		x					4
2. O passado ilumina a prática científica atual					x	x						2
3a. Mudanças em ciência ocorrem gradualmente	x	x	x	x	x		x	x			X	8
3b. Mudanças em ciência ocorrem através de revoluções	x	x				x	x	x				5
4a. A pesquisa científica é ditada por paradigmas vigentes					x							1
4b. A pesquisa científica é ditada por interesses nacionais e/ou corporativos	x				x							2
5. A ciência tem implicações globais	x		x	x	x	x	x	x				7
6. A tecnologia tem impactado a ciência		x	x	x				x	X			5
7a. A ciência é parte da tradição intelectual		x			x							2
7b. A ciência é parte da tradição social	x	x	x	x	x	x	x	x	X			9
7c. A ciência é parte da tradição cultural		x	x	x	x			x	X			6
8. A ciência tem desempenhado um papel importante na tecnologia	x	x		x		x	x	x	X			7
9. A ciência tem estado no centro de muitas controvérsias		x		x		x	x					4
10. Idéias científicas são afetadas por seu meio social e histórico	x			x	x	x	x	x				6
11. A ciência se constrói sobre o que aconteceu antes	x	x	x					x				4

Lista de elementos da NdC extraída por McComas (2008) de livros de divulgação sobre a natureza da ciência.

- (A) A ciência produz e exige evidência empírica.
- (B) A produção de conhecimento em ciência compartilha muitos fatores comuns e hábitos da mente, normas, raciocínio lógico e métodos como a observação cuidadosa e gravação de dados, a veracidade na comunicação, etc. Além disso, os principais aspectos da metodologia científica sustentam que:
 - Experimentos não são a única via para o conhecimento.
 - A ciência usa tanto o raciocínio indutivo como o teste hipotético-dedutivo.
 - Não existe um método científico, passo a passo, através do qual toda a ciência é feita.
 - A ciência tem se desenvolvido através da "ciência normal" e da "revolução", como descritas por Kuhn (1962).
- (C) O conhecimento científico é provisório, durável e autocorretivo. (Isto significa que a ciência não pode provar nada, mas conclusões científicas são ainda úteis e de longa duração por causa da maneira como são desenvolvidas, mas os erros serão descobertos e corrigidos, como parte do processo)
- (D) Leis e teorias são relacionadas, mas são tipos distintos de conhecimento científico.
- (E) A ciência tem uma componente criativa.
- (F) A ciência tem elementos subjetivos. Em outras palavras, idéias e observações científicas são carregadas de teoria; esse viés executa papéis potencialmente positivos e negativos na investigação científica.
- (G) Há influências históricas, culturais e sociais sobre a prática e o direcionamento da ciência.
- (H) Ciência e tecnologia impactam uma sobre a outra, mas elas não são a mesma coisa.
- (I) A ciência e seus métodos não podem responder a todas as perguntas. Em outras palavras, há limites para os tipos de perguntas que podem ser feitas à ciência.

Referências Bibliográficas

[AAAS 1989] American Association For The Advancement Of Science. *Project 2061: Science for all Americans*. Washington, DC: AAAS, 1989.

[AAAS 1993] American Association For The Advancement Of Science. *Benchmarks for science literacy*. New York: Oxford University Press, 1993.

[Abbagnano 2003] N. Abbagnano, Dicionário de Filosofia. *Martins Fontes, São Paulo, 2003*.

[Abd-El-Khalick 1999] F. Abd-El-Khalick, Teaching Science with History, *The Science Teacher*, 66(9), p 18-22, 1999.

[Abd-El-Khalick, Bell & Lederman 1998] F. Abd-El-Khalick; R. L. Bell e N. G. Lederman. The Nature of Science and Instructional Practice: Making the Unnatural Natural. *Science Education*, 82: 417–436, 1998.

[Abd-El-Khalick & Lederman 2000a] F. Abd-El-Khalick e N. G. Lederman. Improving science teachers' conceptions of nature of science: a critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 22: 7, 665–701, 2000.

[Abd-El-Khalick & Lederman 2000b] F. Abd-El-Khalick e N. G. Lederman. The Influence of History of Science Courses on Students' Views of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(10), 1057-1095, 2000.

[Abd-El-Khalick, Waters & Le 2008] F. Abd-El-Khalick; M. Waters e A. Le. Representations of nature of science in high school chemistry textbooks over the past four decades. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(7), 835–855, 2008.

[Acevedo *et al.* 2005] J. A. Acevedo; A. Vázquez; M. F. Paixão; P. Acevedo; J. M. Oliva e M. A. Manassero. Mitos da didática das ciências acerca dos motivos para incluir a natureza da ciência no ensino de ciências. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 11, n. 1, p. 1-15, 2005.

[Adúriz-Bravo & Izquierdo-Aymerich 2009] A. Adúriz-Bravo e M. Izquierdo-Aymerich. A research-informed instructional unit to teach the nature of science to pre-service science teachers. *Science & Education*, 18(9), 1177–1192, 2009.

[Aguiar, Gama & Costa 2006] C. E. M. Aguiar; E. A. Gama e S. M. Costa. Física no Ensino Médio. In: SECRETARIA DE ESTADO DE EDUCAÇÃO, RJ, *Livro II: Sucesso escolar: Reorientação curricular, Ciências da natureza e matemática*, RJ, 2006.

[Akerson, Abd-El-Khalick & Lederman 2000] V.L. Akerson, F. Abd-El-Khalick e N.G. Lederman. Influence of a reflective activity based approach on elementary teachers'

conceptions of the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 295–317, 2000.

[Akerson & Abd-El-Khalick 2003] V.L. Akerson & F. Abd-El-Khalick. Teaching elements of nature of science: A yearlong case study of a fourth-grade teacher. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(10), 1025-1049, 2003.

[Akerson & Volrich 2006] V.L. Akerson e M.L. Volrich. Teaching nature of science explicitly in a first-grade internship setting. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(4), 377-394, 2006.

[Akerson, Morrison & Mcduffie 2006] V. L. Akerson, J. A. Morrison & A. R. Mcduffie. One course is not enough: Preservice elementary teachers' retention of improved views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 43, 2, 194-213, 2006.

[Akerson, Buzzelli & Donnelly 2010] V. L. Akerson, C. A. Buzzelli & L. A. Donnelly. On the Nature of Teaching Nature of Science: Preservice Early Childhood Teachers' Instruction in Preschool and Elementary Settings. *Journal of Research in Science Teaching*, 47: 213–233, 2010.

[Alters 1997] B. J. Alters. Whose nature of science? *Journal of Research in Science Teaching*, 34(1), 39–55, 1997.

[Audi 1996] R. Audi. *The Cambridge Dictionary of Philosophy*. Cambridge, Cambridge University Press, 1996.

[ACARA 2011] Australian Curriculum, Assessment and Reporting Authority. Shape of the Australian Curriculum: Science, maio de 2009. Online: acessado em 20/02/2011 http://www.acara.edu.au/verve/resources/Australian_Curriculum_-_Science.pdf

[Allchin 1995] D. Allchin. How Not to Teach History in Science. Em F. Finley, D. Allchin, D. Rhees e S. Fifield (eds.), *Proceedings, Third International History, Philosophy and Science Teaching Conference*, Vol. 1, University of Minnesota, Minneapolis, MN, pp. 13–22, 1995. Reproduzido em *The Pantaneto Forum #7* (July, 2002), URL: www.pantaneto.co.uk/issue7/allchin.htm.

[Allchin 2003a] D. Allchin. Scientific Myth-Conceptions, *Science Education* 87, 329–351, 2003.

[Allchin 2003b] D. Allchin. Lawson's Shoehorn, *Science & Education* 12, 315–329, 2003.

[Allchin 2004] D. Allchin. Pseudohistory and Pseudoscience. *Science & Education* 13, 179–195, 2004.

[Bachelard 2008] G. Bachelard. *A formação do espírito científico*. Rio de Janeiro: Contraponto, 1ª edição, 8ª reimpressão, 2008.

[Barros 1998] S. de S. Barros. Educação formal *versus* informal: desafios da cultura científica. In: M. J. P. M. de Almeida e H. C. da Silva (orgs.) *Linguagens, leituras e ensino de ciência*. Campinas, Mercado das Letras, 1998.

- [Barros & Filipecki 2010] S. de S. Barros e A. T. Filipecki. Currículo e cultura científica: sociedade de risco – somos todos atores? In: S. de S. Barros e M. Elia (orgs.) *Pierre Lucie: educador e professor de cientistas*. Rio de Janeiro, Editora UFRJ, 2010.
- [Bartholomew, Osborne & Ratcliffe 2004] H. Bartholomew, J. Osborne e M. Ratcliffe. Teaching Students “Ideas-About-Science”: Five Dimensions of Effective Practice. *Science Education*, 88: 655– 682, 2004.
- [Bell 2003] R. L. Bell. Understandings of the Nature of Science and Decision Making on Science and Technology Based Issues. *Science Education*, 87: 352– 377, 2003.
- [Bell, Lederman & Abd-El-Khalick 2000] R. L. Bell, N.G. Lederman e F. Abd-El-Khalick. Developing and acting upon one’s conception of the nature of science: A follow-up study. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 563-581, 2000.
- [Bell *et al.* 2003] R. L. Bell, L. M. Blair, B. A. Crawford e N.G. Lederman. Just do it? Impact of a science apprenticeship program on high school students’ understandings of the nature of science and scientific inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 40 (5), 487–509, 2003.
- [Braga, Guerra & Reis 2003] M. Braga, A. Guerra e J. C. Reis. *BreveHistória da Ciência moderna, volume 1: convergência de saberes*. Rio de Janeiro: Zahar, 2003.
- [Braga, Guerra & Reis 2004] M. Braga, A. Guerra e J. C. Reis. *BreveHistória da Ciência moderna, volume 2: das máquinas do mundo ao universo-máquina*. Rio de Janeiro: Zahar, 2004.
- [Braga, Guerra & Reis 2010] M. Braga, A. Guerra e J. C. Reis. The Role of Historical-Philosophical Controversies in Teaching Sciences: The Debate Between Biot and Ampère. *Science & Education*, Publicado Online, 21 de outubro de 2010.
- [Branco 1996] S. M. Branco. *Evolução das espécies: o pensamento científico, religioso e filosófico*. São Paulo: Moderna, 1996.
- [Branco & Branco 1996] S. M. Branco e F. C. Branco. *A deriva dos continentes*. São Paulo: Moderna, 1996.
- [Brasil 1999] Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio. Brasília: MEC; SEMTEC, 1999.
- [Bronowski 1992] J. Bronowski. *A responsabilidade dos cientistas e outros escritos*. Lisboa: Dom Quixote, p. 57, 1992.
- [Bybee, Powell & Ellis 1991] R. W. Bybee, J. C. Powell e J. D. Ellis. Integrating the History and Nature of Science and Technology in Science and Social Studies Curriculum. *Science Education* 75(1): 143 -155, 1991.
- [Carvalho 2008] A. M. P. Carvalho. *Enculturação Científica: uma meta no ensino de ciências*. Texto apresentado no XIV ENDIPE, Porto Alegre, abril de 2008.

[Chan 2005] K. Chan. Exploring the dynamic interplay of college students' conceptions of the nature of science. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, v.6(2), p.1, 2005.

[Chassot 1995] A. Chassot. *A ciência através dos tempos*. São Paulo: Moderna, 1995.

[Chauí 1997] M. Chauí. *Convite à Filosofia*. Editora Ática, São Paulo, 9ª edição, 1997.

[Chen 2006] S. Chen. Development of an Instrument to Assess Views on Nature of Science and Attitudes Toward Teaching Science. *Science Education*, 90:803– 819, 2006.

[Clough 2010] M. P. Clough. The Story Behind the Science: Bringing Science and Scientists to Life. *Science & Education*, Online first, 29 de setembro de 2010.

[Clough, Herman & Smith 2010] M. P. Clough, B.C. Herman & J.A.R. Smith. *Seamlessly teaching science content and the nature of science*. Artigo apresentado na Association for Science Teacher Education (ASTE) National Conference, Sacramento, CA, 14–16 Jan., 2010.

[Cobern & Loving 2002] W. Cobern e C. Loving. Investigation of preservice elementary teachers' thinking about science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(10), 1016– 1031, 2002.

[Crowther, Lederman & Lederman 2005] D. T. Crowther, N.G. Lederman e J.S. Lederman. Understanding the True Meaning of Nature of Science. *Science and Children*, v43 n2 p. 50-52, 2005.

[Develaki 2010] M. Develaki. Integrating Scientific Methods and Knowledge into the Teaching of Newton's Theory of Gravitation: An Instructional Sequence for Teachers' and Students' Nature of Science Education. *Science & Education*, Online first, 21 de março de 2010.

[Dhingra 2003] K. Dhingra. Thinking about television science: How students understand the nature of science from different program genres. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(2), 234-256, 2003.

[Dogan & Abd-El-Khalick 2008] N. Dogan e F. Abd-El-Khalick. Turkish grade 10 students' and science teachers' conceptions of nature of science: A national study. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(10), 1083–1112, 2008.

[Duarte 2004] M. C. Duarte. A História da Ciência na Prática de Professores Portugueses: Implicações para a Formação de Professores de Ciências. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 10, n. 3, p. 317-331, 2004.

[Driver *et al.* 1996] R. Driver, J. Leach, R. Millar e P. Scott. *Young people's images of science*. Buckingham: Open University Press, 1996.

[Duschl 1990] R. Duschl. Rethinking our view of science education. In: R. Duschl. *Restructuring Science Education. The importance of theories and their development*. New York, Teachers College, Columbia University, p.31-44, 1990.

- [Eflin, Glennan & Reisch 1999] J. T. Eflin, S. Glennan & G. Reisch. The Nature of Science: A Perspective from the Philosophy of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1):107-117, 1999.
- [Eichinger, Abell & Dagher 1997] D. C. Eichinger, S. K. Abell & Z. R. Dagher. Developing a graduate level science education course on the nature of science. *Science & Education*, 6: 417-429, 1997.
- [Einstein 1994] A. Einstein. Física e realidade. In: Escritos da Maturidade. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, p.76, 1994.
- [Einstein & Infeld 1988] A. Einstein e L. Infeld. A Evolução da Física. Rio de Janeiro: Guanabara Coogan, 1988.
- [El-Hani 2006] C. N. El-Hani. Notas sobre o ensino de história e filosofia da ciência na educação científica de nível superior. In: C. C. Silva (org.) *Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino*. Editora Livraria da Física, São Paulo, p.3-21, 2006.
- [Ferreira & Morais 2010] S. Ferreira e A. M. Morais. A natureza da ciência nos currículos de ciências — Estudo do currículo de Ciências Naturais do 3º ciclo do ensino básico. *Revista Portuguesa de Educação*, 23(1), p. 119-156, 2010.
- [Forato 2009] T. C. M. Forato. *A Natureza da Ciência como saber escolar: um estudo caso a partir da história da luz*. Tese (Doutorado em Educação) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- [Galili & Tseitlin 2003] I. Galili e M. Tseitlin. Newton's First Law: Text, Translations, Interpretations and Physics Education. *Science & Education*, 12: 45–73, 2003.
- [Gauch 2009] H. G. Gauch. Science, Worldviews, and Education. *Science & Education*, 18: 667–695, 2009.
- [Gil-Pérez *et al.* 2001] D. Gil-Pérez, I. F. Montoro, J. C. Alís, A. Cachapuz e J. Praia. Para uma imagem não deformada no ensino de ciências. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.
- [Guerra *et al.* 1997] A. Guerra, J. Freitas, J. C. Reis e M. Braga. *Galileu e o nascimento da ciência moderna*. São Paulo: Atual, 1997.
- [Guerra *et al.* 1999] A. Guerra, J. Freitas, J. C. Reis e M. Braga. *Newton e o triunfo do mecanicismo*. São Paulo: Atual, 1999.
- [Hanuscin, Phillipson-Mower & Akerson 2006] D. Hanuscin, T. Phillipson-Mower & V. L. Akerson. Integrating nature of science instruction into a physical science content course for teachers: NOS views of teaching assistants. *Science Education*, 90(5), 912-935, 2006.
- [Harres 1999] J. B. S. Harres. Uma revisão de pesquisas nas concepções de professores sobre a natureza da ciência e suas implicações para o ensino. *Investigações em Ensino de Ciências* – v4(3), p. 197-211, 1999.

- [Hazen & Trefil 1995] R. M. Hazen e J. Trefil. *Saber ciência*. São Paulo: Cultura, 1995.
- [Henze, Van Driel & Verloop 2007] I. Henze, J. Van Driel & N. Verloop. Science teachers' knowledge about teaching models and modeling in the context of a new syllabus on public understanding of science. *Research in Science Education*, 37(2), 99-122, 2007.
- [Höttecke, Henke & Rieß 2010] D. Höttecke, A. Henke & F. Rieß. *Let's do it together! A Collaborative Project of Researchers and Practitioners on Implementing History and Philosophy in Science Teaching*. Artigo apresentado na conferência NARST na Filadélfia, USA, 20-24 March 2010.
- [Khishfe 2008] R. Khishfe. The development of seventh graders' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(4), 470-496, 2008.
- [Khishfe & Abd-El-Khalick 2002] R. Khishfe & F. Abd-El-Khalick. Influence of explicit and reflective versus implicit inquiry-oriented instruction on sixth graders' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(7), 551-578, 2002.
- [Khishfe & Lederman 2006] R. Khishfe & N. G. Lederman. Teaching nature of science within a controversial topic: Integrated versus non-integrated. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(4), 395-418, 2006.
- [Kim & Irving 2010] S. Y. Kim & K. E. Irving. History of Science as an Instructional Context: Student Learning in Genetics and Nature of Science. *Science & Education*, 19:187–215, 2010.
- [Kruse 2010] J. W. Kruse. *Historical short stories in the post-secondary biology classroom: Investigation of instructor and student use and views*. Unpublished Doctoral Dissertation, Iowa State University, Ames, IA, 2010.
- [Kruse et al. 2009] J. W. Kruse, M. P. Clough, J. K. Olson e J. Colbert. *Student and instructor reaction to the use of historical short stories in a post-secondary introductory biology course*. Artigo apresentado na 10th International History, Philosophy of Science in Science Teaching (IHPST) Conference, Notre Dame, IN, 24–28 June., 2009.
- [Küçük 2008] M. Küçük. Improving preservice elementary teachers' views of the nature of science using explicit-reflective teaching in a science, technology and society course. *Australian Journal of Teacher Education*, Vol 33, 2, 16-40, 2008.
- [Kuhn 2009] T. S. Kuhn. *A estrutura das revoluções científicas*. Editora Perspectiva, São Paulo, 9ª edição, 1ª reimpressão, 2009.
- [Lawson 2005] A. E. Lawson. What is the role of induction and deduction in reasoning and scientific inquiry? *Journal of Research in Science Teaching*, 42(6), 716-740, 2005.
- [Lederman 1992] N. G. Lederman. Students' and teachers' conceptions of the nature of science: a review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 29, n. 4, p. 331-359, 1992.

[Lederman 1998] N. G. Lederman. The state of science education: subject matter without context. *Electronic Journal of Science Education* (3)2, 1998. <http://unr.edu/homepage/jcannon/ejse/ejsev3n2.html>

[Lederman 1999] N. G. Lederman. Teachers' understanding of the nature of science and classroom practice: Factors that facilitate or impede the relationship. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(8), 916-929, 1999.

[Lederman 2007] N. G. Lederman. Nature of science: past, present, and future. In: S.K. Abell, S. K. e N.G. Lederman. (eds) *Handbook of research on science education*. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, p. 831–880, 2007.

[Lederman & Niess 1997] N. G. Lederman & M. Niess. The nature of science: Naturally? *School Science and Mathematics*, 97(1), 1-2, 1997.

[Lederman *et al.* 2002] N. G. Lederman, F. Abd-El-Khalick, R. L. Bell e R. Schwartz. Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learner's conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497-521, 2002.

[Liang *et al.* 2008] L. L. Liang, S. Chen, X. Chen, O. N. Kaya, A. D. Adams, M. Macklin e J. Ebenezer. Assessing preservice elementary teachers views on the nature of scientific knowledge: A dual-response instrument. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, v.9, (1), article 1, 2008.

[Lin & Chen 2002] H. S. Lin & C. C. Chen. Promoting preservice chemistry teachers' understanding about the nature of science through history. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 39, n. 9, p. 773-792, 2002.

[Liu & Lederman 2002] S. Liu & N. G. Lederman. Taiwanese gifted students' views of nature of science. *School Science and Mathematics*, 102 (3), 114-123, 2002.

[Lonsbury & Ellis 2002] J. G. Lonsbury & J. D. Ellis. Science history as a means to teach nature of science concepts: using the development of understanding related to mechanisms of inheritance. *Electronic Journal of Science Education*, Vol. 7, No. 2, Dec. 2002.

[Mach 1995] E. Mach. On Instruction in the Classics and the Sciences. In: MACH, E. *Popular Scientific Lectures*. The Open Court Publishing Company, Chicago, 1995.

[Martins 1997] R. A. Martins. *O Universo: teorias sobre sua origem e evolução*. São Paulo: Moderna, 1997.

[Martins 2000] R. A. Martins. Arquimedes e a coroa do rei: problemas históricos. *Cadernos Catarinenses de Ensino de Física*, v.17, n.2, p.115-121, agosto de 2000.

[Martins 2001] R. A. Martins. Como não escrever sobre história da física – um manifesto historiográfico. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.23, n.1, março de 2001.

[Martins 2006] R. A. Martins. A maçã de Newton: história, lendas e tolices. In: C.C. Silva (Org.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo. Editora Livraria da Física. 2006.

[Matthews 1992] M. R. Matthews. History, Philosophy and Science Teaching: The Present Rapprochement. *Science & Education*, 1, 11–47, 1992

[Matthews 1994] M. R. Matthews. *Science Teaching – The role of history and philosophy of science*. London, Routledge, 1994.

[Matthews 1998a] M. R. Matthews. The nature of science and science teaching. In: Fraser, B. J.; Tobin, K. G. (Ed.). *International handbook of science education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 981-999, 1998.

[Matthews 1998b] M. R. Matthews. Foreword and introduction. In: McComas, W. F. (Ed.). *The nature of science in science education: rationales and strategies*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. p. xi-xxi, 1998.

[Matthews 2009a] M. R. Matthews. Science, Worldviews and Education: An Introduction. *Science & Education*, 18: 641–666, 2009.

[Matthews 2009b] M. R. Matthews. Teaching the Philosophical and Worldview Components of Science. *Science & Education*, 18:697–728, 2009.

[McComas 1998] W. F. McComas. The principal elements of the nature of science: Dispelling the myths. In: W. F. McComas (Ed.). *The nature of science in science education: rationales and strategies*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, p. 53-70, 1998.

[McComas 2008] W. F. McComas. Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. *Science & Education*, 17, 249–263, 2008.

[McComas, Almazroa & Clough 1998] W. F. McComas, H. Almazroa & M. Clough. The nature of science in science education: an introduction. *Science & Education*, 7: 511-532, 1998.

[McComas, Clough & Almazroa 1998] W. F. McComas, M. P. Clough & H. Almazroa. The role and character of the nature of science in science education. In: W. F. McComas (Ed.). *The nature of science in science education: rationales and strategies*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. p. 3-39, 1998.

[McComas & Olson 1998] W. F. McComas & J. K. Olson. The nature of science in international science education standards documents. In: W. F. McComas (Ed.). *The nature of science in science education: rationales and strategies*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 41-52, 1998.

[Medeiros & Bezerra Filho 2000] A. Medeiros e S. A. Bezerra Filho. A natureza da ciência e a instrumentação para o ensino da física. *Ciência & Educação*, v. 6, n. 2, p. 107-117, 2000.

- [Meichtry 1999] Y. J. Meichtry. The Nature of Science and Scientific Knowledge: Implications for a Preservice Elementary Methods Course. *Science & Education*, 8, 273–286, 1999.
- [Millar & Osborne 1998] R. Millar & J. Osborne. Beyond 2000: Science education for the future. The report of a seminar series funded by the Nuffield Foundation. King's College, London, 1998.
- [Miller *et al.* 2010] M. C. D. Miller, L. M. Montplaisir, E. G. Offerdahl, F. Cheng e G. L. Ketterling. Comparison of Views of the Nature of Science between Natural Science and Nonscience Majors. *CBE—Life Sciences Education*, Vol. 9, 45–54, 2010.
- [Monteiro & Nardi 2008] M. A. Monteiro e R. Nardi. *As abordagens dos livros didáticos acerca da física moderna e contemporânea: algumas marcas da natureza da ciência*. Texto apresentado no XI EPEF, Curitiba, 2008.
- [Moreira, Massoni & Ostermann 2007] M. A. Moreira, N. T. Massoni e F. Ostermann. “História e epistemologia da física” na licenciatura em física: uma disciplina que busca mudar concepções dos alunos sobre a natureza da ciência. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.29, n.1, p.127-134, 2007.
- [Morrison, Raab & Ingram 2009] J. A. Morrison, F. Raab & D. Ingram. Factors influencing elementary and secondary teachers' views on the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 46: 384–403, 2009.
- [NRC 1996] National Research Council (NRC). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press, 1996.
- [NSTA 2000] National Science Teachers Association (NSTA). Position Statement: The Nature of Science, 2000. www.nsta.org/positionstatement&psid=22.
- [Omnès 1996] R. Omnès. *Filosofia da Ciência Contemporânea*. São Paulo: Editora UNESP, 1996.
- [Oliveira & Freire Júnior 2006] B. J. Oliveira e O. Freire Júnior. Uma conversa com Gerald Holton. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 23, n. 3: p. 315-328, dez. 2006.
- [Osborne *et al.* 2003] J. Osborne, S. Collins, M. Ratcliffe, R. Millar e R. Duschl. What “ideas-about science” should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40, 692-720, 2003.
- [Pagliarini 2007] C. R. Pagliarini. *Uma análise da história e filosofia da ciência presente em livros didáticos de física para o ensino médio*. Dissertação (Mestrado em Física), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- [Peduzzi 2011] L. O. Q. Peduzzi. *Evolução dos conceitos da Física*. Material confeccionado para o curso de Licenciatura em Física, modalidade à distância. Florianópolis: UFSC/EAD/CED/CFM, 2011.

[Pereira, Forato & Silva 2010] J. G. Pereira, T. C. M. Forato e A. P. B. Silva. A natureza da ciência através de um episódio histórico sobre a luz: adaptações metodológicas. *Texto apresentado no XII EPEF*, Águas de Lindóia, 2010.

[Peters 2009] E. E. Peters. Developing content knowledge in students through explicit teaching of the nature of science: influences of goal setting and self-monitoring. *Science & Education*, Publicado online: 27 de novembro de 2009.

[Planck 1949] M. Planck. *Scientific Autobiography and Other Papers*. Nova York, p.33-34, 1949.

[Quadros 1996] S. Quadros. *A termodinâmica e a invenção das máquinas térmicas*. São Paulo: Scipione, 1996.

[Rubba & Andersen 1978] P. Rubba & H. Andersen. Development of an instrument to assess secondary students' understanding of the nature of scientific knowledge. *Science Education*, 62(4), 449-458, 1978.

[Rudge & Howe 2007] D. W. Rudge & E. M. Howe. An explicit and reflective approach to the use of history to promote understanding of the nature of science. *Science Education*, Publicado online 14 de abril de 2007.

[Sadler, Chambers & Zeidler 2004] T. D. Sadler, W. F. Chambers & D. L. Zeidler. Student conceptualizations of the nature of science in response to a socioscientific issue. *International Journal of Science Education*, 26: 4, 387-409, 2004.

[Schwab 1964] J. J. Schwab. The Teaching of Science as Enquiry. In: J. J. Schwab & P. F. Brandwein (eds.), *The Teaching of Science*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1964.

[Shamos 1995] M. H. Shamos. *The myth of scientific literacy*. New Brunawich: Rutgers University Press.

[Schulz 2009] R. M. Schulz. Reforming Science Education: Part I. The Search for a Philosophy of Science Education. *Science & Education*, Publicado online: 25 de fevereiro de 2009.

[Schwartz, Lederman & Crawford 2004] R. S. Schwartz, N. G. Lederman & B. A. Crawford. Developing views of nature of science in an authentic context: an explicit approach to bridging the gap between nature of science and scientific inquiry. *Science Education*, 88(4), 610-645, 2004.

[Silva 2006] C. C. Silva. Prefácio. In: C. C. Silva (org.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo. Editora Livraria da Física. 2006.

[Silva & Pagliarini 2008] C. C. Silva e C. R. Pagliarini. *A natureza da ciência em livros didáticos de física*. Texto apresentado no XI EPEF, Curitiba, 2008.

[Smith & Scharmann 1999] M. U. Smith & L. C. Scharmann. Defining versus describing the nature of science: A pragmatic analysis for classroom teachers and science educators. *Science Education*, 83, 493 – 509, 1999.

[Smith *et al.* 1997] M. U. Smith, N. G. Lederman, R. L. Bell, W. F. McComas & M. P. Clough. How Great is the Disagreement about the Nature of Science: A Response to Alters. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(10), 1101-1103, 1997.

[Smith & Wenk 2006] C. L. Smith & L. Wenk. Relations among Three Aspects of First-Year College Students' Epistemologies of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 43: 747–785, 2006.

[Solomon *et al.* 1992] J. Solomon, J. Duveen, L. Scott e S. Mccarthy. Teaching about the nature of science through history: action research in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 29, n. 4, p. 409-421, 1992.

[Solomon 1994] J. Solomon. Teaching about the nature of science through history. In: B. Jennison e J. Ogborn (Eds.) *Wonder and Delight: Essays in Science Education in Honour of the Life and Work of Eric Rogers 1902-1990* Bristol, Institute of Physics Publishing, 1994.

[Spiliotopoulou-Papantoniou & Agelopoulos 2009] V. Spiliotopoulou-Papantoniou & K. Agelopoulos. Enhancement of Pre-Service Teachers' Teaching Interventions with the Aid of Historical Examples. *Science & Education*, 18: 1153–1175, 2009.

[Stinner *et al.* 2003] A. Stinner, B. A. Mcmillan, D. Metz, J. M. Jilek & S. Klassen. The renewal of case studies in science education. *Science & Education* 12: 617–643, 2003.

[Taylor & Dana 2003] J. A. Taylor & T. M. Dana. Secondary School Physics Teachers' Conceptions of Scientific Evidence: An Exploratory Case Study. *Journal of Research in Science Teaching*, 40, 8, 721-736, 2003.

[Teixeira, Freire & El-Hani 2009] E. S. Teixeira, O. Freire e C. N. El-Hani. A influência de uma abordagem contextual sobre as concepções acerca da natureza da ciência de estudantes de física. *Ciência & Educação*, v. 15, n. 3, p. 529-556, 2009.

[Teixeira *et al.* 2010] E. S. Teixeira, C. P. Silva, O. Freire e I. M. Greca. A Construção de uma Argumentação Sobre a Síntese Newtoniana a Partir de Atividades em Grupos. *Investigações em Ensino de Ciências*, v15(1), pp. 61-95, 2010.

[Thuillier 1994] P. Thuillier. *De Arquimedes à Einstein: a face oculta da invenção científica*. Rio de Janeiro, Jorge Zahar Editor, 1994.

[Tretter *et al.* 2006] T. R. Tretter, M. G. Jones, T. Andre, A. Negishi e J. Minogue. Conceptual boundaries and distances: Students' and experts' concepts of the scale of scientific phenomena, *Journal of Research in Science Teaching*, 43, 282-319, 2006.

[Turgut 2010] H. Turgut. The Context of Demarcation in Nature of Science Teaching: The Case of Astrology. *Science & Education*, Publicado online, 26 de março de 2010.

[Urhahne, Kremer & Mayer 2010] D. Urhahne, K. Kremer & J. Mayer. Conceptions of the nature of science—are they general or context specific? *International Journal of Science and Mathematics Education*, (2010): 1-24, August 24, 2010.

[Vanderlinden 2007] D. W. Vanderlinden. Teaching the content and context of science: The effect of using historical narratives to teach the nature of science and science

content in an undergraduate introductory geology course. *Unpublished Doctoral Dissertation*, Iowa State University, Ames, IA, 2007.

[Vanin 1996] J. A. Vanin. *Alquimistas e Químicos: o passado, o presente e o futuro*. São Paulo: Moderna, 1996.

[Volkman & Eichinger 1999] M. J. Volkman & D. C. Eichinger. Habits of mind: Integrating the social and personal characteristics of doing science into the science classroom. *School Science and Mathematics*, v.99 (3), 1999.

[Wang & Schmidt 2001] H. A. Wang & W. H. Schmidt. History, Philosophy and Sociology of Science in Science Education: Results from the Third International Mathematics and Science Study. *Science & Education* 10: 51–70, 2001.

[Weinburgh 2003] M. Weinburgh. A leg (or three) to stand on. *Science and Children*, 40(6): 28–30, 2003.

[WAG 2008] Welsh Assembly Government. *Key Stages 2-4. Science in the National Curriculum for Wales*. 2008. Acessado online em 20/02/2011: [http://www.swanseagfl.gov.uk/science/Science_NCO_2008_WEB_\(E\).pdf](http://www.swanseagfl.gov.uk/science/Science_NCO_2008_WEB_(E).pdf)

[Windschitl 2004] M. Windschitl. Folk theories of "inquiry": How preservice teachers reproduce the discourse and practices of an atheoretical scientific method. *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 481-512, 2004.

[Zanetic 1989] J. Zanetic. Física Também é Cultura, *Tese de doutorado*, FEUSP, São Paulo. 1989.