

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E
MATEMÁTICA
MESTRADO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

DANIEL VICTOR TEIXEIRA JAPIASSÚ

**RELAÇÕES ENTRE PRINCÍPIOS DE CONSERVAÇÃO, LEIS DE SIMETRIA
E PRINCÍPIOS CAUSAIS PARA O ENSINO DE FÍSICA**

Maceió

2017

DANIEL VICTOR TEIXEIRA JAPIASSÚ

**RELAÇÕES ENTRE PRINCÍPIOS DE CONSERVAÇÃO, LEIS DE SIMETRIA
E PRINCÍPIOS CAUSAIS PARA O ENSINO DE FÍSICA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

Orientador: Prof. Dr. Jenner Barretto Bastos Filho

Maceió

2017

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central

Bibliotecária Responsável: Janaina Xisto de Barros Lima

J36r Japiassú, Daniel Victor Teixeira.
Relações entre princípios de conservação, leis de simetria e princípios causais para o ensino de física / Daniel Victor Teixeira Japiassú. – 2017.
131 f.: il.

Orientador: Jenner Barretto Bstos Filho.
Dissertação (mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Educação. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Maceió, 2017.

Bibliografia: f. 109-112.
Anexos: f. 113-131.

1. Ciências – Estudo e ensino. 2. Noether - Teorema. 3. Blog – Ensino de Ciências
4. Simetria. I. Título.

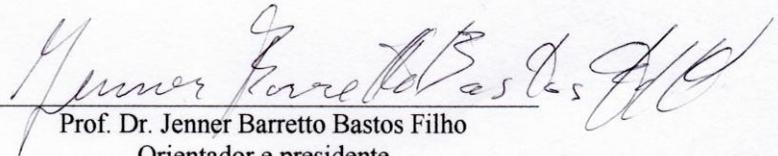
CDU: 372.853

DANIEL VICTOR TEIXEIRA JAPIASSÚ

**RELAÇÕES ENTRE PRINCÍPIOS DE CONSERVAÇÃO, LEIS DE SIMETRIA E
PRINCÍPIOS CAUSAIS PARA O ENSINO DE FÍSICA**

Dissertação apresentada à banca examinadora como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática – Subárea de Concentração “Ensino de Física”, pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática do Centro de Educação da Universidade Federal de Alagoas, aprovada em 31 de julho de 2017.

BANCA EXAMINADORA



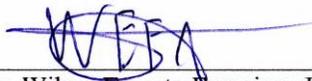
Prof. Dr. Jenner Barretto Bastos Filho
Orientador e presidente
(IF; PPGECIM/CEDU/UFAL)



Prof. Dr. Antonio José Ornellas Farias
(IF/UFAL)



Prof. Dr. Ivanderson Pereira da Silva
(Campus Arapiraca; PPGECIM/CEDU/UFAL)



Prof. Dr. Wilmo Ernesto Francisco Júnior
(Campus Arapiraca; PPGECIM/CEDU/UFAL)

“O significado das crises consiste exatamente no fato de que indicam que é chegada a ocasião para renovar os instrumentos.”

Thomas Kuhn

AGRADECIMENTOS

Num momento como este, posso pensar em muitas palavras, muitas pessoas, muitos lugares para agradecer. Primeiro agradecer a Deus pela vida e por todas as coisas que recebo de graça e nem sempre abro os olhos para perceber.

Devo muito à minha esposa Zabele Lais Lyra Mendonça, por todo amor, dedicação e paciência, por toda a força, o estímulo e a coragem que sempre ela me passou e que foram decisivos para me impedir de desistir nos momentos difíceis da jornada. Agradeço aos meus pais, Paulo Roberto Lopes Japiassú (Beto) e Maria Cristina Teixeira Japiassú (Cris), por todas as oportunidades que me deram de estudar, pelos ensinamentos morais que me tornaram quem sou hoje, por toda dedicação de nos dar o melhor possível para crescer. Agradeço à minha irmã Luana Andressa Teixeira Japiassú, por todo apoio e auxílio nos momentos de dúvidas.

Aos meus professores, que sempre se esforçam para ensinar da melhor forma. Ao professor Dr. Jenner Barretto Bastos Filho, meu orientador, por toda dedicação, todos os dias em que procurou me ensinar a importância da reflexão, o estímulo à leitura constante e à boa discussão. À professora Dr^a Anamelea de Campos Pinto, por me mostrar o rigor da pesquisa científica, os benefícios da dedicação e o sentido da metodologia. Ao professor Dr. Elton Casado Fireman, Coordenador do Programa de Pós-graduação em Ciências e Matemática da Universidade Federal de Alagoas (PPGECIM/UFAL), que com especial dedicação me fez refletir quanto à minha atuação em sala de aula a partir das inúmeras teorias de aprendizagem que foram de decisiva importância para melhorar, tanto quanto possível, a minha prática como professor. Ao professor Dr. Kléber Cavalcanti Serra, por me mostrar as maravilhas que podem ser feitas com o uso das tecnologias, bem como pela sua dedicação em mostrar os melhores caminhos. Ao professor Dr. Wilmo Ernesto Francisco Júnior pelos estímulos à leitura, o uso correto da linguagem e o bom debate em sala de aula. Ao professor Dr. Givaldo Oliveira dos Santos por dedicar seu

tempo à minha pesquisa e fornecer um excelente material de consulta para o meu trabalho.

Aos meus colegas de turma do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, que tantas e tantas vezes me deu forças para continuar, tiraram minhas dúvidas quanto aos elementos que a pesquisa precisa abraçar.

O meu muito obrigado!

RESUMO

O problema central de que trata esta investigação consistiu na exploração das relações que existem entre princípios causais, leis de simetria e princípios de conservação no que diz respeito às suas inserções no ensino de ciências em nível médio, notadamente no que concerne ao ensino de Física. O nosso objetivo aqui é o de construir um material educativo seguido de um produto educacional nos quais essas relações transpareçam com clareza. O produto educacional construído foi um Blog com foco na História e na Filosofia da Ciência para o Ensino de Física. Com essa finalidade, adotaremos neste trabalho elementos que compreendem: (1) a física, a história e a filosofia da ciência; (2) a teoria da aprendizagem centrada na aprendizagem significativa; (3) a ferramenta que consiste na transposição de um saber erudito para um saber ensinado e aprendido (transposição didática); (4) o próprio trabalho de campo consubstanciado pelas respostas aos questionários em relação aos quais foram submetidos à interpretação. Como referenciais teóricos adotados a fim de explorar as conexões entre as relações causais, as relações de simetria e as leis de conservação incorporaremos: (1) as concepções de causa em autores seminais como Aristóteles (384 a. C - 322 a. C), Descartes (1596 - 1650), Leibniz (1646 - 1716) e d'Alembert (1717 - 1783); (2) as concepções históricas que se constituíram em embriões da ideia de conservação da energia na antiguidade Heron (10 - 80) e Parmênides (530 a. C. - 460 a. C.), as concepções de Stevin (1548 - 1620), Galileu (1564 - 1642); as concepções após o estabelecimento da lei da conservação da energia no século XIX, como o extraordinário resultado do século XX constituído pelo teorema de Emmy Noether (1882 - 1935) que estabelece as relações íntimas entre leis de simetria e leis de conservação. Os questionários que foram analisados e que deram subsídios para os nossos resultados decorreram de uma aplicação realizada no período de outubro a novembro de 2016 para estudantes que cursavam a 1ª série do ensino médio na Escola Estadual Alberto Torres, localizada no bairro de Bebedouro no município de Maceió. Como resultado mais relevante de nossa pesquisa de aplicação dos questionários fechados e das discussões abertas em sala de aula e tendo em vista a finalidade de construir um material didático conectando causalidade, princípios de simetria e leis de conservação, elegemos o seguinte: os estudantes possuem em suas respectivas estruturas cognitivas, conceitos que embasam e permitem a compreensão dessas almejadas conexões.

Palavras-chaves: Princípios Causais, Princípios de Conservação, Leis de Simetria, Teorema Noether, Blog no Ensino de Ciências.

ABSTRACT

The central problem addressed by this dissertation is to explore the relationships that exist between causal principles, laws of symmetry and conservation principles regarding the teaching of sciences at the intermediate level, especially with regard to physics teaching. Our goal here is to construct an educational material followed by an educational product in which those relationships are clearly apparent. The educational product was a Blog focused on History and Philosophy of Science for Teaching Physics. To this end, we will adopt in this work elements that comprise: (1) physics, history and philosophy of science; (2) the theory of learning centered on meaningful learning; (3) in the tool that consists in the transposition of an erudite knowledge to a knowledge taught and learned (didactic transposition); (4) in the field work itself, based on the answers to the questionnaires in relation to which they were submitted to interpretation. As theoretical references adopted to explore the connections between causal relations, symmetry relations, and conservation laws, we will incorporate: (1) the conceptions of cause in seminal authors such as Aristotle (384 BC-322 BC), Descartes (1596-1650), Leibniz (1646-1716) and d'Alembert (1717-1783); (2) the historical conceptions that became the embryos of the idea of energy conservation in antiquity Heron (10-80) and Parmenides (530 BC - 460 BC), Stevin's conceptions (1548-1620) , Galileo (1564-1642); The conceptions after the establishment of the law of energy conservation in the nineteenth century, as the extraordinary result of the twentieth century constituted by Emmy Noether's theorem (1882-1935) which establishes the intimate relations between laws of symmetry and laws of conservation. The questionnaires that were analyzed and which gave subsidies for our results came from an application made in the period from October to November of 2016 for students who attended the 1st high school series at the Alberto Torres State School, located in the neighborhood of Bebedouro in the municipality of Maceió. As a more relevant result of our research on the application of closed questionnaires and open discussions in the classroom, and in view of the purpose of constructing a didactic material connecting causality, principles of symmetry and conservation laws, we have chosen the following: Their respective cognitive structures base concepts that allow the understanding of these longed connections.

Keywords: Causal Principles, Principles of Conservation, Laws of Symmetry, Noether Theorem.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO DE LITERATURA SOBRA A IMPORTÂNCIA DE SE ESTUDAR HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA	16
2.1 Para que História da Ciência? Argumentos Desfavoráveis e Favoráveis	16
2.2 O Ensino Para Aproximar as Pessoas dos Fenômenos	20
2.3 Como Colocar a História e Filosofia da Ciência na Escola?.....	22
2.4 Sugestões de metodologia para inserção da História e da Filosofia da Ciência no Ensino Médio.....	25
3. FUNDAMENTOS DO CONTEÚDO TEÓRICO PROPOSTO PARA SER INSERIDO NO ENSINO MÉDIO DE FÍSICA: PRINCÍPIOS CAUSAIS, PRINCÍPIOS DE CONSERVAÇÃO E LEIS DE SIMETRIA: ASPECTOS HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICOS.....	29
3.1 Ideias do “Algo” que impulsiona as coisas.....	29
3.2 Pensamentos Históricos Sobre Causa e Conservação.....	32
3.3 Polêmica Entre Leibniz e os Cartesianos: a <i>causa</i> dos movimentos.....	41
3.4 A Solução de d'Alembert: a <i>causa</i> positivista.....	44
3.5 Simetrias e Leis de Conservação.....	47
4. REFERENCIAL TEÓRICO UTILIZADO: A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA; TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA NO ENSINO DOS PRINCÍPIOS DE CONSERVAÇÃO E DAS LEIS DE SIMETRIA. E O USO DO BLOG NO ENSINO DE CIÊNCIAS COMO ESPAÇO DE INTERAÇÃO	56
4.1 Introdução	56
4.2 Características da Aprendizagem Significativa.....	57
4.3 Condições para que ocorra a aprendizagem significativa.....	60
4.4 Condições para Assimilar os Conceitos de Simetria e as Leis de Conservação	62
4.4 A Transposição Didática	67
4.5 Configuração da Transposição Didática	70
4.6 Aplicação da Transposição Didática nas Relações entre Leis de Simetria e Princípios de Conservação	73
5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	77
5.1 Uso do Blog no Ensino de Ciências.....	77
5.1.1 O que é um Blog?.....	77
5.1.2 Porque Usar os Blogs?.....	79

5.2 Metodologia	81
5.3 1ª Parte – Questionário de Introdução à Pesquisa e Apropriação de Subsunçores	83
5.4 Primeiro Momento, 2ª parte - Questionário Teórico para Verificação de Subsunçores	85
5.5 Segundo Momento - Leitura dos textos a partir do Blog	89
5.6 Terceiro Momento - debate em sala de aula.....	90
5.7 Quarto momento: aplicação do questionário teórico.....	91
6. RESULTADOS OBTIDOS	92
6.1 A Experiência Adquirida na Utilização do BLOG	92
6.2 Resultado do Questionário 1.....	93
6.3 Resultados Obtidos do Questionário 2.....	96
6.4 Debate em Sala de Aula.....	98
6.5 Análises dos Resultados do Questionário Teórico.....	102
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	106
REFERÊNCIAS	110
ANEXO 1 – TEXTOS APRESENTADOS AOS ESTUDANTES ATRAVÉS DO BLOG – PRODUTO EDUCACIONAL.....	114
Simetrias e Leis de Conservação	114
O Princípio de Conservação de Energia [Parte 1]	116
O Que São Simetrias?	119
ANEXO 2 – HERMENÊUTICA DO CONCEITO DE CAUSA E UMA POSSÍVEL PRÉ-HISTÓRIA DOS CONCEITOS DE ENERGIA E DE SUA CONSERVAÇÃO.....	122

1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que existem conceitos que são difíceis de serem inseridos no Ensino Médio (EM) e, quando inseridos, o são de forma superficial e, até, de certo modo, pouco abrangente. Dos conceitos importantes que são difíceis de serem inseridos, e quando os são, isso ocorre de forma fragmentada, destacam-se aqueles que envolvem as relações entre os Princípios Causais, os Princípios de Conservação e as Leis de Simetria. É indicativo aqui proceder a uma mudança quanto às estratégias que são utilizadas no Ensino de Física (EF), bem como a intenção de abordar conceitos que ajudem os estudantes a refletir de forma mais crítica e menos objetiva durante a possível apropriação dos fenômenos.

Já passamos por muitos momentos históricos de transformação na educação do nosso país. Os métodos de se ensinar foram, e ainda são, altamente desenvolvidos para os objetivos de sempre: aperfeiçoar o aprendizado e alcançar o ensino.

Muitos pesquisadores já se perguntaram: qual a melhor forma de se ensinar Ciência? Muitos deles, vendo esta dificuldade, se propuseram a adotar como estratégia, a introdução de elementos da História e da Filosofia da Ciência no Ensino Médio. Isto, para auxiliar tanto a prática docente como para estimular o estudante a buscar aprender mais.

Os expedientes mais comuns e mais utilizados na prática docente, no âmbito do Ensino de Física, são as famosas aplicações de fórmulas, estudadas e exercitadas mecanicamente pelos alunos, sem que isso seja, necessariamente, acompanhado de compreensão quanto ao seu significado bem como ao seu contexto, incluindo aí a validade do domínio de aplicação, ou seja, em que casos e/ou em que situações os conceitos são válidos para explicar os respectivos fenômenos. Quando do convite a uma reflexão sobre os conteúdos, os fenômenos, bem como as teorias explicativas subjacentes a esses mesmos conteúdos, deparamo-nos com um sério obstáculo a ser superado: os alunos não conseguem entender os conceitos e não conseguem, por isso, visualizá-los naturalmente no cotidiano. Entendemos que uma das

diretrizes mais relevantes para se ensinar Física no EM deveria ser, antes de qualquer coisa, a de adotar uma atitude que encoraje no indivíduo a interação com o ambiente que o rodeia de uma forma que ele compreenda melhor este mesmo ambiente.

A Física é vista como um desafio para os estudantes, um “bicho de sete cabeças”. Um grande desafio para o professor seria o de contribuir para modificar essa realidade. Várias estratégias têm sido utilizadas, e muitas delas bem-sucedidas, como a aplicação de experimentos didáticos para visualização dos fenômenos – podemos ver isto no trabalho/estudo de Giordan, (1999). Também temos a utilização de ambientes virtuais de aprendizagem, método este que se mostrou bastante eficaz no ensino de ciências (FIOLHAIS; TRINDADE, 2003).

Essas estratégias são eficazes e mostraram como podem auxiliar o ensino de Ciências. Talvez a dificuldade para que elas sejam utilizadas com mais frequência pelos professores esteja nos problemas encontrados para preparar o material necessário para sua aplicação. Para que a realização de experimentos seja sistemática, é necessário um laboratório organizado, seja com um aparato de alto ou baixo custo. Para utilizar os ambientes virtuais de aprendizagem, o professor precisa de um tempo para estudar o objeto, testar e procurar as associações com o conteúdo. Isso tudo pode se tornar complicado de praticar por conta do tempo que os docentes não dispõem, dado o volume de trabalho que se constitui em pesado encargo para esses profissionais, não lhes deixando tempo livre para quaisquer atividades extra de melhoramento de sua própria prática educacional.

A História da Ciência pode ser mais uma estratégia¹ para ser utilizada pelos docentes nas aulas de Física. É importante incorporarmos vários modelos didáticos na prática docente. O complexo ambiente escolar exige dos docentes uma gama de meios para aplicar em sala de aula. Muitos deles darão certo numa turma e não darão em outras.

¹ Ressaltamos que a História e a Filosofia da Ciência não representam, necessariamente, uma estratégia de ensino. Aqui usamos esta nomenclatura, pois percebemos que, como não é possível ensinar História e Filosofia da Ciência no Ensino Médio como uma disciplina específica, inserimos contextos históricos e expedientes desta importante área do nosso saber como conteúdos subjacentes aqueles que são vistos obrigatoriamente.

Todas essas discussões aparecem da necessidade de aprender a ensinar Física. É claro que não basta saber (ROBILOTTA, 1988). É necessário buscar formas de demonstrar e fazer os estudantes aprenderem e, com este aprendizado, fazê-los interagir com o meio que o cerca. É necessário também encorajá-los a apreciar a beleza da atividade científica e a vivenciar o seu aspecto lúdico que enaltece o espírito humano e ameniza o trabalho duro.

No presente trabalho demonstramos a necessidade e a importância de se estudar História e Filosofia da Ciência, inserindo este estudo no Ensino de Física no Ensino Médio. Na segunda seção apresentamos alguns argumentos desfavoráveis a esta linha, vinda de pesquisadores que fazem a Ciência Natural conhecida como "Ciência Dura". Normalmente, estes cientistas desprezam o enfoque histórico e filosófico, colocando-o num patamar secundário de importância. Um dos motivos deste desprezo é o de que os "cientistas duros" não precisariam conhecer como um conceito foi desenvolvido historicamente; basta-lhe conhecer o conceito e aplicá-lo quando for necessário. Neste ínterim, apresentamos argumentos favoráveis a esta ideia. Muitos desses argumentos nós consideramos válidos por se alinhar com nossa visão de Ensino de Ciências. Acreditamos que o Ensino de Ciências necessita estimular a reflexão de certo conceito e o que ele provoca dentro de um berço cultural. Além disso, a inserção da História e da Filosofia da Ciência no contexto do Ensino de Ciências estimula o uso de polêmicas, ou traz à luz polêmicas que ocorreram durante o desenvolvimento de certos conceitos. Seu uso também recria os processos culturais que influenciaram o desenvolvimento de conceitos, as implicações sociais que estes conceitos acarretavam e, suas consequências socioculturais na atualidade.

Uma preocupação que tivemos foi de como poderíamos introduzir a História e Filosofia da Ciência no Ensino Médio. Então procuramos trabalhos anteriores de pesquisadores que já fizeram isto. Vimos Carvalho e Sasseron (2010), Martins (2007), Hülsendeger (2000), Neves (1998). Todos estes pesquisadores buscaram, de alguma forma, entender e/ou inserir a História e a Filosofia da Ciência no Ensino.

Continuando o trabalho, na terceira seção, demonstramos as relações entre os Princípios Causais, Princípios de Conservação e Leis de Simetria utilizando a ideia de Energia como elemento unificador. Além disso, mostramos alguns significados de “Causa”, segundo Aristóteles, Descartes, Leibniz e d’Alembert. Debates sobre a evolução do conceito de energia (embrião dos Princípios de Conservação), da Antiguidade até os conceitos mais modernos. Passamos pelo desenvolvimento histórico e filosófico a respeito das Conservações, citando alguns filósofos gregos, reflexões de cientistas da era moderna, até chegarmos às concepções atuais.

Apresentamos um exemplo de polêmica que ajuda a aclarar conceitos. O exemplo disto é a polêmica entre Leibniz e os Cartesianos, que constitui um belo debate sobre o que seria a verdadeira medida da força da natureza. Além disto, apresentamos uma suposta solução apresentada por d’Alembert para o problema levantado pela polêmica. Encerramos esta seção apresentando as relações entre as Leis Simetrias e os Princípios de Conservação. Buscando, inicialmente um conceito intuitivo de Simetria, até chegar aos conceitos mais formais apresentados por Feynman; Leighton; Sands (2008) e Martins (1999). Além disso, apresentamos o Teorema de Noether, um dos principais conceitos do nosso trabalho.

Na quarta seção apresentamos a teoria de aprendizagem focada na Aprendizagem Significativa de David Ausubel aplicada ao ensino das relações entre as Leis de Simetria e os Princípios de Conservação. Nela, estima-se que o principal fator que influencia o aprendizado é aquilo que o aprendiz já sabe de antemão, sabendo disto, basta ensiná-lo de acordo.

Para poder utilizar os conceitos sobre os Princípios Causais, Princípios de Conservação e a relação com as Leis de Simetria, numa perspectiva que se adeque aos estudantes do EM, utilizamos os expedientes da Transposição Didática de Chevallard. Nela, o saber produzido pelos cientistas - Saber Sábio - se transforma naquele que está contido nos programas e livros didáticos - Saber a Ensinar - e, principalmente, naquele que posteriormente aparece nas salas de aula - Saber Ensinado. Escolhemos esta teoria, pois não é fácil encontrar um material para se utilizar no Ensino Médio

que esteja dentro de um nível que seja compreensível para o público que receberá as informações.

Na quinta seção argumentamos desta vez, o que fez acreditar no uso do Blog como sendo o instrumento para aproximar o conteúdo que gostaríamos de mostrar aos estudantes. O Blog é simples, prático, interessante, tem um acesso fácil de todos com acesso a Internet. Nele podemos criar um número muito grande de instrumentos, além dos textos. A interatividade entre o blogueiro e seus leitores faz com que o contato entre o professor blogueiro seja ainda mais fácil.

Finalmente, na sexta seção, encerramos o trabalho mostrando a metodologia utilizada e relatando como foi a nossa experiência em inserir a História e a Filosofia da Ciência no Ensino Médio através de um Blog criado para este fim.

2. REVISÃO DE LITERATURA: A IMPORTÂNCIA DE SE ESTUDAR HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA

Nesta seção apresentaremos nossa revisão de literatura a partir de argumentos que são favoráveis e outros argumentos que são desfavoráveis para se inserir (no caso dos professores) e aprender (no caso dos estudantes) a História e a Filosofia da Ciência. No caso dos argumentos desfavoráveis, podemos indicar o fato de que a História da Ciência faz com que os estudantes aprendam conceitos que não são mais usados, além de enfraquecer as convicções vigentes. Como argumentos favoráveis, indicamos, por exemplo, o fato de que o conhecimento científico deve ser acompanhado de reflexão crítica e, além disso, a questão das polêmicas que ajudam a aclarar conceitos.

Também analisamos uma estratégia de como poderíamos inserir a História e a Filosofia da Ciência no EM, com o trabalho de Carvalho e Sasseron (2010), no qual as autoras utilizam a História da Ciência para ensinar conceitos da Termodinâmica, num primeiro exemplo, e aspectos do trabalho científico, num segundo exemplo.

2.1 Para que História da Ciência? Argumentos Desfavoráveis e Favoráveis

A Ciência Natural, por parte daqueles que fazem e produzem-na, está cheia de recursos práticos e objetivos. Estes recursos podem sugerir que os fenômenos lógicos (e não cronológicos)² sejam importantes, e suficientes, para se entender tudo o que se precisa na produção científica. A História da Ciência é, desta forma, relegada a um segundo plano de interesse por aqueles que produzem a Ciência (PEDUZZI, 2011). Este problema colocado por Peduzzi realmente constitui-se em um entrave institucional, pois se a primazia da dimensão apenas lógica sobre a dimensão cronológica for adotada, então isso significaria que os processos, as controvérsias, as marchas e as contramarchas do desenvolvimento científico não deveriam interessar para a formação educacional dos futuros cientistas. Em outras palavras, e usando uma terminologia de Reichenbach, poder-se-ia dizer que a formação de futuros

² Esclarece-se aqui que não estamos tratando dos conceitos presentes da psicanálise referentes aos que é lógico e cronológico.

cientistas interessaria apenas o contexto da justificacão e não o contexto da descoberta.

O objetivo da História da Ciência seria o de "estabelecer uma imagem apropriada para um público de não especialistas e para agências de financiamento, propiciar um importante registro de erros passados e de ideias equivocadas e colocar a ciência em uma perspectiva cultural." (PEDUZZI, 2011, p. 11). Esta visão coloca a 'missão' da História da Ciência num ambiente perigoso: aquele ao qual ela seria dispensável para aqueles que trabalham com Ciência e que ela serviria, apenas, para apresentar a Ciência para o público leigo.

A inserco da História da Ciência teria como resultados: enfraquecer as convices vigentes, apresentar a ideia do cientista falível, o estudante entrar em contato com formas divergentes de olhar certo problema e com conceitos que já foram ultrapassados. Isto poderia atrapalhar sua formao. Se já se sabe de antemão que aprender Ciências no Ensino Médio não  tarefa simples, então o que dizer sobre aprender conceitos que não são mais utilizados?

Podemos fazer uma síntese dos argumentos que podem ser articulados para não se utilizar História da Ciência no Ensino Médio. Enfatizar conceitos do passado traz a ideia de que o passado foi simples e o presente complexo, pois o primordial a ser aprendido são os conhecimentos presentes. Conceitos históricos já superados são de difícil compreensão e de pouco interesse para o aluno. A utilizao de registros históricos no ensino tem se tornado um material de má qualidade para este fim. Vincular o desenvolvimento dos conceitos a concepes metafsicas pode enfraquecer as convices do estudante para uma ciência empirista. A história dos conceitos mostra a evoluo das concepes, bem como o esforço para alcançar seus desenvolvimentos; ao mesmo tempo, elimina a ideia do cientista infalível. A Física, como  uma Ciência objetiva, dispensaria segundo tal ponto de vista, concepes históricas, filosóficas e subjetivas. No entanto, a História da Ciência  complexa e vai além do interesse dos físicos.

A partir de agora mostraremos argumentos favoráveis à inserção da História da Ciência no Ensino Médio. Num estudo mais profundo sobre a própria função da escola, podemos desvelar como a inserção da História e da Filosofia da Ciência podem ajudar em alguns dos objetivos do Ensino de Física (EF). Em Carvalho e Sasseron podemos ver que "a escola precisa também ensinar os alunos a perceber os fenômenos da natureza e a examiná-los na busca por explicações" (CARVALHO; SASSERON, 2010, p. 107). Nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), elaborados pelo Ministério da Educação, podemos ver que um dos elementos principais para o EF é "a característica fundamental da ciência: a sua *dimensão investigativa*, dificilmente trabalhada na escola nem solicitada nas provas vestibulares" (BRASIL, 2006, p. 45).

Esta dura crítica, a nosso ver, feita aos professores e aos que produzem o EF no Brasil se deve ao que, classicamente, se convencionou chamar de ensino de "macetes" ou "memorização de fórmulas". O professor explanava o conteúdo e tomava nota no quadro, mostrava a fórmula e dava alguma dica para memorizá-la e, a partir daí, os estudantes resolviam exercícios mecanicamente, sem se preocupar com a essência do fenômeno físico envolvido. Acreditamos que esta cultura deveria ser modificada. A introdução de aulas de laboratório, laboratórios virtuais, jogos operatórios, e outras estratégias devem ajudar, paulatinamente, a mudar esta realidade.

Somos favoráveis à introdução da História e Filosofia da Ciência na escola por acreditarmos que esta é mais uma estratégia que pode ajudar neste objetivo, o de mudar a realidade do ensino de "macetes". Aqui vamos apresentar alguns argumentos que corroboram a nossa linha de pensamento.

Em Peduzzi vemos que

a menção esporádica à história nos manuais científicos, em breves notas, na exaltação descontextualizada de heróis de uma época anterior, etc., introduz de imediato nos paradigmas aceitos pela ciência, mas torna invisíveis as revoluções científicas. (PEDUZZI, 2011, p. 13)

Acreditamos que certas “polêmicas” ajudem a aprimorar o aprendizado de certos conceitos. Como polêmicas, entendemos as revoluções científicas tratadas por Thomas Kuhn àquelas que são necessárias no desenvolvimento das Ciências. Quando um conceito não responde mais a certos problemas, é necessário um novo conceito para substituir o anterior. Mesmo assim, o antigo conceito não perderá, totalmente, sua importância histórica e filosófica.

O ensino de Ciências deve conter reflexões críticas. O estudante pode e deve saber questionar determinados fenômenos, casos que envolvam sua realidade, seus contextos sociais e pessoais. Desvendar os “segredos” que estão por trás destes fenômenos é função primordial do ensino de Ciências. Entender como esses “segredos” foram desenvolvidos dará ao estudante a perspicácia de ousar, dar a sua própria visão a respeito do fenômeno estudado e apresentar conceitos que lhe são claros. Cabe ao professor indicar o caminho para que os conceitos que sejam desenvolvidos pelos estudantes estejam corretos. Por isso dizemos que

Preâmbulos históricos incorporados acriticamente aos conteúdos de um ensino que se estrutura e se desenvolve a partir dos resultados da ciência e que priorizam o empírico em detrimento da razão empobrecem e desqualificam esse ensino. (PEDUZZI, 2011, p. 14)

Podemos desvelar conceitos sobre este tema a partir de pareceres emitidos por filósofos da ciência que nos esclarecem sobre a sua importância. Popper é um desses defensores; ele nos diz

o conhecimento não parte do nada - de uma tábua rasa - como também não nasce da observação; seu progresso consiste, fundamentalmente, na modificação do conhecimento precedente (POPPER, 1982, p. 56).

Isto nos sugere que a doutrina empirista exacerbada que apenas considera a observação empírica ingênua e que não dá o devido e merecido valor às conjecturas e às especulações, doutrina empirista exacerbada essa que é muitas vezes defendida nas aulas de Ciências/Física e nos livros

didáticos, empobrece o aprendizado. Coloca o cientista num patamar que ele não está: como se suas ideias, seu conhecimento, sua “genialidade”, tudo isto tivesse partido de um “nada inexplicável”. Sabemos que, na verdade, qualquer conhecimento é progressivo e desenvolvido durante sua vida e a forma com a qual ele compreende o mundo influencia neste desenvolvimento.

Um argumento que levantamos e defendemos é o de Peduzzi quando diz que "o estudo da gênese de conceitos e teorias enseja ao estudante o envolvimento com uma ciência mais realista, dinâmica, criativa, em constante transformação." (PEDUZZI, 2011, p. 15) Ora, não é assim o desenvolvimento histórico? A história da humanidade possui essas características, o mundo nunca foi constante, estável, imutável; o mundo sempre sofreu transformações sociais, políticas, culturais e linguísticas; os povos estimularam emigrações, dominaram outros povos, acabaram com culturas e transformaram outras.

2.2 O Ensino Para Aproximar as Pessoas dos Fenômenos

É notória a dificuldade de ensinar e aprender Física no Ensino Médio (EM). Robilotta (1988), Bizzo (1992) e Neves (1998) foram alguns dos que perceberam essa dificuldade e se propuseram a investigar como a introdução da História da Ciência na prática docente dos professores de ciências naturais do EM poderia auxiliar na aprendizagem dessas Ciências.

As estratégias mais comuns na prática docente são as famosas aplicações de fórmulas, estudadas e exercitadas mecanicamente pelos alunos, sem que isso seja necessariamente acompanhado de compreensão quanto ao seu significado bem como ao seu contexto. Incluindo-se, aí, a validade do domínio de aplicação, ou seja, nos casos e/ou situações em que os conceitos são válidos para explicar os fenômenos.

Um dos desafios para o professor de Física é o de modificar a relação que existe entre a própria Física e os estudantes. Dirimir o problema dos alunos acreditarem que esta matéria seria um "bicho de 7 cabeças". Para isto, poder-se-ia utilizar de experimentos didáticos, exemplos do cotidiano, estimular a leitura e a escrita, inserir plataformas de ensino, vídeos, jogos

operatórios; dentre outras estratégias de ensino, que possam tornar o ambiente da sala de aula mais dinâmico.

A escola precisa, também, ensinar os alunos a perceber os fenômenos da natureza, a examiná-los na busca por explicações, em como eles podem ajudar a tratar melhor o ambiente que o cerca (CARVALHO; SASSERON, 2010). O desenvolvimento da Ciência, no seu íntimo, trata desta relação entre o ser e o ambiente. Toda mudança conceitual, toda revolução científica, só aconteceu porque o homem (ser humano) teve a intenção de entender o ambiente. Quando conceitos antigos não respondiam mais a certos questionamentos, se fez necessário modificar o conceito original.

Este processo, estabelecido por Kuhn como sendo a forma por meio do qual ocorrem as revoluções na Ciência, de forma geral, ajuda a entender o próprio processo de estabelecer as leis naturais. Sabendo que tais leis não mudam, e sim o nosso modo de conceituá-las que se torna mais claro na medida em que avançamos com os detalhes e com o nível de complexidade.

A História e a Filosofia da Ciência são expedientes que nos ajudam a inserir polêmicas e controvérsias. Defendemos que estas estratégias nos ajudam a aclarar conceitos. Mais adiante vamos descrever, por exemplo, como o conceito de calor, na época do calórico (em meados do século XIX) não respondia mais a certos problemas. Como hoje, ainda confunde bastante os estudantes, nos primeiros contados com o tema, sem saberem diferenciar calor de temperatura.

A necessidade de contextualização no ensino é clara, através dos PCN com a ajuda da História da Ciência, como podemos ver:

O uso da *história da ciência* para enriquecer o ensino de Física e tornar mais interessante seu aprendizado, aproximando os aspectos científicos dos acontecimentos históricos, possibilita a visão da ciência como uma construção humana. (BRASIL, 2006, p. 64)

Podemos perceber que esta preocupação e o interesse de introduzir a História da Ciência no ensino vêm das mais diversas esferas. O estudante ainda vive num estado de alienação quanto ao que se aprende. Não se aprende apenas pelo bem de aprender. A falta de articulação e a linguagem

divergente entre professor e aluno atrapalham o desenrolar do ensino. Quando se transforma esta linguagem em algo que adentra os conceitos observáveis, quando estes conceitos observáveis fazem parte da realidade cultural do aprendiz, então o estudante passa a perceber as coisas ao seu redor, desveladas nas mais singelas afeições da natureza.

A ideia da formação de um cidadão crítico é importante. A introdução dos conceitos de História da Ciência no ensino ajudaria na construção de uma concepção adequada e pertinente acerca da Natureza da Ciência. Esta consequência do estudo da História da Ciência ajudaria na formação de um cidadão crítico, como dito acima, inclusive no que concerne à sua entrada nos debates técnico-científicos que, por ventura, poderiam ser apresentados a ele (SILVA OLIVEIRA et al, 2012).

2.3 Como Colocar a História e Filosofia da Ciência na Escola?

Para responder esta pergunta, recorreremos a um trabalho feito por Carvalho e Sasseron (2010). Elas argumentam que não é possível promover a "enculturação científica" entre os estudantes se usarmos apenas atividades de História e Filosofia das Ciências. Esta mudança de pensamento deve ocorrer a partir da própria escola. Ou seja, introduções esporádicas envolvendo História e Filosofia da Ciência não irão dirimir esta falta; é necessário que a comunidade escolar se convença desta necessidade, para que as atividades se transformem em estruturas dentro do currículo escolar.

é necessário que estas (atividades) estejam inseridas em sequências de ensino que permitam o trabalho em sala de aula levando em conta os conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais. Defendemos, pois, o uso de outras atividades de orientação construtivista, tais como demonstrações, laboratórios investigativos e resoluções de problemas abertos. (CARVALHO; SASSERON, 2010, p. 113)

Podemos dizer que a História e a Filosofia da Ciência devem ser utilizadas, dentro do currículo, como mais uma estratégia de ensino. Entendemos que durante o desenvolvimento dos conteúdos, lacunas começam a aparecer a respeito da construção de conceitos. O uso de laboratórios investigativos, demonstrações, resolução de problemas abertos são altamente recomendáveis; as próprias atividades de História e de Filosofia da Ciência

podem (e devem) ser utilizadas para preencher essas lacunas. As aulas expositivas, com demonstração de conceitos e resolução de exemplos, apenas aumentariam estas lacunas.

Nas sequências de ensino onde o objetivo é a construção do conhecimento pelos alunos, é necessário respeitar as ideias deles. O que indica que o professor deve sempre se lembrar de sua função em sala de aula: um "mediador entre as duas culturas e, portanto, com a responsabilidade de ajudar seus alunos a transpor as fronteiras entre a cultura cotidiana e a científica" (CARVALHO; SASSERON, 2010, p. 113).

É importante saber se os alunos estão prontos para aprender e resolver os problemas que lhe são impostos. Se eles tem maturidade intelectual para aprender determinados conceitos. Os estudantes, ao receberem certa informação, processam-na, criando a sua própria visão daquilo que lhe é ensinado. Eles elaboram suas próprias questões, porém, devemos saber que elas não são, necessariamente, científicas. É comum, em sala de aula, infelizmente, alunos que deixam de elaborar questões científicas e, simplesmente, deixam de questionar. Neste ponto, é imprescindível estimular que o estudante não apenas responda, mas, também, seja questionador - caso as questões não sejam científicas, o professor tem o papel de esclarecer os campos de atuação da Ciência, animando-o a questionar sempre. Estes pontos iniciais são, o que Carvalho e Sasseron argumentam como sendo, **as condições de implementação das atividades de História e Filosofia da Ciência na escola.**

As autoras apresentam a necessidade de prever três situações de aprendizagem que são necessárias para a inserção das atividades de História e Filosofia da Ciência: inicialmente uma leitura individual, na qual o estudante dialoga com o texto. Isto pode ocorrer na sala de aula ou como trabalho para casa.

Para a retomada do texto, organizam-se grupos de discussão entre os alunos, onde eles podem apresentar suas ideias gerais do texto lido - sendo esta discussão mais aberta entre seus pares. Assim eles podem refutar ou aceitar as ideias apresentadas pelos colegas. Isto representa "o início da

aprendizagem de uma importante habilidade científica: a argumentação com base em fatos retirados de textos teóricos" (CARVALHO; SASSERON, 2010, p. 114).

Após a discussão em grupo, os grupos se desfazem e se organizam em um grande grupo, tendo como planejamento uma interação professor-turma e não professor-grupo. Desta forma, aqueles alunos que tiveram suas ideias refutadas pelos colegas nos grupos poderão defendê-las para o professor. Este deve interagir e sistematizar as argumentações, buscando converter a linguagem cotidiana para a linguagem científica.

A última situação prevista é, também, muito importante para o estímulo da enculturação científica: a escrita. Devemos ensinar a escrever cientificamente. Sabemos que a escrita é um instrumento de aprendizagem que exige do estudante muito esforço, por ser centrado e convergente. As argumentações orais são mais fáceis por serem mais flexíveis, já que as ideias são exploradas coletivamente. A escrita se torna uma atividade que complementa as argumentações realizadas em sala de aula. Ambas - argumentação e escrita - são fundamentais para um ensino de Ciências que procure colocar nos alunos as principais habilidades do mundo das Ciências.

Neste íterim, nos apresentamos dois exemplos de atividades já testadas no ensino de Física em nível médio. Os resultados destes trabalhos levaram as autoras a defender uma tese que também consideramos pertinente dentro do nosso trabalho:

Se as atividades (os textos escolhidos) abrangerem pelo menos alguns dos pontos entre os valores internos e externos das Ciências, e se as aulas forem dadas obedecendo aos pressupostos metodológicos apresentados acima, elas proporcionarão aos alunos discussões sobre o que é Ciência e como o conhecimento científico é produzido (CARVALHO; SASSERON, 2010, p. 115).

No próximo tópico vamos descrever a metodologia que as pesquisadoras usaram em suas pesquisas. No primeiro, elas usaram um texto original de um cientista, no segundo usaram um texto retratando um episódio histórico-científico.

2.4 Sugestões de metodologia para inserção da História e da Filosofia da Ciência no Ensino Médio

Como primeira estratégia, vamos destacar o uso de um texto original de um cientista apresentado como material de consulta para uma turma. No caso em questão, era uma turma que estava estudando a respeito do calor. O tema do texto foi sobre Termodinâmica a partir de um texto original de Rumford (traduzido para o português), os alunos puderam acompanhar o desenrolar do cientista em sua experiência com a perfuração de canhões. Trazendo à baila suas dúvidas sobre a natureza do calor.

Num texto deste tipo, é possível observar a construção histórica do conceito que está sendo aprendido, expondo os problemas que geraram crises em relação ao conceito da época - ou seja, aquele conceito que não responde mais aos problemas que são colocados para ele. No exemplo do texto: o conceito de calor.

No trabalho investigativo de Carvalho e Sasseron, podemos perceber que os estudantes, ao entrarem em contato com os textos históricos, descobrem algumas etapas pelas quais o cientista passou, lembrando-se do Método Científico que hoje é utilizado. Quando Rumford percebe que o Calor não é uma substância, isto se torna um problema, pois ele se deparou com um problema em relação ao qual, a concepção de calor enquanto substância, não respondia mais a fenômenos observados.

Neste momento, percebemos a importância das crises e controvérsias que cercavam Rumford. De uma maneira geral, elas ajudam a desenvolver ainda mais o campo de conhecimento da Ciência. É a clara ideia de Kuhn, para ocorrer uma Revolução Científica - assim colocada por ele - é necessário que um paradigma não explique mais a existência de certos fenômenos, ou mais geralmente, a existência de um conjunto de fenômenos.

Um das nossas defesas é a inserção de polêmicas e controvérsias no ensino de Ciências. Neste trabalho que verificamos, notamos a presença de "fortes evidências de que eles perceberam as crises e controvérsias que

cercavam Rumford durante a proposição de suas ideias." (CARVALHO; SASSERON, 2010, p. 117)

Essa percepção por parte dos alunos nos permite dizer que eles notaram uma característica elementar da Ciência: a de que ela é um conhecimento aberto, flexível, sujeito a reformulações e mudanças. O contato com o texto original possibilitou um entendimento de como o cientista vivencia a própria polêmica.

Durante um trecho do trabalho, percebemos que os estudantes participantes da pesquisa de Carvalho e Sasseron empreendem duas características importantes do trabalho científico: (1) a problematização, colocada para eles e por eles através da controvérsia entre o conceito de calor conhecido pelo cientista e o problema que ele se deparou sem resposta coerente se tivesse usado o conceito que ele conhecia; e (2) a experimentação, processo pelo qual o cientista passou a verificar suas hipóteses e definir um novo conceito de calor para explicar o problema atual.

Ao se utilizar de um texto original no ensino de Ciências, através do trabalho das autoras, notamos que os alunos "tiveram a oportunidade de acompanhar e discutir um conceito científico levando em consideração não apenas o saber, mas também a construção humana" (CARVALHO; SASSERON, 2010, p.120). Esta é, sem dúvidas, uma das nossas grandes preocupações: aproximar o saber científico da condição humana retirando a imagem do cientista gênio e inalcançável.

Agora vamos apresentar um segundo exemplo utilizado pelas autoras. Nele, elas se utilizaram de um texto retratando o aperfeiçoamento da luneta de Galileu Galilei, no século XVII. O texto, neste caso, não é um escrito original do cientista, mas um diálogo recriado por Stilman Drake, que fora testemunhado por contemporâneos imaginários de Galileu.

Neste caso, os alunos se apropriam de uma divergência entre o que seria um conhecimento científico e um conhecimento técnico. No caso, Galileu se utilizava de lentes, mas não estava preocupado em explicar como elas funcionavam - como elas aumentam o tamanho da imagem -, mas sim em fazê-

las funcionar melhor. Neste caso ele verificou que polindo as lentes elas mostrariam imagens mais nítidas, que é um trabalho técnico.

Apesar disto, percebemos que características do trabalho científico são, mais uma vez, notadas pelos estudantes. As hipóteses e testes estão presentes em mais um texto histórico. Um elemento importante, notado pelos estudantes, é "a evolução dos saberes científicos deflagrada por crises, neste caso, geradas pela insuficiência do conhecimento que já se possui." (CARVALHO; SASSERON, 2010, p. 122)

Vemos nestes trabalhos as falas dos alunos e notamos uma clara percepção de que em alguns momentos a Ciência, ou os conhecimentos científicos, podem dar origem a Tecnologia. Em outros momentos, a Tecnologia proporciona que sejam construídos novos saberes científicos.

Este fato é digno de destaque pois "é a abordagem de que existe uma pluralidade metodológica na proposição de saberes sobre o mundo natural e que, portanto, a Ciência não é construída por meio de um método científico único e infalível." (CARVALHO; SASSERON, 2010, p. 123)

Mais adiante em seu trabalho, as autoras destacam a percepção dos estudantes para alguns processos externos do trabalho científico: as implicações sociais ligadas ao desenvolvimento científico e tecnológico. Percebem isto por ocasião das falas dos estudantes que citam, por exemplo, que Galileu queria aperfeiçoar a luneta "Por causa das batalhas." e que "Ele dobrou o salário."

Esta ideia do que impulsiona o cientista, seja para melhorar o desempenho em batalhas, seja para aumentar seu salário, ou pela sua honra; dá ao mesmo uma ideia mais humanizada. Ele possui problemas cotidianos, precisa pagar suas contas, comprar comida e, isto, sem dúvida, também influencia seu trabalho.

Por fim, as autoras destacam outra importante percepção dos estudantes na construção de uma visão mais adequada da Ciência: a influência que um novo conhecimento pode ter na sociedade. Sem dúvida, esse é um dos aspectos do desenvolvimento científico que deve ser abordado e valorizado em

sala de aula. Por fim, corroboramos que a Ciência é mais uma construção humana, logo, os aspectos históricos, sociais, políticos e culturais influenciam em seu desenvolvimento.

As estratégias (tratadas como estratégias metodológicas) descritas nesta seção nos ajudam a estabelecer uma forma de como podemos abordar os temas que veremos no próximo capítulo. É lá que faremos uma descrição mais detalhada do tema que queremos inserir no EM, seus aspectos Históricos, Filosóficos, bem como algumas de suas relações com o cotidiano. Estas observações são importantes para que possamos entender que metodologias podem ser concebidas, antes, durante e depois de inserir estas novas estratégias no EM.

3. FUNDAMENTOS DO CONTEÚDO TEÓRICO PROPOSTO PARA SER INSERIDO NO ENSINO MÉDIO DE FÍSICA: PRINCÍPIOS CAUSAIS, PRINCÍPIOS DE CONSERVAÇÃO E LEIS DE SIMETRIA: ASPECTOS HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICOS.

Nesta seção apresento ideias importantes sobre o desenvolvimento histórico da ideia dos Princípios de Conservação através do embrião da ideia de Energia e da “causa” dos movimentos.

Sobre os Princípios de Conservação, colocamos aqui ideias de seminais pensadores como Parmênides, Heráclito, Heron, Stevin e Galileu. A respeito de Causa, apresentamos as concepções de Aristóteles sobre Causa Final, Causa Material, Causa Eficiente e Causa Formal.

Buscamos empreender um entendimento sobre a polêmica entre Leibniz e os Cartesianos a respeito da causa necessária para levar um corpo de massa m até uma altura h . Além disso, apresentamos uma suposta solução apresentada por d’Alembert para a polêmica e mostramos a ideia positivista de causa.

Por fim fazemos uma relação entre os Princípios de Conservação e as Leis de Simetria, apresentando o Teorema Noether, de Emmy Noether, seminal pesquisadora da área da matemática.

3.1 Ideias do “Algo” que impulsiona as coisas

O que seria do nosso mundo sem os conhecimentos que temos a respeito da Energia e de suas diversas modalidades? Crer que alguém possa viver sem uma fonte de calor para cozinhar é algo impensável - apesar de ainda termos comunidades que vivam desta forma. Uma casa na Europa sem aquecedor, ou um escritório no centro de uma cidade tropical sem ar condicionado; como seria nossa vida hoje sem o uso do que chamamos de Energia? O desenvolvimento tecnológico fez com que ficássemos dependentes destas maravilhosas invenções do ser humano. Isso é tão significativo que uma escola ou universidade imediatamente suspende as aulas caso o fornecimento

de eletricidade seja interrompido por algum motivo (TEIXEIRA JAPIASSÚ, 2013). Da mesma forma acontece em empresas que são condicionadas ao uso de aparelhos ligados à eletricidade para o seu funcionamento, como por exemplo, o dos computadores. Uma repartição pública, os semáforos, os supermercados, os restaurantes, enfim, o mundo vive dependendo deste “algo” que chamamos de Energia.

Uma das grandes preocupações da humanidade é a produção de combustível para automóveis. O petróleo, principal matéria prima para este fim, é cada vez mais escasso no mundo. Tudo isto para usar este insumo como elemento que se transforme em calor, Energia utilizada pelo motor do automóvel para se transformar em movimento. Observamos grandes debates e conflitos a respeito deste tema e, além disso, debate a respeito das estratégias de criar tipos de automóveis e outros utensílios do cotidiano das pessoas que não consumam tanta Energia, buscando uma linha de produtos cada vez mais sustentável.

O elemento unificador que a Energia promove constitui-se em algo importante e que não podemos deixar de considerar; é, pois imprescindível que envidemos esforços para levar esse dado em conta. Não podemos esquecer que a Energia é um conceito unificador em todos os campos da Física. Na Física, é indiscutível o quanto esta ideia está presente e influi em nossos estudos para entendermos cada vez mais o mundo natural ao nosso redor. Sem esta ideia, muitos conceitos estariam incompletos ou sem sentido.

O termo **Energia** transcende o âmbito e até mesmo o significado das ciências físicas e, desta forma, é bastante utilizado em diversos contextos, quer de maneira metafórica, quer de maneira poética, quer de uma maneira que, de algum modo, se aproxima dos próprios significados da Física, sem evidentemente, serem coincidentes com os conceitos desta importante disciplina científica. Na sociedade, é essa ideia que faz com que as pessoas caminhem e procurem crescer. Os governos cheios de Energia gritam para o povo ir para o trabalho fazer seus países melhores. Os pais cheios de Energia colocam seus filhos para estudarem e serem pessoas questionadoras e espertas. As escolas cheias de Energia instigam seus alunos para que

desenvolvam o raciocínio e a leitura dinâmica. A Energia está presente, sem dúvida, em muitos diálogos da nossa vida.

Essa ideia não nasceu do nada. Certas percepções existem desde a antiguidade e notamos que os conceitos antigos nos ajudam a entender como essa ideia de energia se desenvolveu durante uma época áurea da nossa história. Este é um dos nossos principais argumentos para utilizarmos a História e a Filosofia da Ciência no ensino de Física (TEIXEIRA JAPIASSÚ, 2013).

Desde os tempos imemoriais a humanidade estuda e procura saber o que faz os objetos caírem e se elevarem, e enfim, o que provoca o movimento das coisas. Como será que uma formiguinha consegue carregar objetos bem mais pesados que ela? Por que nós homens não conseguimos fazer coisas proporcionais? O que será que faz com que todos os seres e coisas possam sair do estado estático?

Um ponto importante da História da Ciência foi a ideia de algo que é constante. Os homens da antiguidade, os filósofos antigos, já tinham a ideia de que quando algum esforço era feito para levantar uma pedra, ou quando usavam alguma engenhosidade para construir uma casa, algo era constante. Algo não se modificava na natureza.

Quando os antigos perceberam que criando um sistema simples de roldanas se conseguia levantar pesadas toras de madeira para o alto com muito menos esforço que o normal, acreditava-se que isso era uma coisa mágica, fora da compreensão humana. Pensamos em algo incrível – para época –; aplicar uma pequena força de um lado de uma alavanca e conseguir retirar uma pedra superpesada do outro. Esse tipo de fenômeno poderia ser considerado, muito bem, como algo que fugia da realidade da compreensão humana. Porém, alguns pensadores já notavam que o esforço diminuía junto com o tempo que a madeira subia. Que a distância que a pedra se movia era mínima em comparação com a distância do lado em que a pessoa aplicava a força. Daí a ideia que a natureza não dava nada de graça. Que tudo tinha uma

compensação lógica e que deveria existir uma lei universal que regia aqueles fenômenos.

3.2 Pensamentos Históricos Sobre Causa e Conservação

Encontrar escritos históricos sobre Ciência na Antiguidade é bastante difícil - talvez isto corrobore com aqueles que acreditam não ser interessante aplicar História e Filosofia da Ciência no ensino de Ciências.

Alguns pensadores escreveram páginas sobre movimentos, sobre realidades naturais e a ligação do homem com a natureza. Entre esses escritos vamos destacar alguns. Encontramos pensamentos distintos, porém importantes para o desenvolvimento de alguns conceitos que hoje sabemos que são verdades: Heron³ de Alexandria, Parmênides de Eleia e Heráclito de Éfeso são exemplos emblemáticos desses pensadores, além da grandiosa corrente Aristotélica que influenciou vários pensadores posteriores ao seu grande líder.

O pensamento de Heron pode ser visto no texto de Lindsay (1971), citado abaixo:

This fact was recognized explicitly in the writings on mechanics of Hero of Alexandria, who flourished around 60 A.D. This peculiar principle of compensation, in which a certain gain in a vital effect is always balanced by a corresponding loss in an associated phenomenon, contained within itself the root of the concept of energy. (LINDSAY, 1971, p. 386)

No português temos:

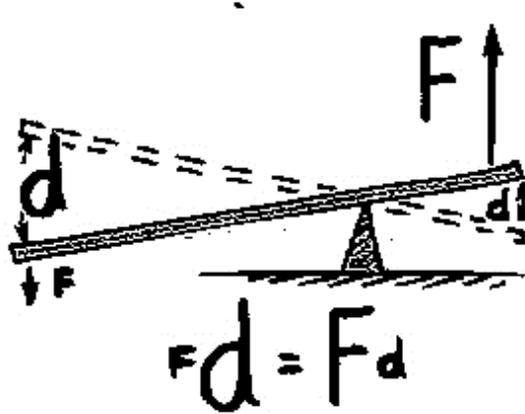
Estes fatos foram reconhecidos nos escritos sobre Mecânica de Heron de Alexandria, que floresceu por volta do ano 60 a.C. Este princípio peculiar de compensação, no qual um certo ganho de determinado efeito vital é compensado com uma perda

³ Heron foi um sábio matemático e mecânico grego. É dado a ele o crédito para algumas belas invenções como o odômetro (sistema que conta o número de voltas de uma roda) e, um dos mais importantes, a eolípila, um aparelho que é precursor da turbina a vapor. Suas descobertas incluíram uma forma arcaica de representar a lei da ação e reação, deu a descrição de um grande número de máquinas simples e generalizou o princípio da alavanca de Arquimedes.

correspondente associada ao fenômeno, contém dentro de si a raiz do conceito de energia. (LINDSAY, 1971, p. 386, Tradução de nossa responsabilidade)

Claramente percebemos a ideia que já se tinha sobre algo que não se perdia nem se criava dentro do cotidiano natural. Que para qualquer esforço existia um fator compensador. Podemos entender melhor esta ideia observando a Figura 3.1 logo abaixo. Nela podemos ver como é o funcionamento da alavanca e o princípio de algo que se complementa sendo demonstrado explicitamente.

Figura 3.1: Alavanca.



Fonte: HEWITT (2008, p. 120)

A Cultura ocidental, pelo menos desde os tempos dos pré-socráticos Heráclito de Éfeso (535 a. C- 475 a. C.) e Parmênides de Eleia (530 a. C. - 470 a. C.), oscilou entre a mudança e o que não muda. Para Heráclito a única realidade é o que muda uma vez que não se pode tomar banho em um rio duas vezes, pois da segunda vez que viermos a tomar banho nele já não se trata mais de um mesmo rio, pois as águas não serão as mesmas. Para Parmênides o ser é e como tal não muda, pois se o ser mudar não é mais ser.

Heráclito⁴ dizia que tudo era mudança e que tudo flui. As pessoas, as coisas, as fases da Lua, as marés; tudo se modificava aos olhos do ser humano. Podemos perceber que a Ciência Moderna utiliza de maneira apreciável e abundante desta ideia, como conseguimos analisar quando constatamos, por exemplo, as mudanças que ocorrem nos corpos por conta da variação de temperatura; porém, com um cuidado bem indicativo. Se ela fosse vista como verdade exclusiva e absoluta, não poderíamos prever coisa alguma na medida em que toda suposição prévia estaria sob um severo julgamento; já que tudo seria mudança, não poderíamos conceber algo previsível, pois a própria previsão seria modificada por si mesma.

Parmênides⁵ foi, com certeza, um dos ilustres precursores da ideia de Conservação. Ele dizia que a mudança verdadeira não acontecia senão diante de nossos olhos - ou seja, diante das nossas percepções sensoriais. As mudanças que possivelmente ocorriam só eram desta forma porque os próprios homens faziam assim. Ele percebia a diferença de comportamento que ocorria em face de alguns fenômenos curiosos. Como alguém chamar a laranja de maçã – a laranja não vai deixar de ser laranja nem vai perder suas propriedades por que alguém passou a chamá-la de maçã. Percebemos que esse pensamento mostra a ideia de constância, algo que não se modifica perante a mudança.

Quem tem razão, Heráclito ou Parmênides?

A Ciência, tal como a concebemos hodiernamente, dá razão, por mais estranho que isso possa parecer, a ambos, ou seja, tanto dá razão a Heráclito quanto a Parmênides. Mas como? Eles não disseram coisas tão díspares? Como podem os dois terem razão? Não seria isso uma contradição e talvez mesmo uma contradição inconciliável?

⁴ Filósofo pré-socrático, considerado o pai da dialética, a doutrina dos contrários, de forma que, das contradições, surgem a unidade dialética. Foi filho de nobres, pertencia a família real da cidade e não apreciava a vida pública, o que o afastou de temas como a arte e a religião.

⁵ Outro filósofo pré-socrático, considerado o mais influente pensador antes de Platão. Era admirado por ter levado uma vida regrada e exemplar, desta forma, pouco se conhece sobre a sua vida. Sabe-se que aos 65 anos visitou Atenas, quando conheceu o jovem Sócrates.

Lembremo-nos de Blaise Pascal ^{6,7} (1623-1662) que asseverou que o contrário de uma verdade profunda é outra verdade profunda.

Ora, já ouvimos frases como há na mudança sempre algo que não muda e aí refletir sobre o que isso pode significar. O aspecto que muda é o aspecto do fluxo, da realidade sempre em movimento. O aspecto que não muda é aquele em que mesmo na mudança podemos constatar algumas permanências. O primeiro aspecto, ou seja, o aspecto que nos mostra que tudo é fluxo e nada deixa de se movimentar e evoluir constitui o aspecto heraclítico da realidade, enquanto o aspecto no qual identificamos permanências concerne ao aspecto parmenidiano da realidade e ambos os aspectos convivem na Ciência, em especial na Física.

A termodinâmica, por exemplo, nos mostra que a energia se conserva, ou seja, isso constitui um aspecto da realidade à la Parmênides, enquanto a mesma termodinâmica nos ensina que a Entropia, grandeza que mede a irreversibilidade dos processos reais, aumenta, ou seja, a Entropia nos revela também um aspecto da realidade à la Heráclito.

Não podemos falar da Ciência na Antiguidade sem falar de Aristóteles. Ele trabalhou a respeito do funcionamento das máquinas simples e seus discípulos continuaram seu trabalho falando sobre as Máquinas num dos primeiros escritos sobre a Mecânica. Lindsay (1971) usando um axioma fundamental da ideia de Aristóteles: o esforço é proporcional ao peso do corpo e a velocidade empreendida por ele. Os Aristotélicos não definiam suas conclusões usando fórmulas. Daí a dificuldade de relacionar seus conceitos aos tempos atuais. Porém, podemos tentar gerar algumas conclusões disso. A definição de esforço acima não é correta se o “esforço” for considerado,

⁶ *Contradiction est une mauvaise marque de vérité: plusieurs choses certaines sont contredites; plusieurs fausses passent sans contradiction. Ni la contradiction n'est marque de fausseté, ni l'incontradiction n'est marque de vérité* (PASCAL, Pensées, Art. VI, n. 384).

⁷ A contradição é um mau sinal de verdade: muitas coisas certas são contraditas; muitas coisas falsas ficam sem contradição. Nem a contradição é sinal de mentira, nem a não contradição é sinal de verdade (PASCAL, Coleção 'Os Pensadores', Nova Cultural, São Paulo, 1988, Artigo VI, n. 384, p. 130).

evidentemente, no sentido da força newtoniana⁸; mas se o “esforço” for a potência empreendida durante certo tempo, faz sentido. Sem mais, segundo o conhecimento atual, potência é a razão entre a Energia e o Tempo.

Essas conclusões não eram feitas pelos homens da Antiguidade. Somos nós, segundo nosso conhecimento atual, que conseguimos fazer esta relação com o que era pensado na época com o que temos atualmente, caso identificássemos os conceitos dos homens daquela época com os conceitos atuais, estaríamos incorrendo no pecado do anacronismo. As conclusões não eram analíticas. Sabemos que as representações desta forma vieram tempos mais tarde.

Para Aristóteles, podiam existir quatro tipos de Causa: Causa Final, Causa Eficiente, Causa Material e Causa Formal. A Causa Final indica uma finalidade ou um fim. Se dissermos “Vivo para ser feliz”, ou seja, a felicidade é a Causa Final do viver. A Causa Material diz respeito a matéria prima que gera determinada coisa. Quando Michelangelo esculpiu no mármore a imagem de Moisés, afirmou que apenas tirou do mármore tudo que não fazia parte de Moisés. Podemos dizer que o mármore representa a Causa Material e a concepção de Moisés por Michelangelo seria a Causa Final (BASTOS FILHO, 2008).

A Causa Eficiente diz respeito a uma concepção aristotélica que sugere que, para que algo se mova, é preciso ser movido por alguma coisa. Neste caso, ‘alguma coisa’ representa a Causa Eficiente, de modo que, quando ela cessar, o movimento, da mesma forma, cessará. “Na concepção Aristotélica, se essa ‘alguma coisa’ (que é Causa Eficiente do movimento) cessar, então cessará o movimento, de acordo com a bem conhecida expressão *cessante causa cessat effectus*” (BASTOS FILHO, 2008, p. 3304-3).

Sabemos que na concepção moderna, (Galileu, Descartes, Newton), não é necessária uma causa, no sentido de uma causa eficiente, (força

⁸ Evidentemente, interpretar Aristóteles simplesmente à luz de conceitos de lavra newtoniana seria o que os historiadores da Ciência chamam de anacronismo. Não é, portanto, de se surpreender que o conceito de “esforço” aristotélico não coincida com o conceito de força newtoniana.

newtoniana) para que o corpo mantenha seu movimento com velocidade constante. Da ideia da Inércia, sabemos que um corpo em movimento, tende a permanecer em movimento. Desta forma, se interpretarmos a força newtoniana como “Causa Eficiente, diríamos que a lei da inércia assevera, embora idealmente, a existência de um movimento persistente ‘*ad aeternum*’ e ‘*ad infinitum*’ sem necessidade de Causa Eficiente.” (BASTOS FILHO, 2008, p. 3304-4).

Idealmente, para que um corpo mantenha seu movimento uniforme ‘*ad infinitum*’, é necessária uma Causa Formal. Neste caso, a Causa Formal tem relação com a geometria do espaço. Um corpo mantém seu movimento uniforme e a Causa Formal para isto é um ente da geometria euclidiana: a linha reta. Podemos dizer que a Causa Formal, então, é aquilo que dá forma ou modelo, isto é, a definição da essência e seus gêneros.

Podemos entender que os antigos contribuíram com o que conhecemos como Energia hoje sendo este algo, aquilo que se mantém constante, que não podemos construir nem destruir e que em qualquer fenômeno que aconteça na natureza, “isso” não se altera.

Em épocas mais avançadas do desenvolvimento científico e do conceito de Energia, vemos as ideias de Stevin⁹ que discordam do pensamento da maioria dos filósofos da época dele. Ele era contrário às ideias dos aristotélicos sobre o funcionamento da alavanca – fato que baseia importantes conceitos da mecânica clássica (LINDSAY, 1971). Seu método de buscar explicações no equilíbrio estático fez com que chegasse a uma importante conclusão: nenhum movimento pode ser perpétuo quando ele nasce do repouso. Mais uma vez estamos diante da ideia de continuidade. Desta vez com uma conclusão importante: esse algo que é contínuo, também se transforma.

O grande físico Galileu defendia a ideia de que nada na natureza era dado de graça. Quem acreditava que a natureza permitia alguém levantar um determinado peso com menos esforço sem qualquer compensação ou perda

⁹ Ficou famoso pelo seu teorema relativo a diferença entre as pressões de dois pontos de um fluido em equilíbrio ser associada a diferença entre suas respectivas profundidades.

vivia numa grave ilusão. A natureza é contínua e previsível em alguns de seus aspectos. O ganho em alguma grandeza representava uma perda em outra grandeza. É como se alguém conseguisse fracionar o peso de um corpo em pequenos pesos, carregando-os um a um. O esforço para carregar um peso menor seria – logicamente – menor, porém, o tempo para carregar todos os pesos pequenos seria maior. No geral, algo neste trabalho permaneceria constante.

Galileu é famoso por ser o grande cientista que se desvinculou da visão aristotélica e conseguiu se impor por causa de suas ideias consistentes. Ele trabalhou insistentemente observando movimentos usando planos inclinados. No comentário de Hewitt (2002, p. 47), que se circunscreve a uma abordagem parcialmente didática e parcialmente paradidática do tema, percebemos o contexto da experiência de Galileu usando os planos inclinados.

Galileu colocou dois planos inclinados um de frente para o outro. Ele observou que uma bola liberada do topo de um plano inclinado, a partir do repouso, rolava para baixo e então subia o outro plano inclinado até quase alcançar sua altura inicial. Raciocinou que apenas o atrito a impedia de subir até exatamente a mesma altura, pois quanto mais liso era o plano mais próximo daquela altura inicial chegava a bola.

Fazendo uma análise detalhada da situação, podemos ver que a ideia de continuidade permanece. Galileu percebeu que algo era constante e que se a bolinha não alcançava a altura no momento do início do movimento é que este algo que é constante foi transformado em alguma outra coisa durante o processo. O atrito, a mínima resistência do ar e quaisquer outros elementos deste tipo “consomem” parte deste algo que seria usado para movimentar e levantar a bolinha.

Galileu verificou a existência de algo constante na natureza. A grande diferença para o que já foi dito é que este cientista foi o primeiro a defender e acreditar na necessidade da demonstração experimental das teorias. As observações simples eram importantes para o desenvolvimento das perguntas e das futuras hipóteses. As respostas seriam dadas pela natureza através de situações específicas, criadas especialmente para cada pergunta. As situações deveriam ser criadas sem nenhum tipo de influência tendenciosa.

Esta foi uma grande contribuição para o desenvolvimento do método científico, que é usado hoje.

Importantes filósofos do século XVII e que foram também excelentes matemáticos e físicos como Descartes (1596-1650) e Leibniz (1646-1716) centraram os seus programas científicos de pesquisa em leis de conservação e correlacionaram essas leis de conservação com princípios causais.

Descartes, por exemplo, concebeu que Deus houvera criado uma dada quantidade de movimento no universo, e Ele queria que essa quantidade de movimento se conservasse, pois se ela não se conservasse, então Deus não demonstraria a sua Constância, a sua Imutabilidade e a sua Perfeição. Em outras palavras, se a quantidade de movimento que Descartes concebeu que fora impressa por Deus no Ato da Criação não viesse a se conservar, então Deus manifestaria a sua inconstância, a sua mutabilidade e a sua imperfeição, qualidades essas que são incompatíveis com a Divindade.

Na metafísica cartesiana, Constância, Imutabilidade e Perfeição eram causas que manteriam a quantidade de movimento conservada no universo. Embora o argumento metafísico cartesiano seja de grande valor, há muito sabemos que o próprio conceito cartesiano de quantidade de movimento não constitui algo que possa explicar os fenômenos naturais.

A quantidade de movimento cartesiana não é a mesma que encontramos nos livros-textos de hoje em dia. Para Descartes, a quantidade de movimento de um dado corpo é o produto da extensão deste corpo (volume deste corpo) pela sua velocidade escalar. Embora Descartes tenha feito uma grande ginástica mental para explicar as colisões à luz de seu conceito de quantidade de movimento, sabemos hoje que ele não pode explicar satisfatoriamente os fenômenos envolvendo colisão.

A extensão cartesiana deu lugar à massa newtoniana e a velocidade escalar deu lugar à velocidade vetorial; deste modo, o conceito que concebemos hoje em dia para quantidade de movimento de um corpo, também denominado de momento linear desse corpo, é o produto da massa do corpo

pela sua velocidade vetorial. Faltavam, portanto, a Descartes dois conceitos fundamentais: o de massa e o de vetores.

Leibniz também concebeu como grandeza responsável pela elevação de um corpo a uma dada altura o seu conceito de vis viva; se incorporarmos nesse conceito de Leibniz, a massa newtoniana, então a vis viva leibniziana será o que hoje concebemos como o dobro da energia cinética de um corpo.

Novamente em Leibniz, de maneira análoga ao que acontecia para Descartes, a conservação da vis viva assumia uma contrapartida causal. Podemos compreender essa conexão entre princípios causais e leis de conservação em Leibniz, principalmente se trouxermos à baila os seus princípios metafísicos, a saber, o princípio que estabelece a identidade entre causa e efeito e o princípio da razão suficiente.

De acordo com o princípio de Leibniz de identidade entre causa e efeito, a causa deve ser avaliada pelo efeito que ela produz; por outro lado, pelo princípio da razão suficiente, nada existe sem que haja uma razão para que isso seja assim e não de qualquer outro modo. Há várias formulações do princípio da razão suficiente de Leibniz; na formulação que utilizamos aqui, a palavra razão pode ser substituída pela palavra causa. Como aqui se trata de um pensador racionalista, a causa pode ser interpretada como uma razão para que consubstanciam a própria conservação da vis viva.

Em uma formulação mais moderna e geral abstraindo os fenômenos envolvendo o calor e, se nos ativermos à energia mecânica total, podemos dizer que a soma das energias cinética e potencial de um sistema se conserva.

Na física newtoniana, embora esta seja compatível com as leis de conservação, o foco de Newton era muito mais centrado na mudança temporal do movimento, ou seja, a causa eficiente (no sentido de Aristóteles) dos movimentos, isto é, a própria força newtoniana.

Como o paradigma newtoniano foi dominante durante muito tempo, o papel da força newtoniana ocupou um espaço de grande dominação intelectual o que contribuiu para obliterar grandes e importantes aspectos das ideias de Descartes e de Leibniz, notadamente no que trata da hermenêutica dos conceitos de causa em Leibniz por um lado e em D'Alembert (1717-1783) por outro.

3.3 Polêmica Entre Leibniz e os Cartesianos: a *causa* dos movimentos

É histórica a polêmica que foi travada entre Leibniz e os cartesianos (seguidores de Descartes) a respeito da resposta da pergunta: qual a '*causa*' dos movimentos? Qual é a verdadeira medida de força? Descartes argumentava que sua *Quantidade de Movimento* – mv – (produto entre a extensão do corpo pela sua velocidade escalar) era a causa dos movimentos. Já Leibniz afirmava que a causa era a sua *vis viva* – mv^2 – (produto entre a massa do corpo pelo quadrado da velocidade). Cabe ainda informar, sobre a *vis viva*, que houve duas fases: na primeira Leibniz houvera incorporado o conceito de extensão cartesiana e considerado a *vis viva* como o produto da extensão do corpo pelo quadrado de sua velocidade; numa segunda fase, Leibniz incorporou o conceito newtoniano de massa e considerou a *vis viva* de um corpo como o produto da massa newtoniana desse corpo multiplicado pelo quadrado de sua velocidade.

A ideia de Descartes tinha como fundamento uma lei de conservação. Descartes, admitindo que Deus criara o universo com certa quantidade de movimento, argumentava que se um corpo aumenta sua quantidade de movimento, isto redundava que um segundo corpo (provavelmente aquele com o qual o primeiro interage) diminui sua quantidade de movimento. Desta forma Deus demonstraria sua perfeição, constância e imutabilidade. Caso contrário, ou seja, caso a quantidade de movimento não se conservasse Deus não seria mais perfeito, constante e imutável (SILVA OLIVEIRA, 2012).

Cabe aqui um breve comentário para esclarecer os conceitos para não cometermos o erro do anacronismo (avaliar um conceito atribuído a uma dada época passada utilizando um conceito atual). Descartes ainda não conhecia dois importantes conceitos: o de massa e o da velocidade vetorial.

Daí, sua quantidade de movimento consistia no produto entre a extensão, o volume do corpo – levando em consideração a ideia de que quanto maior fosse o corpo, maior seria o seu “peso” –, e a sua velocidade escalar – a rapidez independentemente de sua direção e sentido. Podemos considerar sem nenhum prejuízo conceitual a atual conceituação da quantidade de movimento (Momento Linear), que é o produto da massa pela velocidade vetorial do corpo.

Leibniz, por sua vez, usa a lei da queda livre de Galileu para demonstrar que um corpo de massa **m** elevado até uma altura **4h** terá certa quantidade de movimento ao final de sua queda. Já um corpo de massa **4m** elevado até uma altura **h** terá uma quantidade de movimento, ao final de sua queda, diferente daquela do primeiro corpo. Ele demonstra, assim, que a quantidade de movimento de Descartes não é a grandeza – a causa – que eleva um corpo de massa **m** até uma altura **4h**, pois sua grandeza não mantém sua constância prevista, uma vez assumindo a equivalência respaldada pela estática.

Se fizermos os mesmos testes utilizando a **vis viva** leibniziana, o resultado é diferente do encontrado na comparação com o caso cartesiano. Os valores das **vis vivas** dos dois corpos ao final da queda são exatamente os mesmos. Conclui-se que a **vis viva** é uma grandeza mais fundamental que a quantidade de movimento de Descartes para saber qual a causa dos movimentos. Ao menos percebemos que para o caso do corpo elevado a uma dada altura, esta conclusão é feita sem problemas.

Este curtíssimo comentário a respeito da crítica de Leibniz a Descartes introduz o que podemos passar a relacionar como sendo uma das bases de se entender o princípio leibniziano da identidade entre causa e efeito. Princípio este que estabelece que a causa total deve ser avaliada a partir do efeito que ela produz. Este princípio é de natureza causal e de conservação (SILVA OLIVEIRA; et al, 2012).

Silva Oliveira (2012) usa uma cadeia de raciocínios para demonstrar didaticamente que a conclusão de Leibniz em favor de sua *vis viva* é correta. Vamos enumerar esta cadeia aqui para vislumbrarmos melhor esta conclusão:

- i. Num mundo perfeitamente mecânico, um corpo de massa m , quando elevado até uma altura $4h$, sendo solto em seguida; iria interagir elasticamente com o chão e retornar até a mesma altura $4h$ inicial. Este movimento de subidas e descidas permaneceria *ad infinitum*.
- ii. Analogamente ao que está descrito no item i; um corpo de massa $4m$, elevado até uma altura h , solto em seguida interagiria elasticamente com o chão e retornaria até sua altura inicial.
- iii. Podemos considerar as interações perfeitamente elásticas que ocorrem nos itens anteriores num mundo perfeitamente mecânico. Reconsiderando essa situação ideal, podemos substituir a interação perfeitamente elástica por uma interação totalmente inelástica. Neste caso, os corpos não iriam mais retornar à sua altura inicial; eles deformariam.
- iv. Os efeitos de subidas e descidas acima citados podem ser testados, basta que estudemos as deformações causadas pelos mesmos, respectivamente. Desta forma, é necessário eleger duas esferas maciças, de mesmo raio, uma 4 vezes mais densa que a outra. Ou seja, a esfera de massa $4m$ é 4 vezes mais densa que a esfera de massa m .
- v. As duas esferas de massas diferentes vão cair numa superfície de mesmo material, deformável. O efeito de elevação poderá ser analisado por meio da deformação causada pela queda das esferas de suas respectivas alturas.
- vi. Se adotarmos um valor R como sendo a *causa* da queda e R for a Quantidade de Movimento de Descartes, então a deformação *causada* pela massa $4m$ caindo de uma altura h será duas vezes maior que a deformação *causada* pela massa m caindo de uma altura $4h$.
- vii. Se R , por ventura, for a *vis viva* de Leibniz, a deformação *causada* pelo corpo de massa $4m$ caindo de uma altura h será a

mesma que aquela *causada* pela queda do corpo de massa m caindo de uma altura $4h$.

Silva Oliveira (2013) responde esta indagação de qual é a causa de levar um corpo de massa m até uma altura h :

Como se sabe, a experiência decide em favor da *vis viva* pois as deformações são iguais, e não em favor do momento linear cujo resultado seria a de uma deformação que fosse o dobro da outra. Logo, o efeito inteiro leva a uma causa R que é identificada como a *vis viva*. (SILVA OLIVEIRA; et al, 2013 p.591)

Desta forma, concluímos que, para esta polêmica, este experimento decide em favor da *vis viva*. Isto não coloca, de maneira alguma, a enorme contribuição feita por Descartes como irrelevante. Suas pesquisas podem ser consideradas como um dos embriões para os estudos dos Princípios de Conservação.

3.4 A Solução de d'Alembert: a *causa* positivista

É conhecida uma possível solução para a polêmica entre Leibniz e os cartesianos atribuída a d'Alembert. Ele mostrou que a eficácia da Força Newtoniana, aplicada a um corpo de massa m , integrada no tempo redundava na variação da quantidade de movimento. Já a eficácia da Força Newtoniana, aplicada a um corpo de massa m , integrada no espaço redundava no trabalho mecânico, que é a variação da Energia Cinética (a metade da *vis viva*).

Esta demonstração é feita com simples cálculos algébricos. A questão é que ao atribuir a Força Newtoniana como a *causa* e seus efeitos ao ser integrada no tempo – a variação da quantidade de movimento – e ao ser integrada no espaço – variação da energia cinética – os *efeitos* não passam de mera matematização do fenômeno. Isto não responde qual a grandeza que causa os movimentos; nem a grandeza responsável por elevar um corpo até uma certa altura – indagação de Leibniz. Está claro que a Força Newtoniana integrada no tempo – quantidade de movimento – não responde a esta indagação. A Força Newtoniana integrada no espaço – variação da energia cinética – sim, responde e se mostra como a grandeza responsável para elevar um corpo de massa m até uma altura h .

Teixeira Japiassú; et al (2014) analisa a ideia de d'Alembert em dirimir a polêmica:

Ora esses diferentes efeitos são evidentemente produzidos por uma mesma causa; tanto daqueles cuja força seja avaliada pela velocidade, quanto daqueles cuja força seja avaliada pelo quadrado da velocidade, e não se pode entender e falar de efeito quando eles são expressos pela força. Esta diversidade de efeitos proveniente, toda ela, de uma mesma causa, pode servir, para se dizer de passagem, o quão pouco tem de justeza & precisão o axioma pretendido, se for colocado em uso a proporcionalidade entre as causas e seus efeitos. Enfim, aqueles mesmos que não estejam no estado de recorrer aos princípios metafísicos da questão das forças vivas verão facilmente que isto não passa de uma disputa de palavras, caso as duas partes em questão estejam inteiramente de acordo sobre os princípios fundamentais do equilíbrio e do movimento. (D'ALEMBERT, 1758)

Aqui, d'Alembert considera uma “mesma causa” uma equivalente a força newtoniana. Esta sendo a “causa”, tanto dos “efeitos” proporcionais à velocidade, quanto dos “efeitos” proporcionais ao quadrado da velocidade. Percebemos aqui que o sentido de “causa” e “efeito” atribuídos por d'Alembert não são os mesmos que aqueles atribuídos por Leibniz, desta forma, não é de se impressionar que ele procure diminuir a polêmica, colocando que “quão pouco tem de justeza e precisão o axioma pretendido, se for colocado em uso a proporcionalidade entre as causas e seus efeitos” (TEIXEIRA JAPIASSÚ, et al, 2014).

É simples entender o que ocorre, matematicamente, quando analisamos a força newtoniana integrada no espaço:

$$\int \vec{F} \cdot d\vec{x} = \int \left(\frac{d\vec{p}}{dt} \right) \cdot d\vec{x} = \int m \cdot \vec{v} \cdot d\vec{v} = \frac{1}{2} m (\Delta v)^2 = \Delta E_c \quad (3.1)$$

A equação 3.1 sugere que quando analisamos a eficácia da força newtoniana no espaço, teremos a variação da energia cinética, que é o dobro da *vis viva*, solução atribuída por Leibniz.

Agora vamos entender o que ocorre, matematicamente, quando a analisamos a força newtoniana integrada no tempo:

$$\int \vec{F} \cdot dt = \int \frac{d\vec{p}}{dt} \cdot dt = \int d\vec{p} = \Delta\vec{p} = m\Delta\vec{v} \quad (3.2)$$

Desta forma, a equação 3.2 sugere que quando se analisa a eficácia da força newtoniana no tempo, teremos a forma moderna da variação do momento linear, solução atribuída por Descartes.

Percebemos aqui que d'Alembert tenta esvaziar o Princípio Metafísico de Leibniz da Identidade entre Causa e Efeito, onde a causa de certo fenômeno pode ser analisada a partir do efeito produzido por ela. Já dissemos que a variação do momento linear não responde a questão proposta por Leibniz, da causa necessária para levar um corpo de massa m até uma altura h .

Assim sendo, podemos dizer que a Força Newtoniana não é a causa dos efeitos. Em qualquer interação entre dois corpos, a Força Newtoniana será de mesmo módulo e de sentidos opostos, porém, seus efeitos podem ser bem diferentes em muitos casos; como a interação da Terra com uma pedra. A causa também não é a quantidade de movimento, pois nestas mesmas interações, a variação da quantidade de movimento será a mesma nos corpos, porém, com efeitos diferentes. A causa que se mostra responsável pelos efeitos é a variação da energia cinética.

Vemos que a ideia de d'Alembert é uma instrumentalização estreita de algo muito profundo e cheio de fertilidade: a causa de elevar um corpo de massa m até uma altura h . O princípio de Leibniz, ao contrário, dá vazão a uma grandeza que se transforma. Sendo esta grandeza a *causa* de elevar um corpo até a dada altura; se transformando no *efeito* de deformar o chão e isto se constitui no efeito substitutivo do corpo ser, novamente, elevado até a sua respectiva altura inicial.

Considerando os argumentos dessas breves linhas sobre as conexões entre princípios causais e leis de conservação, podemos dizer que focamos a nossa atenção nos programas respectivamente de Descartes e de Leibniz. Passemos então a tecer algumas considerações breves sobre as conexões estabelecidas pela grande matemática Emmy Noether (1882-1935)

que demonstrou um estupendo teorema estabelecendo conexões entre os princípios de simetria e as leis de conservação.

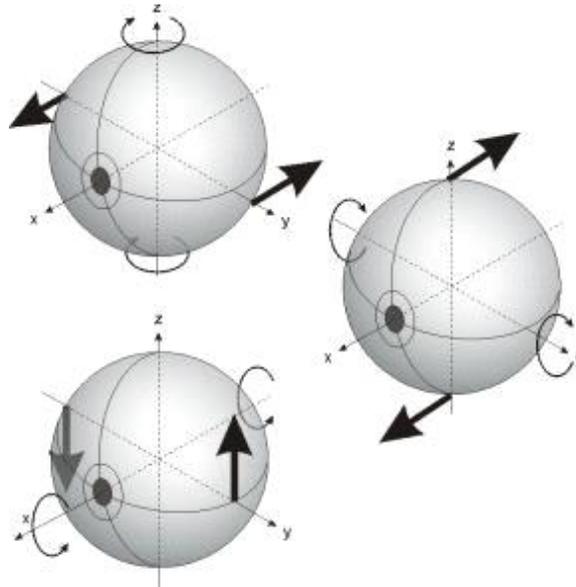
3.5 Simetrias e Leis de Conservação

Para tratar deste tema, vamos utilizar o Teorema de Noether. Amalie Emily Noether, mais conhecida como Emmy Noether era uma mulher gentil, de aparência séria e despojada, não era muito alta e não dava importância ao que vestia, não se preocupava em arrumar os cabelos o tempo todo e usava óculos. Gostava de discutir matemática, muitas e muitas vezes, era generosa e franca nas críticas que fazia. Era brilhante, causava um fascínio grande nos seus colegas, alunos e orientandos. (RIBEIRO FILHO, 2015)

Das inúmeras contribuições que fez para a ciência de maneira geral, na física-matemática foi o seu maior destaque. O teorema que baseia este trabalho e tem sido de grande relevância para esclarecimento de vários aspectos e fenômenos discutidos na física teórica, liga os princípios de conservação com as leis de simetria na natureza. Em virtude da sua importância e relevância, este teorema foi denominado *Teorema de Noether* em homenagem à autora, escrito em 1915 e publicado em 1918 (RIBEIRO FILHO, 2015).

A natureza apresenta, em diversas situações, simetrias perceptíveis. Para notar algo que é simétrico, imaginemos um quarto, de paredes brancas e quadradas; se alguém se coloca no centro do quarto, só é possível perceber as diferenças do ambiente por conta da posição dos móveis, dos locais que ficam a porta e a janela. Este ambiente tem um aspecto simétrico, as paredes paralelas têm as mesmas áreas, por exemplo. Outro exemplo é o de uma esfera. Se este objeto for completamente liso, polido e uniforme em sua superfície, então podemos girá-lo em qualquer angulação que não será possível perceber a diferença.

Figura 3.2: Nesta figura veremos o poder da simetria numa esfera.



Disponível em: <http://astrojem.com/teorias/simetria.html> , acessado no dia 23/07/2016.

Segundo Martins, o “termo simetria em Física refere-se a um conjunto de transformações definidas num grupo que levam uma expressão ser invariante na sua forma” (MARTINS, 1999, p. 33).

Podemos entender este excerto de Martins com um exemplo de algo invariante dentro da 2ª Lei de Newton do Movimento - a Lei Fundamental da Dinâmica - ele chama de formalismo Newtoniano. A força sendo o produto da massa newtoniana pela segunda derivada da função que definiria a posição de um corpo.

$$\vec{F} = m \frac{\partial^2 \vec{x}}{\partial t^2} \quad (3.3)$$

Para forças deste tipo, as equações de movimento dotadas na equação 3.3, são invariantes sob transformações de Galileu do tipo:

$$t' = t + \Delta t, \vec{x}' = \vec{x} + \Delta \vec{x} + \vec{v}t \quad (3.4)$$

Ou seja, para se determinar forças deste tipo, o instante, bem como a posição do corpo, não influencia nas ferramentas usadas para este fim.

Vamos dar uma interpretação mais contextualizada e conceitual do que podemos chamar de invariância. Algo que não se modifica perante uma transformação.

Devemos entender o que se quer dizer com algo que “não muda perante certa operação”. Se dois irmãos compram, cada um, um carro, de mesma marca, modelo e cor, um ao lado do outro da garagem, então a única diferença seria a posição dos dois veículos em relação a um ponto fixo no solo. Se eles combinarem ligar o carro no mesmo instante, numa perfeita sincronização, então os dois carros funcionariam exatamente da mesma forma? Algumas pessoas poderiam, com muita razoabilidade, dizer que “não funcionariam”. Ora, apesar dos mesmos modelos, os carros podem ter passado por diferentes tratamentos, um deles poderia estar mais ou menos acelerado, enfim, existe um grande número de razões para acreditar que o funcionamento não será exatamente o mesmo. É preciso encontrar o que impede os carros de funcionarem da mesma forma. Quando encontrarmos, sugerimos que tais elementos precisam ser movidos juntos com o carro.

De toda sorte, não será nosso objeto de estudo identificar as simetrias dos objetos, nem das coisas, nem das máquinas. Sabemos que muitos objetos são, por natureza, simétricos. As esferas, por exemplo, devem ser os objetos que possuem a simetria mais perceptível que existe, e muitos objetos têm o formato de esfera: as estrelas, as gotículas de chuva, os planetas e seus satélites naturais. Vamos identificar as simetrias que interferem diretamente nas leis que regem o universo, mais precisamente o mundo físico.

Lendo Feynman, ele conta que “o professor Hermann Weyl deu esta definição de simetria: uma coisa é simétrica se for possível submetê-la a uma operação e ela parecer exatamente igual após a operação.” (FEYNMAN, 2008, p. 111) Podemos ver na Figura 3.2 que se girarmos a esfera para qualquer lado, vamos obter a mesma imagem que se tinha anteriormente, de forma que só é possível saber que não estamos vendo a mesma “face” da esfera se não promovermos um giro de 360° na mesma.

Tendo como base a definição de Feynman, podemos agora fazer um pertinente questionamento: como um fenômeno físico pode se alterar de certa

forma sem que o resultado final possa ser alterado? Que tipo de fenômeno tem grandezas que se mantêm constante perante a mudança de outras grandezas?

Na Física existem tipos de simetria que nos ajudam a perceber determinados princípios muito importantes. O Teorema de Noether sugere que existe uma relação muito íntima entre as Leis de Conservação e a invariância dos sistemas físicos em operações de simetria (LEMOS, 2007).

Acreditamos que é importante definir aqui o que se entende por simetria na Física, já que esta palavra pode ser entendida por alguns conceitos que não vamos usar no momento. Na Geometria, as simetrias envolvem formas no espaço (como no exemplo acima do quarto e da esfera); na Biologia, as simetrias são usadas para classificar seres vivos; no estudo da Fisiologia do Corpo Humano, a simetria do corpo representa um bom resultado dos treinamentos.

Na Física, as simetrias se caracterizam quando existe uma grandeza que é invariante quando submetida a uma transformação. O trabalho dos físicos teóricos, para este tema, consiste em entender a relação que há entre as simetrias e as Leis de Conservação (SILVEIRA, 2008). No tocante aos temas que podemos desenvolver como os de maior abrangência na Física Clássica podemos destacar as seguintes simetrias e seus respectivos princípios de conservação associados: (1) a simetria espacial redundando na conservação do momento linear; (2) a simetria temporal redundando na conservação de energia e a (3) simetria rotacional redundando na conservação do momento angular.

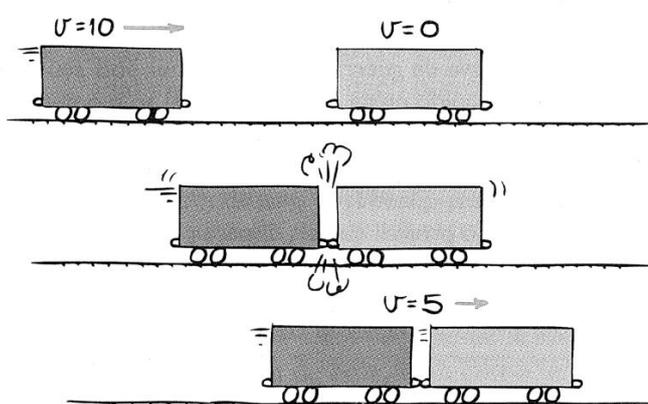
Não é usual livros didáticos do EM abordarem o tema da simetria com a ênfase que julgamos ser a razoável, ou seja, a de verificar a importância das simetrias para os sistemas nos quais ocorrem leis de conservação. Podemos ver em SILVEIRA (2008) que praticamente não existem materiais, no nível Médio, que sirvam de base para o ensino das simetrias no EM. Este fato redundando numa dificuldade para nós: como vamos fazer os estudantes identificarem as simetrias na Física?

Por exemplo, como identificar as simetrias espaciais que redundam na conservação do momento linear? Comumente se aborda que o momento linear de um sistema se conserva na ausência de forças externas. Agora propomos uma nova abordagem para os estudantes: identificar a simetria

espacial. Neste caso, podemos fazer um questionamento; o momento linear se conserva independente do referencial?

Se um bloco, de massa se movimenta com uma velocidade e se choca contra outro bloco, de massa, em repouso, como vemos na Figura 3. Podemos concluir, pelo princípio da conservação do momento linear, que ao final desta interação, o momento linear inicial do sistema será igual ao momento linear final. O segundo bloco aumenta sua velocidade sob a condição de diminuir a velocidade do primeiro bloco.

Figura 3.3: Ilustração da conservação do momento linear.



Fonte: <http://fisicaparainormais.blogspot.com.br/2013/10/impulso-e-quantidade-de-movimento.html> , acessado em 05/08/2015.

Quando tentamos transladar certo fenômeno no espaço, podemos notar que algumas especificidades podem ser alteradas. Por exemplo, ao medir o campo gravitacional da Terra, este pode assumir valores distintos de um local para outro. Há outros fenômenos que não se modificam nas mudanças de espaço, se todas as características do ambiente que influenciem o fenômeno forem satisfeitas.

Podemos dizer que o **deslocamento do tempo** também não modifica as Leis Físicas. Isto sugere que se num laboratório, você faz certa medida às 8 horas da manhã, o resultado será o mesmo se a medida for feita às 16 horas da tarde. Sempre salvaguardando as condições do ambiente. Um

exemplo dado por Feymann, um tanto quanto interessante, é que se você "comprasse ações da General Motors três meses atrás, a mesma coisa aconteceria a elas se fossem compradas agora!" (FEYMANN, 2008, p. 523). Obviamente é necessário ter cuidado com as diferenças geográficas, já que as características da Terra podem modificar de um lugar para outro e de um período a outro do ano. Além delas, sabemos que comprar ações da General Motors agora, ou daqui a três meses, irá modificar características econômicas nelas, mas não o fato delas serem 'Ações da General Motors'.

A Simetria Espacial ocorre quando não há alteração no espaço. Quer dizer que "as visões" do ambiente serão equivalentes nas situações onde esta simetria ocorre. Uma colisão é um exemplo simples onde ocorre a conservação do momento linear e que podemos identificar a sua respectiva simetria. Nelas, o espaço é simétrico. O espaço no instante imediatamente anterior à colisão e no instante imediatamente posterior será sempre o mesmo.

Outro princípio de conservação que é muito estudado no EM é o da Conservação da Energia; mais precisamente a Conservação da Energia Mecânica. Como foi dito acima, a simetria temporal redundava neste princípio de conservação. O estudante do EM aprende que a Energia Mecânica de um corpo se conserva quando não são aplicadas nele forças dissipativas que são aquelas forças que transformam energia em calor, como o atrito e a resistência do ar. Essas forças diminuem a energia útil do corpo. Entendemos por energia útil aquela que pode ser convertida em trabalho mecânico.

Como podemos identificar a simetria temporal? O estudante aprende que se uma leve pedra de massa m cai de uma altura H , a queda dura um intervalo de tempo t . Caso uma pedra mais pesada, de massa M , caia da mesma altura H , desprezando a resistência do ar, esta queda irá durar o mesmo intervalo de tempo t que precisou a pedra menor. Para estes dois casos, a Energia Mecânica do corpo se conserva. Considerando que não existem forças dissipativas, a Energia Mecânica se torna a energia total do corpo neste fenômeno. A partir disto podemos determinar um princípio mais geral, a partir da simetria temporal, propondo que para qualquer corpo, caso seja identificada a simetria temporal, sua energia total se conserva.

Aqui nós demonstramos dois pequenos exemplos, que podem ser usados no nível do EM para a utilização das simetrias como uma estratégia de

se interpretar os Princípios de Conservação que são mais vislumbrados na Física do EM. Este tipo de abordagem pode ajudar o estudante a criar um pensamento mais crítico a respeito dos fenômenos. Buscando sair um pouco da tradição que “ordena” a memorização e aplicação de simples fórmulas algébricas, ressaltando uma das suas características mais importantes das Ciências Naturais e em especial da Física: sua capacidade de fazer o indivíduo entender a natureza.

Emmy Noether demonstrou que da uniformidade do tempo, isso acarretará a lei de conservação da energia; da homogeneidade do espaço, obteremos a lei de conservação do momento linear; e, da isotropia do espaço (isto é, da consideração prévia de que todas as direções do espaço sejam equivalentes) obteremos a lei da conservação do momento linear.

Este resultado é simplesmente maravilhoso pois podemos explorar, no campo pedagógico, uma transposição didática para levar aos estudantes essas ideias um tanto quanto abstratas procurando torná-las mais concretas no ambiente escolar.

Outra possibilidade é a de explorar conexões envolvendo a tríade, leis de conservação, princípios causais e princípios de simetria.

Podemos raciocinar de uma maneira um tanto quanto analógica e um tanto quanto metafórica e passar a conjecturar:

-Ora, se os programas de Descartes e de Leibniz envolvem a conexão íntima entre leis de conservação e princípios causais e o teorema de Noether estabelece conexões entre leis de conservação e leis de simetria, então não seria razoável que puséssemos associar princípios causais a princípios de simetria?

A questão formulada acima reside em um princípio da geometria e mais geralmente em um princípio da matemática segundo o qual se duas quantidades são iguais a uma terceira, então elas iguais entre si. Em outros termos:

Se $A=B$ e se $A=C$, então $B=C=A$

Bem entendido, aqui não se trata propriamente de uma igualdade, razão pela qual aludimos à circunstância de que se trata de um raciocínio baseado em analogia e talvez mesmo em uma expressão metafórica. Ora, é mais do que razoável que se causalidade e conservação são conectados por

um lado, e que conservação e simetria são conectadas por outro, então que causalidade e simetria também sejam conectadas de alguma maneira.

A nossa preocupação de foco é muito mais centrada na parte pedagógica em termos de transposição didáticas desses conceitos a partir do ingrediente mais importante ressaltado pela teoria da aprendizagem significativa que consiste em identificar a priori o que o aprendiz já sabe diante mão.

Os questionários aplicados dificilmente revelam com clareza os subsunçores; no entanto, as respostas desses questionários quando associadas à discussão em sala de aula podem indicar que se simetrias são de alguma maneira identificadas nos respectivos aparatos cognitivos dos estudantes, e por extensão, nos aparatos cognitivos de quaisquer pessoas, então podemos, em princípio, pensar conjuntamente em alguma coisa sobre uma interpretação geométrica da causalidade.

Não deixa de ser algo trivial a constatação de simetria se considerar que as pessoas têm dois olhos, um do lado esquerdo e outro do lado direito em relação a um plano perpendicular que corta o nariz; temos dois rins, dois pulmões, um nariz e uma boca centrada no meio, ou seja, a experiência mais imediata, já nos fornece uma ideia quase intuitiva de simetria.

Obviamente, não podemos ficar no nível da experiência imediata; lembremos que a Ciência requer que venhamos a transcendê-la; sem dúvida, os princípios de simetria acerca do espaço e do tempo que Noether lança mão para demonstrar o seu maravilhoso teorema são de um nível de abstração bastante mais sutil que a mera constatação de que se caminarmos de maneira trôpega estaremos caminhando assimetricamente e se caminarmos elegantemente e sem claudicar, então estamos caminhando simetricamente. Os balanceamentos nas rodas dos automóveis são também motivados por uma eficiência de economia de combustível e de pneus para evitar efeitos de dissipação indevidos e provavelmente se pode conjecturar a partir daí que princípios de simetria e princípios de conservação se conectem.

Ora, em Física de partículas as quebras de simetrias desempenham papel importante. A conservação da paridade era uma lei, e enquanto lei de conservação ela era conectada com uma simetria correspondente; no entanto, em Física de partículas também se constatou que

também há em certos casos a violação da conservação da paridade a qual é conectada com uma quebra de simetria. Logo, é possível se conjecturar também conexões além do que os nossos resultados de pesquisa de campo tenham eventualmente mostrado.

Na próxima seção veremos como inserir a Aprendizagem Significativa e a Transposição Didática ao ensino das relações entre as Leis de Simetria e os Princípios de Conservação.

4. REFERENCIAL TEÓRICO UTILIZADO: A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA; TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA NO ENSINO DOS PRINCÍPIOS DE CONSERVAÇÃO E DAS LEIS DE SIMETRIA. E O USO DO BLOG NO ENSINO DE CIÊNCIAS COMO ESPAÇO DE INTERAÇÃO

4.1 Introdução

Esta seção tratará de uma revisão de literatura a respeito da Teoria da Aprendizagem Significativa, expediente usado para nos ajudar a avaliar os resultados encontrados, além de auxiliar na montagem da estratégia metodológica para inserção do conteúdo de Física pretendido. O outro tema que abordaremos nesta seção é o do expediente da Transposição Didática, teoria utilizada para entender os caminhos que deveremos tomar na produção do material que será inserido na escola, no nosso caso, os textos que serão postados no Blog.

A Teoria da Aprendizagem Significativa, tendo como principal teórico David Ausubel, destaca que um conceito é mais bem compreendido quando interage com outro (ou outros) conceito(s) que já fazem parte da estrutura cognitiva do aprendiz.

Podemos dizer que a estrutura cognitiva representa todo o corpo de conhecimentos que o aprendiz possui. Todo conteúdo informacional do indivíduo. Ele o organiza hierarquicamente dependendo da situação ao qual necessite utilizar aquele conhecimento.

Nas palavras de Ausubel, através de Moreira (2006):

Se tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um só princípio, diria o seguinte: o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe. Averigue isso e ensine-o de acordo. (AUSUBEL, 1978, p. iv apud MOREIRA, 2006, p. 13)

Deste modo, já podemos dizer que, para ensinar Simetrias associadas aos princípios de conservação, devemos verificar o que o aprendiz sabe a respeito das simetrias, que tipo de simetria ele consegue identificar e se tem uma definição, mesmo que simplória, de seu significado. A partir daí,

aquele que ensina deve buscar estruturar suas estratégias de ensino com esses conhecimentos.

Mapear o que o aprendiz já sabe não é tarefa simples, ainda mais com os testes convencionais que temos, mas é importante que seja feito isso pois o que irá se ensinar deverá fazer sentido para o aprendiz. Ocorrerá aprendizagem significativa quando o conteúdo que se ensina interage de maneira, também significativa, com a estrutura cognitiva do aprendiz.

Além disso, para que a estrutura cognitiva que já existe no indivíduo ajude na aquisição de um novo conteúdo, é preciso que ela já tenha sido adquirida de forma significativa. Quando se estuda Física II no curso superior, por exemplo, o estudante tem como pré-requisito estudar Física I e o Cálculo I (em algumas matrizes curriculares). Os pré-requisitos não representam o que Ausubel indica como sendo o conteúdo que já existe para ser integrado ao novo conteúdo, até porque, além do fato de que dos conteúdos de tais disciplinas podem não ter sido aprendidos de forma significativa, eles não representam, necessariamente, conceitos que possam interagir com os novos conceitos.

4.2 Características da Aprendizagem Significativa

Podemos definir a ideia central da teoria da Ausubel como sendo a de que, para que a aprendizagem seja Significativa, a nova informação deve interagir de forma "substantiva (não literal) e não arbitrária" (MOREIRA, 2006, p. 19) a um dado aspecto que já deve se fazer presente na estrutura cognitiva do aprendiz. Este aspecto, conceito que já está presente na estrutura cognitiva do aprendiz é chamado de "Conceito Subsunçor", ou simplesmente "Subsunçor".

Este conceito que é preexistente na estrutura cognitiva do aprendiz fará com que a nova informação tenha significado, ou seja, o indivíduo se torna capaz de atribuir significado a essa nova informação. Segundo Moreira, ocorre Aprendizagem Significativa "quando a nova informação "ancora-se" em conceitos relevantes (subsunçores) preexistentes na estrutura cognitiva" (MOREIRA, 2006, p. 20).

Cabe refletir que neste processo, o conceito preexistente não apenas interage com o novo conceito. Pode ocorrer, também, um processo de modificação. O conceito mais inclusivo interage, assimila e se adapta para receber o novo conceito. Cria, desta forma uma relação de ancoragem entre o novo conceito e o preexistente.

No nosso estudo, podemos dizer que se o aprendiz já tem o conceito de simetria (por exemplo, a simetria presente numa esfera), este conceito poderá servir de subsunçor para outros conceitos ou novas informações referentes a outros tipos de simetrias, como a simetria temporal ou a simetria espacial. Isto também sugere que, a interação entre os conceitos, dependerá da qualidade do subsunçor. Queremos dizer que para uma melhor interação, o próprio conceito preexistente deverá estar bem elaborado na estrutura cognitiva do aprendiz, claro, abrangente, estável; e não poderá ser limitado, pouco compreensível e instável.

A frequência com a qual estes conceitos são apresentados influencia diretamente na aprendizagem. Na medida em que novos conceitos são aprendidos de maneira significativa, então isso resultaria em um crescimento e elaboração de novos conceitos subsunçores iniciais. Daí a ideia de se criar novas interações e modificações na estrutura cognitiva do aprendiz; fazendo-o adquirir novos subsunçores.

Em contraposição à Aprendizagem Significativa, Ausubel destaca a Aprendizagem Mecânica. Esta, é automática, não interage com a estrutura cognitiva do aprendiz, ou seja, não existem conceitos subsunçores que possam ser ligados aos novos conceitos. A nova informação é adquirida de forma arbitrária e literal.

Podemos associar esta aprendizagem ao Ensino de Física quando observamos os estudantes preocupados com a memorização de fórmulas, conceitos e dicas para "decorar" algum teorema. Aquele momento de estudo na véspera da prova que serve para o exame, mas que no momento seguinte já não se sabe muito. É o momento em que se sabe na "ponta da língua" todos

os processos do Ciclo do Carbono, escreve na mesa antes da prova e torce para que este conteúdo seja cobrado.

Obviamente que neste tipo de aprendizagem de memorização ocorre associações com outros conceitos, no entanto, podemos dizer que tais associações são superficiais, pois as relações entre conceitos e fórmulas nem sempre são clarificadas. Ocorrem momentos em que a Aprendizagem Mecânica é desejável: quando o aprendiz está conhecendo uma nova gama de conteúdos e conceitos.

Segundo Moreira, "Ausubel não estabelece a distinção entre aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica como sendo uma dicotomia, e sim como um *continuum*." (MOREIRA, 2006, p. 22). Podemos dizer que a memorização de uma fórmula é um extremo desta relação (Aprendizagem Mecânica), a associação crítica das grandezas com conceitos, sua utilização para resolução de problemas e sua interpretação para um melhor entendimento de mundo faria o outro extremo da relação (Aprendizagem Significativa).

Outros tipos de aprendizagem que queremos entender e destacar são os expedientes da Aprendizagem por Descoberta e da Aprendizagem por Recepção.

Podemos dizer que "Na aprendizagem por descoberta, o aprendiz descobre o encadeamento do assunto até chegar ao produto final" (SILVEIRA, 2008, p. 114). Isto não significa que a aprendizagem será significativa. Para tal fim, o conceito descoberto deverá, também, interagir com um conceito subsunçor.

E prossegue, "Na aprendizagem por recepção, o aprendiz recebe o produto final pronto, ele só o processa" (SILVEIRA, 2008, p. 115). Esta aprendizagem não é, necessariamente, mecânica. Tudo depende de como o novo aprendiz irá se adequar à estrutura cognitiva.

Por exemplo, durante o processo de solução de um quebra-cabeça, ocorre uma aprendizagem por descoberta; no entanto, ela não será

significativa. Se a criança desmanchar o quebra-cabeça após a montagem, não repetirá, necessariamente, o processo que usou anteriormente. A aprendizagem não seria significativa, pelo fato de que o conceito aprendido (montagem do quebra-cabeça) não interagiu, obrigatoriamente, com nenhum subsunçor presente em sua estrutura cognitiva.

Já um aluno que aprende uma Lei Física, sendo apresentada diretamente, ou seja, ocorrendo uma Aprendizagem por Recepção, ele pode assimilar significativamente esta lei, caso o conteúdo tenha interagido com algum subsunçor presente em sua estrutura cognitiva. O estudante que conhece o conceito de rendimento tem ciência dos processos que envolvem as transformações gasosas e também do princípio da conservação de energia e assim poderá aprender significativamente a 2ª Lei da Termodinâmica que trata de um enunciado que envolve todos estes conceitos citados.

Podemos resumir a opinião de Ausubel sobre estes tipos de aprendizagem nas palavras de Moreira:

Não se deve, no entanto, pensar que Ausubel negue o valor da aprendizagem por descoberta nem que se deva deixar de lado as aulas de laboratório. Ele está simplesmente dizendo que, em termos de **aprendizagem de conteúdo**, aquilo que for descoberto se torna significativo da mesma forma que aquilo que for apresentado ao aprendiz na aprendizagem receptiva (MOREIRA, 2006p. 17 e 18, grifo do autor).

Isto sugere a nós que não devemos priorizar um tipo de aprendizagem em detrimento da outra com o argumento de que esta teria a chance de ser mais significativa que aquela. Ambas, tanto a Aprendizagem por descoberta quanto a Aprendizagem por recepção, não fazem parte das condições necessárias para fazer com que a aprendizagem seja significativa.

4.3 Condições para que ocorra a aprendizagem significativa

Podemos elencar algumas condições para que ocorra a aprendizagem significativa. A primeira será a respeito do material. Para que a aprendizagem seja significativa o material precisa ser **potencialmente significativo**. Isto quer dizer, o material precisa ser relacionável com a estrutura cognitiva do aprendiz.

É necessário observar duas condições para que isto ocorra: a primeira é a natureza do material, a segunda é a natureza da estrutura cognitiva do aprendiz. Quanto à natureza do material, Moreira nos esclarece sua importância:

Quanto à natureza do material, ele deve ser "logicamente significativo" ou ter "significado lógico", isto é, ser suficientemente não arbitrário e não aleatório, de modo que possa ser relacionado, de forma substantiva e não arbitrária, a ideias, correspondentemente relevantes, que se situem no domínio da capacidade humana de aprender. (MOREIRA, 2006, p. 19)

Quanto à estrutura cognitiva do aprendiz, ele nos esclarece:

No que se refere à natureza da estrutura cognitiva do aprendiz, nela devem estar disponíveis os conceitos subsunçores **específicos**, com os quais o novo material é relacionável. (MOREIRA, 2006, p. 19, grifo do autor)

No que concerne ao material usado na escola, este em sua maioria é elaborado usando certo significado lógico. Portanto, esse material, recebe a incumbência de ser logicamente significativo. Porém, é preciso entender que o aprendizado é idiossincrático. Deve-se, então, criar uma relação entre o material, que é logicamente significativo, com a estrutura cognitiva do aprendiz, se não for assim, o material não será potencialmente significativo.

Desta forma, podemos dizer que mesmo que o material seja logicamente significativo, para que ele se torne potencialmente significativo precisa se relacionar de maneira substantiva e não arbitrária à estrutura cognitiva do aprendiz.

Para encerrar estas breves discussões sobre as condições para que ocorra a aprendizagem significativa, é preciso entender a condição em que está o interesse do aprendiz. De modo que se ele tiver vontade de aprender significativamente um conceito, mas se o material não for potencialmente significativo e - obedecendo a esta condição - não se relacionar de forma substantiva e não arbitrária à estrutura cognitiva do aprendiz, então a aprendizagem será mecânica.

4.4 Condições para Assimilar os Conceitos de Simetria e as Leis de Conservação

Diante do que colocamos até agora, podemos dizer que a aprendizagem significativa é preferível à aprendizagem mecânica. No entanto, há situações em que a aprendizagem mecânica é necessária, para a assimilação de novos conceitos. O importante é buscar garantir que após a assimilação desses novos conceitos, de forma introdutória, estes possam se tornar subsunçores para aquisição de conceitos mais complexos.

Desta forma, podemos começar a refletir sobre, de onde nascem os subsunçores? Moreira diz que "a resposta é que a aquisição de significados para signos ou símbolos de conceitos ocorre de maneira gradual e idiossincrática em cada indivíduo." (MOREIRA, 2006, p. 20)

Uma criança, por exemplo, aprende conceitos e símbolos através do método da descoberta, criando hipóteses e realizando testes, criando generalizações. Muitas vezes, ela entende o que significa "tomar um choque", apenas quando coloca o dedo numa tomada. A partir daí, sempre que tiver a chance de colocar o dedo na tomada, poderá escolher, pois já tem o conhecimento estabelecido em sua estrutura cognitiva.

A partir desta aquisição de conceitos, a criança passa a diferenciar e adquirir novos conceitos através da assimilação de conceitos. Neste caso, já envolve a interação entre conceitos pré-existentes e os novos conceitos. Por exemplo, a criança aprende o conceito de "gato" por conviver com estes animais, então, passa a fazer associações e verificar quais são as condições para ser um gato como "miar" e comer determinados alimentos; e estas condições passam a se tornar novos conceitos que se associam ao subsunçor "gato".

Fazendo uma relação com o nosso tema central, os primeiros contatos que a criança tem com as simetrias vem dos objetos. Alguns objetos geométricos terão a mesma forma após uma operação de rotação. Neste caso, a invariância estaria relacionada à transformação por rotação. O conceito pré-estabelecido que sirva de subsunçor é a transformação por rotação - vale

complementar que não se torna imprescindível que a criança conheça este conceito com estes termos.

Trazendo uma nova informação, uma nova situação física, como a de que a Energia Mecânica se conserva perante uma simetria temporal, mostraremos um novo conceito que, se houver interação com um conceito pré-existente, irá modificar aquele conceito que já existe. Este novo conceito se torna, agora, um conhecimento prévio que precisa existir na estrutura cognitiva do aprendiz.

Desta vez, estamos mostrando outro elemento que não se modifica perante uma transformação. Não sendo mais uma forma geométrica e sim um importante conceito unificador da natureza física, a Energia, que permanece constante perante a mudança (se conserva).

Outro subsunçor que deve se modificar é do elemento que sofre transformação. Anteriormente, pretendíamos que o aprendiz conhecesse a transformação por rotação. Nesta etapa ele precisa perceber a translação temporal como elemento de transformação.

A partir daí o aprendiz precisa começar a construir um corpo de conteúdos e conceitos para o qual em cada situação ele associa o tipo de simetria existente. Se a situação for um "problema", então ele conseguirá buscar na sua estrutura cognitiva o conceito (conteúdo) para resolvê-la.

O elemento principal da teoria - aquilo que o aprendiz já sabe e, por conseguinte, ensinar de acordo - sugere que a estrutura cognitiva do aprendiz pode ser estimulada por integrações metodológicas, unificação de conceitos e uma reorganização dos subsunçores. Por este motivo, precisa-se organizar o material ao ser aplicado para que seja potencialmente significativo, colocando-o numa linha de ação que possa interagir com os conhecimentos prévios do aprendiz.

Podemos elencar, para o nosso trabalho, quais são os subsunçores que o aprendiz precisa ter para o aprendizado de cada conceito posterior:

- 1) Para aprender sobre a relação entre a simetria espacial e a conservação da quantidade de movimento (momento linear), é necessário que o aluno conheça o conceito de quantidade de movimento, espaço, translação.
- 2) Para aprender sobre a relação entre a simetria temporal e a conservação da Energia Mecânica, é necessário que o aprendiz já conheça de antemão, o conceito de Energia, especialmente os conceitos de Energia Cinética, Energia Potencial, Energia Mecânica; ou seja, a Energia da situação física na qual esteja trabalhando.

É importante verificar quais as situações em que podemos associá-las com o conteúdo. Isto significa que precisamos verificar quais os potenciais significantes, já presentes na estrutura cognitiva do aprendiz. "O que tem potencial significativo são as situações que darão sentido aos conceitos novos e aos conceitos subsunçores necessários para a compreensão dos conceitos novos" (SILVEIRA, 2008, p. 121).

Podemos dizer que aquilo "que tem potencial significativo", colocado por Silveira, nada mais é do que algum elemento que possa ser usado, dentro da estrutura cognitiva do aprendiz, para apresentar um novo conceito. Os casos de simetria temporal e espacial podem ser encontrados em situações do cotidiano, como um carro em alta velocidade, um ciclista andando na rua ou um tijolo caindo ou subindo em uma construção.

No caso do ensino de simetrias, indicamos priorizar, no início, as simetrias mais simples e visuais. Aquelas que temos como proposta neste trabalho (espacial e temporal) podem ser usadas em qualquer série do Ensino Médio, pois o estudante já teria todos os subsunçores necessários para tal fim.

Podemos dizer que o uso de uma teoria deve ser feito para que a prática do ensino tenha um encaminhamento didático mais preciso. Cabe ao professor escolher que tipo de teoria ele tem maior afinidade. No nosso caso, a aprendizagem significativa parece ser um bom caminho, pois se refere a um

tipo de ensino progressivo, valorizando o aprendiz e demonstrando a importância do conhecimento que ele já tem de antemão.

Pode ocorrer, também, o caso do indivíduo não possuir subsunçores relativo a certo conteúdo. Como proceder?

Há um momento em que o indivíduo adquire certa maturidade intelectual, o que lhe dá possibilidade de aprender e assimilar conceitos a partir do método da recepção. Ou seja, sem a necessidade de utilizar estratégias empíricas, lúdicas ou qualquer outra que envolva os sentidos de percepção. Porém, se estas informações não forem associadas a conceitos que ele já possui, então a aprendizagem não será significativa. O que fazer, então, quando o aprendiz não possuir os subsunçores necessários? O que fazer se, no nosso caso, o aprendiz não conhecer os conceitos de quantidade de movimento (momento linear), espaço, Energia, translação, Energia Mecânica, Energia Cinética, Energia Potencial?

Segundo Novak (1977), a aprendizagem mecânica pode se tornar necessária para fazer com que o aprendiz possa adquirir novas informações, relevantes para aprendizagem de conceitos mais complexos. Porém, é importante ressaltar que a aprendizagem mecânica, neste caso, deve ocorrer até o momento em que o aprendiz adquira elementos, de uma nova área, necessários para assimilação de novas informações. Estas primeiras informações passam a se tornar subsunçores, ainda que pouco elaborados, para conceitos mais complexos. Na medida em que a aprendizagem significativa ocorre, esses subsunçores se tornam cada vez mais elaborados; capazes de se tornar ancoradouros para novas informações. (MOREIRA, 2006)

Segundo Ausubel, é importante se utilizar de organizadores prévios. Eles servem de ancoradouro para o novo conhecimento. Desta forma, pode se facilitar o desenvolvimento de novos subsunçores, subsunçores esses que ajudam na assimilação de conteúdos que serão vistos no futuro. Moreira define os organizadores prévios como:

materiais introdutórios, apresentados antes do próprio material a ser aprendido, porém, em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade do que esse material. Não são, portanto, sumários,

introduções ou "visões gerais do assunto", os quais são, geralmente, apresentados no mesmo nível de abstração, generalidade e inclusividade do material que os segue, simplesmente destacando certos aspectos. (MOREIRA, 2006, p. 23)

Segundo o próprio Ausubel:

a principal função do organizador prévio é servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele precisa saber para que possa aprender significativamente a tarefa com que se depara (AUSUBEL, 1978, p. 171 apud MOREIRA, 2006, p. 24)

Podemos dizer que alguns subsunçores não são suficientes para que o aprendiz possa aprender significativamente alguns conceitos. Os organizadores prévios servem como pontes que realizam a ligação entre aquilo que o aprendiz já sabe o que ele precisa aprender no momento. Eles fazem isso fornecendo ao aprendiz um modelo de ideias para uma incorporação estável de conceitos detalhados e diferenciados que vêm após aqueles conceitos que deverão ser aprendidos.

O organizador prévio pode ser constituído de um texto introdutório, um filme ou vídeo, uma discussão sobre um determinado tema, uma demonstração experimental. Tudo depende da situação da aprendizagem, do conteúdo que irá ser trabalhado e dos materiais que estão disponíveis.

No nosso trabalho nós precisamos verificar quais os subsunçores necessários (listados acima) que os estudantes possuíam. Após este ponto, precisamos organizar que material poderíamos utilizar para servir de organizador prévio e o que poderia conter neste material para fazer a ligação entre o que o aprendiz já sabe o que ele irá aprender. Nesse cenário a teoria da Transposição Didática que abordaremos a seguir pode auxiliar numa adequação do material de ensino visando preencher essas lacunas.

Após aferir, de forma superficial, quais os subsunçores que os estudantes possuem^{10 11}, é necessário determinar o tipo de material e as

¹⁰ Esclarecemos aqui que aferir quais são os subsunçores presentes na estrutura cognitiva do aprendiz se torna um expediente extremamente difícil de empreender. Desta forma, o que fazemos é indicar, superficialmente, conceitos que os estudantes possam saber, a partir das estratégias de avaliação que foram inseridas durante o nosso trabalho.

estratégias que vão nortear o trabalho para a aprendizagem de fato, assim que os organizadores prévios possam ser aplicados. Vale ressaltar que o organizador prévio não representa o conteúdo que se quer ensinar e sim um elo entre a estrutura cognitiva do aprendiz e o conteúdo mais complexo propriamente dito.

4.4 A Transposição Didática

Para que um conceito científico é integrado a um certo nível de ensino mais elementar, ele sofre uma Transposição Didática para ser inserido neste nível. Ou seja, um novo conceito que será ensinado na escola precisa ser transformado, adaptado, em muitos aspectos, para alcançar um nível de compreensão em sala de aula. Como este processo ocorre, vamos entender agora.

Essa ideia de Transposição Didática foi originalmente formulada por Michel Verret, em 1975. Mas foi o matemático Yves Chevallard que retomou a ideia e a transformou em teoria. Fez isso analisando questões da Didática da Matemática.

Segundo essa teoria, um saber ou um conceito ao ser transferido de um contexto a outro sofre diversas e complexas modificações. No momento que um conceito é ensinado, ele deve seguir semelhanças com o conceito original (conceito adquirido e desenvolvido no momento da pesquisa científica). A questão é que esses conceitos adquiridos na pesquisa científica adquirem características próprias do ambiente escolar no qual está inserido.

Falando de uma forma geral, Chevallard não deseja que os saberes ensinados sejam meras simplificações dos saberes adquiridos nos laboratórios com o objetivo do suposto entendimento. São, na verdade, novos saberes que são capazes de responder às perguntas gerais (feitas pelos cientistas e respondidas em suas pesquisas), mas que se adaptam ao contexto escolar, a

¹¹ Os objetos de avaliação que inserimos estão descritos na Seção 6. Trata-se da inserção de questionários objetivos e de uma discussão orientada sobre os conceitos abordados no trabalho (Relações entre Leis de Simetria e Princípios de Conservação).

maturidade conceitual do estudante e a maturidade conceitual do professor (que tem uma gama de conceitos diferentes daquela dos cientistas).

É importante que o conhecimento científico escolar seja fundamentado no conhecimento científico produzido pelos cientistas. Além disso, é fundamental que este conhecimento produzido por cientistas se torne um Paradigma, ou seja, que já tenha sido aceito de uma forma consensual pela comunidade científica (BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005, p. 389). O conhecimento adquirido na academia acaba tendo a necessidade de ser adaptado ao ambiente das salas de aula.

Esse argumento pode fazer com que imaginemos que os conceitos (saberes) que são trazidos para serem ensinados e os que os estudantes fundamentalmente aprendem, estão distantes dos saberes adquiridos no mundo acadêmico. Em outras palavras, parece que os saberes escolares são simplificados ou distorcidos de sua ideia original.

A simplificação é um expediente perigoso. Ou alguns conceitos são simplificados a ponto de serem apresentados com erros conceituais, ou a simplificação é tanta que acaba se tornando não inteligível ao aluno ou se afastando do significado de sua ideia original/científica. Sem entendimento, aquele conhecimento não demonstra nenhum significado ao estudante. Vemos no comentário de Robilotta uma sensação coerente deste aspecto da simplificação:

O conhecimento englobado pela Física forma um corpo articulado de modo complexo, e parte da dificuldade de se ensinar essa disciplina advém do fato de não reconhecermos ou considerarmos essa complexidade em toda a sua extensão. Ao tratarmos de modo simplificado um corpo de conhecimento que é muito complicado e repleto de sutilezas, podemos acabar por fazer com que ele se torne ininteligível aos estudantes. (ROBILOTTA, 1988, p. 7)

Existem modelos simplificados que remetem ao processo de modelagem científica. Estes modelos auxiliam o aprendizado, pois transformam situações complexas em situações mais simples. Um problema analisado é que este aspecto modelador, que é diferente da simplificação, não é informado ao aluno-leitor. Isto impede a percepção do saber científico, ou seja, impede o

exercício do pensamento crítico quanto aos problemas que analisa e, sem dúvida, constitui uma limitação conceitual: o aluno acha que todas as situações com aquele problema acontecem daquela forma. Um exemplo na Física que percebemos esta modelagem científica é quando desprezamos as dimensões de um corpo na situação em que ele é muito pequeno em comparação ao ambiente.

Esta “simplificação” gera, na verdade, um novo saber, com novo estatuto epistemológico, o Saber Escolar (BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005). É preferível que se crie um novo saber. O que se deseja descobrir são o rigor, a motivação, as condições do entorno e o contexto na escola, pois esses são diferentes quando comparados ao trabalho da pesquisa científica. A comprovação de que existe um saber diferente e adaptado ao contexto escolar é que existem atividades, exercícios, objetos e áreas de estudo que não estão conectados com as áreas de pesquisa que deram fundamentação àqueles conteúdos.

Um exemplo de modelagem que encontramos na prática do Ensino de Física é a abstração dos atritos quando se analisa o movimento de um carrinho na montanha-russa. Outro exemplo é a apresentação do campo elétrico de um condutor eletrizado (quase que exclusivamente um condutor esférico) sem a abordagem da Lei de Gauss de análise da simetria do campo. Certamente, o primeiro exemplo nunca foi objeto de pesquisa. O segundo é mostrado usando uma modelagem científica para que a assimilação seja mais efetiva.

É preciso entender que as simplificações fazem parte do processo de Transposição Didática. Em muitas vezes é preciso restringir o conteúdo para que ele se enquadre melhor à realidade do aprendiz que exercita o seu próprio conhecimento. A linguagem, a abordagem e o formalismo empregado na pesquisa científica são distintos daqueles empregados na realidade escolar. A maturidade do aluno é diferente da maturidade do pesquisador. A gama de conceitos adquiridos pelo pesquisador é, em geral, maior – quando consideramos sua área de atuação. Por tudo isso, vemos que as simplificações são importantes durante este processo.

Quando analisamos a evolução do saber que se encontra na sala de aula através da Transposição Didática, passa a ser possível uma fundamentação teórica para uma prática pedagógica mais reflexiva e questionadora (BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005). Desta forma, podemos dizer que este processo auxilia o professor a obter uma gama de conhecimentos maior e mais elaborado. Deste modo, conhecendo melhor os conceitos que vai abordar, capacita-se a trabalhar com ele de uma forma mais objetiva, eficiente e autônoma.

4.5 Configuração da Transposição Didática

Chevallard demonstra que o relacionamento entre o saber construído nas pesquisas científicas (Saber Sábio) e o saber reconstruído e assimilado pelos alunos (Saber Ensinado) é um ponto fundamental em toda didática. Esta relação ocorre dentro de um ambiente complexo e dinâmico. Um ambiente que configura um contexto escolar: o Sistema Didático; este é um pequeno universo que está circunscrito a um ambiente externo: o Sistema de Ensino. Desta forma, percebe-se que não se pode desvincular totalmente o Saber Ensinado do Saber Sábio. As simplificações e modelagens que são feitas para que o entendimento – do estudante – aconteça não devem modificar substancialmente o conhecimento original.

Podemos dizer que o Sistema de Ensino se encontra dentro de um contexto ainda mais amplo e complexo que é a Sociedade. Fazendo uma analogia, podemos dizer que a sala de aula seria o ambiente que chamamos de Sistema Didático e a escola é o ambiente externo que chamamos de Sistema de Ensino. Essas relações entre sala de aula, escola e sociedade representam o contexto no qual o professor está inserido. Cada ambiente com características próprias, no qual aqueles elementos mais externos influenciam na forma de atuação dos mais internos.

Para mediar a relação entre a Sociedade e o Sistema de Ensino existe a noosfera, que Chevallard afirma que é o ambiente onde

se encontram todos aqueles que, tanto ocupam os postos principais do funcionamento didático, se enfrentam com os

problemas que surgem do encontro da sociedade e suas exigências; ali se desenvolvem os conflitos; ali se levam a cabo as negociações; ali se amadurecem as soluções. (CHEVALLARD, 1991 apud BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005, p. 391)

Sempre se pensou o Sistema Didático na pedagogia tradicional como uma peça de dois atores: professor e aluno. Por ser um sistema composto apenas por seres humanos, as análises de natureza sociológica são limitadas. Na ideia de Chevallard, existe a necessidade de se inserir o próprio conhecimento como ente atuante no Sistema Didático. Desta forma, o aporte sociológico não é suficiente para dar fundamentação à análise do Sistema de Ensino. Logo, é necessário o aporte do conhecimento, do Saber. Assim, podemos dizer que foi criada uma tríade no sistema: professor, aluno e Saber.

A presença do saber enquanto ente do Sistema Didático cria, em primeira instância, duas relações fundamentais: a relação professor-saber e saber-aluno. Chevallard afirma que devemos incluir o saber como elemento fundamental no processo. Isto faz com que as reflexões de como este saber está sendo apresentado e como este saber passeia confortavelmente ou não na sua relação com o professor podem se tornar um ponto positivo dentro da prática de ensinar. É importante ressaltar que tanto o saber como elemento fundamental no processo bem como a maneira com a qual este saber passeia confortavelmente ou não na sua relação com o professor representam fatores elementares dentro do processo de aprendizagem por parte do aluno e do processo de ensino por meio do professor.

Já dissemos que o saber sofre um processo de transformação quando vai do ambiente científico até a sala de aula. Existem fatores externos ao ambiente escolar em que as três esferas (Saber Sábido, Saber a Ensinar e Saber Ensinado) coexistem e se influenciam. Sabe-se que nem tudo que vem do ambiente externo influencia na dinâmica da sala de aula, porém, ainda assim, este ambiente que parece estar alheio ao ambiente escolar tem preponderância em muitos aspectos, não necessariamente em relação aos saberes. As esferas definidas por Chevallard têm suas organizações próprias, grupos sociais e interesses distintos. Porém elas compartilham interesses comuns quando chegam neste ambiente externo.

Existem agentes que são atuantes nas transformações que o Saber Sábio sofre. Esses agentes são definidos como

reguladores, determinantes para a seleção e, principalmente, para as modificações que o Saber Sábio sofrerá, são os componentes dos bastidores de todas as mudanças, definidos por Chevallard como a **noosfera**. (CHEVALLARD, 1991 apud BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005, p. 393, grifo do autor)

A noosfera é composta, então, por agentes do conhecimento e do ambiente escolar. São eles os cientistas, professores, pais de alunos, educadores, políticos, secretários escolares, autores de livros didáticos entre outros que estão presentes no processo. Desta forma, a noosfera é um ambiente de debate construtivo para que os saberes sejam compreendidos e adaptados ao que o estudante deve e pode aprender.

Diante destas reflexões, vamos apresentar as Esferas do Saber definidas por Chevallard.

O Saber Sábio: Este é o Saber Científico. Seu objeto “está mais associado à vida acadêmica, embora acreditemos que nem toda produção acadêmica possa representar um saber científico” (PAIS, 2010, p. 21). Este conhecimento é construído nas universidades e nos institutos de pesquisa. Porém, nem todo conhecimento científico está diretamente relacionado ao ensino nas escolas. Este saber é apresentado nos artigos científicos, congressos, encontros e livros publicados no ambiente acadêmico.

Para que este tipo de conhecimento esteja presente dentre aqueles apresentados aos alunos é necessário que ele seja considerado, antes de tudo, um Paradigma. Que seja aceito pela comunidade científica. Que tenha relevância no contexto social e educacional.

O Saber a Ensinar: Quando o Saber Sábio sofre uma transformação, passando a adquirir a linguagem e a estrutura didática para ser ensinada ao aluno, passa a ter uma nova face. *O Saber a Ensinar* pode ser assim conceituado segundo Pais: “trata-se de um saber ligado a uma forma didática que serve para apresentar o saber ao aluno.”. (PAIS, 2010, p. 21)

São, efetivamente, os saberes apresentados nos livros didáticos, programas, apostilas e cartilhas. As simplificações observadas anteriormente são apresentadas neste saber.

O Saber Ensinado: Baseado no Saber a Ensinar, este é o saber registrado nos diários de classe. Este, não necessariamente coincide com o Saber a Ensinar. Nesta esfera, a transformação ocorrida pelo Saber a Ensinar tem como agente principal o professor. Além da sua relação com os alunos e a percepção quanto a necessidade de abordar mais um certo conhecimento que outro. Neste momento as modelagens se constituem em abordagens, algumas analogias, exemplos e exercícios que ilustrem certos conceitos que também podem ser utilizados na transposição.

Podemos observar que “nessa esfera há, portanto, o predomínio de valores didáticos” (BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005, p. 394). Neste momento, convém ressaltar que a finalidade é apresentar o conhecimento para o aluno, em um nível que esteja compatível com a sua compreensão. Esta “transposição está voltada para o trabalho do professor em sua prática diária.” (Idem). Devendo-se ter o cuidado de não levar a distorção da ideia científica original.

4.6 Aplicação da Transposição Didática nas Relações entre Leis de Simetria e Princípios de Conservação

Na literatura, encontramos um bom material para se estudar a relação entre as Simetrias e as Leis de Conservação. No entanto, este material é mais bem aplicado para aqueles que buscam um entendimento na Física Avançada. Por isto, sentimos a necessidade de fazer uma Transposição Didática, fazendo com que este conhecimento possa ser inserido no nível do Ensino Médio.

Neste caso, o Saber Sábio é colocado de forma extremamente analítica. A linguagem é formulada usando termos da Mecânica Analítica. Como vemos no trabalho de Martins:

O termo simetria em Física refere-se a um conjunto de transformações definidas num grupo que levam uma expressão ser invariante na sua

forma: dizemos então que o sistema é invariante sob aquela transformação ou que ele apresenta uma simetria no parâmetro da transformação. (MARTIS, 1999, p. 33)

Percebemos, no excerto acima, que a linguagem não é equivalente àquela usada nos livros didáticos do Ensino Médio. Precisamos, então, transpor didaticamente estes conceitos, adaptá-los, colocar no vocabulário referente àquele de um adolescente. Não dizemos aqui que vamos usar a linguagem coloquial. Apenas vamos utilizar palavras que estão mais próximas da realidade dos estudantes que vamos entrar em contato.

Obviamente que não é viável apresentar conceitos desta forma para os alunos do Ensino Médio. Vamos agora dar um exemplo de como poderíamos escrever este texto de Martins com uma linguagem mais próxima daquilo que queremos inserir; poderíamos enunciar assim:

A palavra Simetria em Física indica que um conjunto de transformações, ocorrendo dentro de um sistema, pode representar que este sistema obedeça a alguma operação de Simetria. Caso, após a transformação, não se perceber nenhuma diferença, verifica-se, aí, uma Simetria nos termos dos parâmetros desta transformação.

Martins continua seu trabalho com um exemplo de algo invariante dentro da 2ª Lei de Newton do Movimento - a Lei Fundamental da Dinâmica - ele chama de formalismo Newtoniano.

$$\vec{F} = m \cdot \left(\frac{\partial^2 \vec{x}}{\partial t^2} \right) \quad (5.1)$$

O autor sugere que, para forças deste tipo, as equações de movimento expressas na equação 1, são invariantes sob transformações de Galileu do tipo:

$$t' = t + \Delta t, \quad \vec{x}' = \vec{x} + \Delta \vec{x} + \vec{v}t \quad (5.2)$$

Além disso, complementa argumentando que "ao referir-me ao termo invariância, estarei me referindo à invariância da lagrangeana sob operações de deslocamento em suas coordenadas generalizadas, não em sua equação de movimento" (MARTINS, 1999, p.34).

Além de ser necessário apresentar a Lei de Newton como se conhece no Ensino Médio é importante fazer uma reflexão sobre os esquemas matemáticos mostrados na Equação 2. Este é um ponto que acreditamos que seja possível apresentar aos estudantes de uma maneira mais didática, segundo uma abordagem teórica, conceitual e menos analítica que aquela do caso do texto de Martins.

Fazendo uma Transposição Didática do que foi colocado para a simetria da Lei de Newton, podemos admitir a Equação 1 como sendo:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad (5.3)$$

Para fazer referência ao que se mostra na Equação 2, sobre forças deste tipo serem invariantes nos termos das transformações de Galileu, criamos um texto teórico, determinando a reflexão de tais termos:

Considerando a expressão que demonstra a 2ª Lei de Newton, como a relação entre força, massa e aceleração - um corpo para ser acelerado, ou seja, sair do seu estado de Inércia, é necessário que seja aplicado a ele uma força externa. Isto ocorre independentemente do tempo ou da posição do corpo. Ou seja, em qualquer instante ou em qualquer lugar, a relação entre força, massa e aceleração será sempre esta.

Martins também define o que significa Conservação, em Física. Se temos uma grandeza G, ela será conservada se:

$$\frac{dG}{dt} = 0 \quad (5.4)$$

E define a conservação no texto:

"O termo conservação é utilizado aqui no sentido que uma particular expressão que caracteriza um sistema, efetuada num instante t_0 , é independente de t , ou seja, é uma constante de movimento." (MARTINS, 1999, p. 34)

Mais uma vez, aqui, sentimos a necessidade de transpor didaticamente estes saberes. No caso da Equação 4, acreditamos que basta uma mudança na notação de variação. Percebemos que se usa muito pouco

uma definição matemática para a Conservação. O máximo que percebemos é a indicação de que algo se conserva se sua variação é nula. Acreditamos ser importante a indicação de que algo é constante se sua variação é nula no decorrer do tempo.

Podemos reescrever a Equação 4 assim:

$$\frac{\Delta G}{\Delta t} = 0 \quad (5.5)$$

Estes exemplos nos mostram o quanto é possível buscar conhecimento acadêmico e que este conhecimento pode e deve ser aplicado no ensino. Aliás, muitos conteúdos se tornariam mais simples de se entender caso algumas demonstrações, mesmo teóricas, ocorressem ao se aprender no Ensino Médio. Um exemplo que pode ser explorado em trabalhos futuros seria o de inserir a Lei de Gauss para determinação dos Campos Elétricos - mais um elemento que se utiliza de Simetrias.

Nas próximas seções vamos ver como inserimos estas estratégias, tanto da Aprendizagem Significativa quanto da Transposição Didática, numa turma de Ensino Médio. Primeiro, esclarecendo como fora produzido um Blog Educacional focado na História e na Filosofia da Ciência. Depois, os aspectos metodológicos que utilizamos para inserção do nosso material.

5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

5.1 Uso do Blog no Ensino de Ciências

Nesta seção vamos demonstrar o nosso produto educacional. Durante nossa revisão de literatura, produzimos textos sobre o tema abordado na seção 3: Relações Entre os Princípios Causais, Princípios de Conservação e Leis de Simetria, com tudo, o nosso meio de divulgação foi através do Blog.

Vamos entender nesta seção o que é um Blog, algumas formas de utilizar seus recursos para o ensino e, também, vamos descrever como foi nossa experiência ao utilizar um Blog Pessoal e o Blog criado para fins didáticos.

5.1.1 O que é um Blog?

Vamos definir o que é um blog nas palavras de Fogaça (2011):

Um *blog* é uma página da *web* e provém da palavra inglesa *weblog*, onde “*web*” significa rede e “*log*” significa registro. Um *blog* é um sítio (*site*) da internet que atualiza suas páginas com frequência maior do que a da maioria dos outros tipos de sites (FOGAÇA, 2011, p. 33, grifos da autora).

O blog tem alguns elementos básicos que podemos destacar: uma coluna principal com o título de cada texto que fora produzido, a data, o nome do autor, o corpo do texto criado pelo autor, um botão para o leitor inserir seu comentário, uma ou mais barras de complementos, menus com temas, links para outras referências. (FOGAÇA, 2011)

Uso das tecnologias não é mais novidade no cotidiano do ser humano no nosso atual século. As Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC's) estão presentes em todos os ambientes e compõem a cultura da atual sociedade. É uma verdadeira revolução tecnológica. Ela atravessa as barreiras dos continentes e se expande mundialmente com o apoio da globalização (FRAGA, et al, 2011)

Uma estratégia para estimular atividades num ambiente que vai além da escola seria a de utilizar a Internet, os sistemas e os computadores. Daí, escolhemos montar um blog vinculado ao nosso tema central: História e Filosofia da Ciência.

Hoje em dia, a cultura do blog não é mais estranha na sociedade. Muitos portais de notícias trazem os blogs dos seus colunistas para dar suas opiniões e o sucesso é animador. A ideia é de utilizar a tecnologia em favor do conhecimento e da democratização da informação e da opinião. Usamos a tecnologia com o objetivo de aproximar o professor e o aluno.

Inicialmente, usamos a ferramenta como um diário de bordo. Um elemento esquematizador no qual o material de cada aula era ali postado, além de links para outros sites onde o estudante poderia ter um material a mais para se aprimorar. O aluno poderia deixar seus comentários e dúvidas, além da possibilidade de abrir discussões mais diretas sobre os temas que iríamos estudar. Paulatinamente, a adesão foi aumentando, a participação era cada vez mais massiva e interessante. O objetivo do Blog estava começando a ser alcançado, aproximar os estudantes dos conteúdos que estavam inseridos nele.

Para inserir o tema das Relações Entre os Princípios de Conservação e as Leis de Simetria com um contexto Histórico e Epistemológico foi necessário superar algumas dificuldades: a dificuldade de encontrar materiais de qualidade sobre o tema, a falta de interesse dos próprios professores em estudar o tema, o paradigma de que a Física - como ciência natural - é objetiva, empirista e deste modo não se coadunaria com eventuais debates históricos e filosóficos.

Desta forma, o que fazer? Bem, nossa primeira ideia foi a de criar um blog focado neste nosso tema. Além dele servir para os nossos alunos, seria um material a mais para outros professores indicarem aos seus alunos. Assim poderíamos ajudar a estimular o uso da História e Filosofia da Ciência nas aulas de Física do Ensino Médio com o auxílio da tecnologia.

No seu uso pedagógico, segundo Pimentel, et al (2010), o Blog pode ser classificado em duas categorias que vamos listar aqui:

- Blog aberto: os alunos participam da construção do Blog, inclusive criando os post e seu conteúdo.

- Blog fechado: o professor tende a seguir o cronograma de conteúdos. A sequência de aulas que foram dadas. Serve para que os alunos acompanhem as aulas, interagindo através da postagem de comentários.

As duas classificações são importantes e válidas. Qual será usada? Depende muito das concepções de educação que o professor possui. Suas ideias sobre como pode provocar o exercício em prol do conhecimento é que dirá se ele usará o Blog e como irá usar.

5.1.2 Porque Usar os Blogs?

Podemos dizer que uso dos blogs vem crescendo na medida em que eles “têm sido usados como um poderoso instrumento de expressão pessoal e de escrita colaborativa, seja a partir de sites individuais, o que é o mais comum na web, seja de forma coletiva, em blogs escritos por vários autores ao mesmo tempo.” (OLIVEIRA, 2006, p. 336)

Entendemos, de forma clara, um processo histórico inicial e de como os blog se tornaram tão populares nas palavras de Pimentel (2009):

Desde a criação, em 1991, por Tim Berners Lee, e a divulgação, em 1996, por Dave Winer (ambos disputam o título de pai dos blogs), o weblog, ou simplesmente blog, tem sido utilizado por milhares de usuários da Rede WWW como uma interface comunicacional, variando seus estilos e suas propostas e às vezes fugindo de sua ideia original: a de ser um diário pessoal na Internet. (PIMENTEL, 2009, p. 75)

Podemos ver que os blog podem ser utilizados de diversas formas, como quase tudo na Rede WWW. Cabe aqui o registro da importância de se estimular e orientar, sempre, os nossos estudantes a procurarem materiais que possam desenvolver competências que o ajudem a crescer e adquirir conhecimentos interessantes.

No meio acadêmico, os blogs vêm sendo utilizados e sua importância é bastante relevante. Oliveira (2006) afirma que:

Seu uso tem sido difundido cada vez mais como objeto de aprendizagem, encarnando, com grande entusiasmo, ser o vetor de um modelo de ensino-aprendizagem no qual a construção coletiva de significados representa um novo saber educativo. (OLIVEIRA, 2005, p. 336)

No campo educacional, sabe-se que o ambiente virtual, os cursos a distância, as plataformas de ensino, as vídeo-aulas em sites como o YouTube representam alternativas que, aos poucos, estão sendo inseridas nos cursos de formação profissional, graduação e pós-graduação. Cursos de preparação para concursos já disponibilizam aulas online, cursos de graduação (alguns de pós-graduação) oferecem disciplinas que são feitas a distância, escolas técnicas disponibilizam ambientes virtuais de aprendizagem para serem explorados por seus professores e alunos.

O blog se torna, neste ponto, um bom elemento, simples, rápido de fazer e de administrar, que todos podem ter acesso (seja a partir de um computador, de um celular ou ainda de um tablet). Ele permite uma maior reflexão sobre o conteúdo e suas estratégias; em suas postagens, o professor pode receber críticas, elogios e sugestões. Isto o ajuda a determinar novas estratégias e modificar na medida em que sentir necessidade de fazê-lo.

A necessidade de atualização é indispensável na vida acadêmica. Pimentel (2009) nos diz que "o professor blogueiro busca em outros sites e blogs informações para compartilhar com os alunos. Isso o coloca em permanente atualização de conteúdos" (PIMENTEL, 2009, p. 78). Esta ferramenta nos ajuda e nos estimula a buscar novidades. Não dizemos aqui que, para que algo seja bom é preciso ser novo, porém, é importante obter um campo maior de estratégias para o ensino.

O Blog tem o poder de criar uma atividade fora da sala de aula. Com este material o professor pode estimular os alunos a pesquisarem mais, estudarem mais e buscarem diferentes fontes de pesquisa. O Blog se torna um instrumento para desafiar os estudantes. Ele também se torna um meio de divulgação da escola, dos trabalhos dos alunos e do professor para qualquer lugar do planeta. Podendo aparecer sugestões, críticas e elogios de qualquer pessoa que tenha um computador ou smartphone ligado à Internet.

Outra vantagem interessante dos blogs é o acompanhamento dos pais. Com ele a família pode saber do dia-a-dia do filho ou da filha, conhecendo os conteúdos que estão sendo trabalhados bem como as atividades que estão sendo desenvolvidas etc. Nas chamadas aulas convencionais, isto não é

possível. Além disso, o Blog ainda pode servir como um instrumento de avaliação paralela. Através dele o professor pode inferir a evolução do aluno a partir da análise de suas postagens, comentários e participações no decorrer do curso ou do ano letivo.

5.2 Metodologia

Como nosso objetivo era o de demonstrar a relação entre as Leis de Simetria e os Princípios de Conservação, precisamos determinar qual o público alvo. Por se tratar de um tema que a Física se apropria e, na maioria das escolas públicas, só se estuda Física no Ensino Médio, nossa ênfase foi trabalhar com alguma turma nesta faixa de escolaridade. Determinamos que a pesquisa seria numa turma de 1ª série do Ensino Médio, pela capacidade interpretativa e, também, por ser a série que inicia este ciclo. Outro fator que pensamos ser favorável nesta escolha foi a de que todos os estudantes que estariam na 1ª série do EM irão aprender sobre Energia, Conservação da Energia, Quantidade de Movimento (Momento Linear) e Conservação da Quantidade de Movimento neste período escolar. Isto indicaria que poderíamos apresentar nosso trabalho em parceria com o trabalho do professor que estaria trabalhando estes conteúdos.

Na busca pela escola, consultamos o site do MEC (Ministério da Educação) para pesquisar os resultados do Ideb (Índice de Desenvolvimento da Educação Básica). Nossa ideia era de buscar uma escola que estivesse num nível intermediário dentro do estado de Alagoas. A escola escolhida fica localizada num bairro próximo ao centro da cidade, e que abriga alunos de regiões próximas. O nome da escola é Escola Estadual Alberto Torres. A localização da escola é no bairro do Bebedouro, que podemos ver no mapa na Figura 5.1. A pesquisa se deu entre os meses de Outubro e Novembro do ano de 2016.

Esta pesquisa teve caráter qualitativo por meio do qual se

Busca o entendimento de fenômenos complexos específicos, em profundidade, de natureza social e cultural, mediante descrições, interpretações e comparações, sem considerar os seus aspectos numéricos em termos de regras matemáticas e estatísticas. (FONTELLES, et al, 2009, p. 06)

Foram feitas observações, debates e discussões em grupo, exposição de ideias por parte dos estudantes, comentários a partir a partir de suas ideias. Para fins de registro temos gravação em áudio de todos os encontros com a turma. Não temos vídeos nem fotografias para preservar a identidade dos envolvidos na pesquisa.

Figura 5.1: Mapa da Cidade de Maceió.



Fonte: <http://www.bairrosdemaceio.net/site/index.php?Canal=Bairros&Id=51>,
acessado em 05 de Dezembro de 2016, às 22h30.

A escola tinha três turmas de 1ª série do EM. Escolhemos aleatoriamente a turma C, que tinha um total de 30 estudantes. Assim pudemos comparar o desempenho desta turma com as outras. Segundo o professor da disciplina, as três turmas tinham um percentual de aprovação em torno de 55% em Física, naquele ano de 2016. Fui apresentado como um aluno de Mestrado em Ensino de Física e que participaria das atividades em algumas aulas para aplicar algumas atividades que iam ter relevância com o conteúdo que iam estudar.

No primeiro contato, falei da nossa ideia de utilizar um Blog como sendo nosso principal instrumento de apoio. Isto fez com que alguns alunos se incomodassem, outros ficaram empolgados. Este foi o contato inicial e já procuramos inserir a primeira discussão quanto ao uso do Blog. Vamos transcrever algumas falar aqui:

"O que é um Blog?" - Aluno A.

"Que 'massa', eu leio muitos Blogs de gente que eu sigo na 'net', não sabia que 'tinha' Blog que servia pra estudar" - Aluno B.

"Blog é um site que qualquer pessoa pode criar e escrever textos." - Aluna C.

Após este contato inicial, pedimos para aqueles que tivessem, no momento, um celular com acesso a Internet, acessassem a página do Blog para se familiarizarem e que estaríamos trazendo as atividades nos próximos encontros. Contabilizamos 17 alunos usando o celular neste mesmo momento para acessar o Blog na sala. Nas demais atividades em que houve necessidade de termos acesso à Internet utilizamos o Laboratório de Informática da própria escola, que tinha acesso à Internet.

Após este momento inicial, dividimos a pesquisa em quatro momentos. O primeiro, no Laboratório de Informática, no qual os alunos responderam a dois questionários (um introdutório e outro conceitual) elaborados em forma de Formulário de Pesquisa. O segundo momento, também no Laboratório, os alunos acessaram o Blog para que pudessem realizar a leitura de um texto sob o título de "Simetrias e Leis de Conservação". O terceiro momento, na sala de aula, realizamos um debate sobre o que foi entendido após a leitura do texto. No quarto e último momento, os alunos responderam a um questionário conceitual igual ao que foi apresentado no primeiro momento a fim de que pudéssemos verificar a evolução ou não da aprendizagem dos alunos.

Vamos agora fazer uma descrição mais detalhada de cada momento, com seus respectivos resultados.

5.3 1ª Parte – Questionário de Introdução à Pesquisa e Apropriação de Subsúcores

Como dissemos, neste momento os alunos responderam a dois questionários em forma de formulário.

O primeiro formulário teve como objetivo descrever o perfil de interesse da turma a respeito da disciplina e de conteúdos que podem andar em paralelo à disciplina. Além disso, verificamos o nível de interesse da turma em obter novos conhecimentos, independente se estes conhecimentos pertencem ao currículo escolar e/ou do vestibular, mais recentemente, o Exame Nacional conhecido pela sigla ENEM (Exame Nacional do Ensino Médio).

Vamos elencar aqui as perguntas presentes neste primeiro questionário, bem como os objetivos específicos para cada pergunta.

1. Você gosta de Física? (Possíveis respostas: Sim/Não).

Objetivo: Verificar o número de alunos que se identificam, inicialmente, com a disciplina.

2. Você gosta de estudar, assistir aula ou aprender sobre Física/Ciências? (Possíveis respostas: Sim/Não).

Objetivo: Verificar o número de alunos que se identificam em obter novos conceitos a respeito da Física ou das Ciências em geral.

3. Você já leu/estudou/aprendeu sobre História e Filosofia da Ciência em algum momento na escola? (Possíveis respostas: Sim/Não).

Objetivo: Verificar o número de alunos que já buscaram ou já tiveram algum contato com a História e Filosofia da Ciência na escola, revista, livro etc.

4. Acredita que seria interessante ler/estudar/aprender sobre História e Filosofia da Ciência na escola? (Possíveis respostas: Sim/Não).

Objetivo: Verificar o número de alunos que gostariam de buscar ou ter algum contato com a História e Filosofia da Ciência na escola ou algum outro meio (no nosso caso, o Blog).

5. O quanto você conhece sobre Simetrias? (Possíveis respostas: Muito / Intermediário / Pouco).

Objetivo: Verificar se os alunos acreditam, ou não, que conhecem algo sobre as Simetrias.

6. O quanto você conhece sobre os Princípios de Conservação? (Possíveis respostas: Muito / Intermediário / Pouco).

Objetivo: Verificar se os alunos acreditam, ou não, que conhecem algo sobre os Princípios de Conservação.

7. Conhece a relação que existe entre as Leis de Simetria e os Princípios de Conservação? (Possíveis respostas: Sim/Não).

Objetivo: Verificar se os alunos já tiveram contato com a relação entre as Leis de Simetria e os Princípios de Conservação.

5.4 Primeiro Momento, 2ª parte - Questionário Teórico para Verificação de Subsunoçores

Como foi dito anteriormente, este primeiro momento se constituiu na aplicação de dois questionários; já analisamos preliminarmente os resultados do primeiro questionário; agora vejamos o segundo questionário que ainda diz respeito ao primeiro momento. Este questionário teve uma abordagem conceitual a respeito dos temas que estávamos propondo.

O objetivo deste segundo questionário foi o de estabelecer parâmetros para determinar quais são os subsunoçores presentes na estrutura cognitiva dos componentes que constituem a turma em relação a qual estávamos realizando nossa pesquisa. Neste momento, era esperado que a quantidade de respostas incorretas fosse consideravelmente alta, já que os alunos ainda não leram sobre a relação entre Simetrias e Leis de Conservação.

Vamos elencar aqui quais foram as perguntas formuladas neste segundo questionário, bem como as suas respectivas alternativas de resposta.

1. Das definições abaixo, qual delas representa melhor o que se entende por 'Simetria' na Física?

a. Simétricos são objetos ou coisas que possuem uma única forma, elementos que nunca se modificam.

b. Uma grandeza é simétrica quando ela (ou algo que a represente) permanece constante perante uma transformação. (Resposta Correta.)

c. Simétricos são os elementos que se modificam junto com outras transformações, assim eles podem se adaptar perante a mudança.

d. Uma grandeza simétrica é aquela que flui o tempo todo. Nesta fluidez, ele demonstra sua constância.

Objetivo: Verificar se os alunos entendem o conceito de Simetria na Física, em sua definição segundo Feymann. Umas das definições mais aceitas na Física.

2. Das definições abaixo, qual representa melhor o que se entende por 'Conservação' na Física?

a. Conservação representa que um elemento (ou uma grandeza) permanece inalterado no decorrer do tempo. (Resposta Correta.)

b. Conservação significa que algo na natureza sofre transformações.

c. Uma grandeza é conservada quando, em um fenômeno físico, ela apresenta mudanças nos elementos externos e constância nos elementos internos.

d. Uma grandeza se conserva se o seu valor inicial, antes da duração do fenômeno físico, for igual ou próximo ao seu valor final, ou seja, depois do término do fenômeno físico.

Objetivo: Verificar se alunos possuem o conceito Físico de 'Conservação' estabelecido no estudo da Conservação de Energia.

3. Qual o tipo de simetria redonda na conservação da energia?

a. Simetria temporal. (Resposta Correta.)

- b. Simetria espacial.
- c. Simetria esférica.
- d. Simetria rotacional.

Objetivos: Verificar se os estudantes conhecem a relação entre a Simetria Temporal e a Conservação de Energia. Resultado do estudo do Teorema de Noether.

4. Ao identificar uma simetria espacial, qual a conservação que podemos observar?

- a. Conservação do momento angular.
- b. Conservação da força.
- c. Conservação da energia.
- d. Conservação do momento linear (quantidade de movimento).

(Resposta Correta.)

Objetivo: Verificar se os alunos conhecem a relação entre a Simetria Espacial e Conservação do Momento Linear. Mais uma relação que se vê no Teorema de Noether.

5. Do enunciado abaixo, que tipo de simetria podemos identificar?

"(UFPA) Considere as seguintes situações: na primeira, o menino deixa cair a moeda, do ponto mais alto, a partir do repouso, e a moeda chega à base do plano inclinado com uma energia cinética E_c ; na segunda, do ponto mais alto, o menino lança a moeda ao longo do plano inclinado para baixo, com velocidade $v = 2 \text{ m/s}$, e ela, nessa segunda situação, chega à base com uma energia cinética 20% maior do que na primeira situação. Considerando-se a aceleração da gravidade $g = 10 \text{ m/s}^2$, pode-se afirmar que a altura vertical, em metros, desse plano é "

- a. Simetria espacial.

b. Simetria temporal (Resposta Correta) .

c. Simetria rotacional.

d. Simetria esférica.

Objetivo: Verificar se os estudante conseguem identificar a Simetria Temporal dentro de um problema que pode ser resolvido aplicando o Princípio da Conservação de Energia. Aqui temos um item retirado de uma prova de vestibular para ingressar nos cursos da Universidade Federal do Pará.

6. Do enunciado abaixo, que tipo de simetria podemos identificar?

"(UFJF). Uma aranha radioativa de massa $m_a = 3,0$ g fugiu do laboratório e foi parar na sala de aula. Ela está parada e pendurada no teto através de um fio fino feito de sua teia, de massa desprezível. Um estudante, mascando um chiclete com massa $m_c = 10,0$ g, se apavora e atira o chiclete contra a aranha com uma velocidade de $v_c = 20$ m/s. Considere que a colisão entre o chiclete e a aranha é totalmente inelástica e que possa ser tratada como unidimensional. Com base nestas informações, CALCULE"

a) Os módulos dos momentos lineares da aranha e do chiclete imediatamente antes da colisão.

b) A velocidade final do conjunto aranha-chiclete imediatamente após a colisão.

a. Simetria espacial (Resposta Correta).

b. Simetria temporal.

c. Simetria rotacional.

d. Simetria esférica.

Objetivo: Verificar se os estudantes conseguem identificar a Simetria Espacial dentro de um problema que pode ser resolvido aplicando o Princípio da Conservação do Momento Linear. Aqui temos um item retirado de uma

prova de vestibular para ingressar nos cursos da Universidade Federal de Juiz de Fora - MG.

5.5 Segundo Momento - Leitura dos textos a partir do Blog

Neste momento da pesquisa, realizado na semana seguinte àquela na qual ocorreu a aplicação dos questionários iniciais, os 28 alunos que participaram estavam presentes e os outros dois, que faltaram no primeiro momento, também estavam. Para estes dois últimos, o professor pediu que eles desenvolvessem outra atividade anteriormente programada.

Colocamos 14 computadores disponíveis para os 28 alunos, dividindo-os, desta forma, em duplas. Todos os computadores já estavam na página do Blog, para facilitar o acesso e diminuir a dispersão dos alunos - já que alguns poderiam ter a iniciativa de acessar outros sites naquele momento.

Antes de iniciar a leitura, os alunos foram orientados a fazer anotações daquilo que julgassem importante no texto e poderiam perguntar para que as dúvidas iniciais fossem sanadas. Os estudantes foram orientados a ler um total de 3 textos no Blog.

O primeiro texto lido pelos estudantes foi intitulado "O Que São Simetrias?". Seu conteúdo se limitou a mostrar analogias de objetos, coisas e elementos diários que podem ser considerados simétricos, como a posição das carteiras de uma sala de aula, sendo possível detectar alguma diferença tendo em conta algumas características externas. O texto continua sendo mais específico quanto às simetrias na Física, tomando cuidado com a linguagem não ser rebuscada e fora da realidade dos estudantes. Algumas palavras, como "invariância", colocamos seu significado comum no contínuo do texto para facilitar o entendimento.

O segundo texto tinha como título "Breve História das Conservações". Nele apresentamos alguns aspectos históricos de como o pensamento, ou o embrião, dos Princípios de Conservação apareceram. O texto tem um caráter Histórico e Filosófico, trazendo à baila alguns pensamentos de filósofos gregos como os de Heron de Alexandria - que dizia

que o ganho de um efeito vital da natureza representava uma perda, correspondente, em outro elemento natural.

Outro filósofo que citamos no texto foi Parmênides de Eleia, que escreveu um poema dizendo que a verdadeira mudança não ocorre senão perante os nossos olhos, a mudança é impossível enquanto a existência é atemporal, uniforme, necessária e imutável.

O terceiro texto foi sobre a relação direta entre as Simetrias e os Princípios de Conservação, tendo como título "Simetrias e Leis de Conservação". Neste texto, iniciamos falando de Galileu, dando uma breve biografia de seus feitos mais famosos: a polêmica dos sistemas planetários e a lenda de que subiu na torre de Pisa para medir o tempo de queda de objetos. O interesse inicial do debate era de demonstrar um exemplo histórico de fenômenos que possuem a Simetria Temporal, redundando na Conservação da Energia Mecânica.

Mais à frente, fazemos uma analogia com a necessidade de se usar cinto de segurança dentro dos automóveis. Usando a conservação do momento linear, podemos convencer o estudante a sempre utilizar o cinto de segurança. No texto, comentamos sobre as possibilidades de se chocar contra um muro perto de casa ou contra qualquer outro muro, em qualquer lugar do mundo. O resultado da colisão seria drasticamente o mesmo em qualquer lugar do mundo. Isto representaria uma Simetria Espacial, ao qual a mudança do espaço não irá alterar a intensidade da colisão, redundando na Conservação do Momento Linear.

Após a leitura dos textos, o que durou cerca de 30 minutos, os estudantes foram informados da discussão que iria ocorrer na aula seguinte. O que seria necessário que eles fizessem uma revisão, em casa, das anotações durante a leitura.

5.6 Terceiro Momento - debate em sala de aula

Iniciamos este momento agradecendo a participação dos alunos e relembando o que havíamos lido nos textos do blog. Então abrimos um espaço no quadro para iniciar anotações sobre o que eles entenderam a respeito dos

textos. Assim construiríamos os conceitos a partir do que eles aprenderam com a leitura.

Para facilitar as reflexões dos estudantes, formulamos perguntas a respeito de alguns conceitos que se encontravam expressos nos textos. A ideia era de promover uma discussão sobre os temas que eles tiveram acesso através do Blog. Primeiro perguntamos, a respeito do primeiro texto, se havia algum conceito que eles não conheciam. O destaque foi para a palavra "invariante", porém, como o próprio texto já mostrava um sinônimo, a maioria afirmou que entendeu o significado. Aproveitamos o momento para, então, perguntar o que significava a palavra "invariante". Vamos destacar duas respostas que julgamos ser interessantes para entender que eles costumam comparar um novo conceito com algo que eles tem contato cotidianamente.

5.7 Quarto momento: aplicação do questionário teórico

Este foi o momento de finalização com os estudantes. A aplicação do questionário conceitual, igual ao que fora aplicado no primeiro momento com eles.

O nosso objetivo com a aplicação deste questionário é de verificar a evolução dos estudantes em relação ao momento inicial. Buscar estabelecer que as estratégias adotadas fossem válidas e determinantes para o entendimento dos alunos.

Vamos na próxima seção efetuar a análise dos resultados obtidos.

6. RESULTADOS OBTIDOS

6.1 A Experiência Adquirida na Utilização do BLOG

Atualmente temos dois Blogs que são atualizados com frequência. O mais antigo já serviu de diário, compartilhamento de música, poesias, pensamentos, comentários sobre educação, comportamento social, psicologia, pedagogia, política e muitos outros. Já vimos que o Blog serve para todas essas coisas e muitas outras mais.

A partir desta primeira experiência, notamos um grande potencial neste instrumento. Vez ou outra recebia comentários sobre alguma opinião que era compartilhada, abrindo sempre uma saudável discussão sobre aquele tema que estava em foco.

Como este antigo Blog que usávamos já era reconhecido por conter temas gerais, então senti a necessidade de, em função da continuidade deste trabalho, criar um novo Blog, com um tema específico. Desta forma, nós poderíamos tratar de uma maneira mais detalhada e complexa, já que o público leitor que o visita já saberia, de antemão, do que o Blog tratava. Na Figura 5.1 mostramos a página inicial do Blog criado.

Figura 6.1: Blog de História e Filosofia da Ciência de autoria própria.



Fonte: <http://hfciencias.blogspot.com.br/>, acessado em 8 de Julho de 2017.

Começamos a produção do Blog com a ideia de, inicialmente, compartilhar textos cujos temas tratassem sempre de algo que envolvesse História e Filosofia da Ciência - tema geral do Blog. Após inserir alguns textos que abordavam Simetrias, Leis de Conservação, Princípio de Cientificidade, Paradigmas, dentre outros, então pensamos em colocar pequenos vídeos, comentando alguns conceitos, pensamentos de Filósofos da Ciência sobre temas gerais que envolvem o ensino de ciências.

Ao produzir o Blog e colocar nele as primeiras postagens, recebemos visitas 25 professores de História e de Filosofia que acharam a ideia interessante. Aqui vamos transcrever um comentário que recebemos de um deles:

- Caríssimo colega docente, com muita alegria eu li os posts deste Blog e achei sua ideia muito boa. Temos muito pouco material que envolve a História (disciplina que leciono) com as Ciências Naturais, mais precisamente a Física (disciplina que parece que o senhor leciona). Seu material será usado como referência em algumas das minhas aulas. Já percebi que: quando eu for falar (1) sobre os Gregos, (2) sobre a Revolução Industrial, (3) sobre o início da filosofia moderna, (4) sobre o renascimento; usarei seu Blog para dar uma visão mais "científica" destes temas. Desta forma, creio que podemos estimular a interdisciplinaridade, contextualização e aprendizagem. João Luiz Camelo - Maringá-PR (Comentário recebido no próprio Blog).

Este comentário foi muito representativo, deixando evidências que alcançamos um dos principais objetivos na criação do Blog: a interação com outros colegas professores e criar um objeto material que possa ser usado na sala de aula na introdução da História e Filosofia da Ciência. Além disso, esta fala contradiz nossa ideia inicial a respeito do desinteresse dos professores na inserção de novas perspectivas para sua prática de sala de aula.

6.2 Resultado do Questionário 1

Dos 30 alunos da turma, 28 estavam presentes neste primeiro momento. Na tabela abaixo vamos explicitar os resultados deste primeiro questionário e nossas reflexões iniciais.

Tabela 6.1: Resultados referentes ao primeiro questionário introdutório da pesquisa, realizada na Escola Estadual Alberto Torres.

Questão 1	Sim		Não	
	21 (75%)		7 (25%)	
Questão 2	Sim		Não	
	24 (85,7%)		4 (14,3%)	
Questão 3	Sim		Não	
	24 (85,7%)		4 (14,3%)	
Questão 4	Sim		Não	
	28 (100%)		0 (0%)	
Questão 5	Muito	Intermediário	Pouco	
	0 (0%)	6 (21,4%)	22 (78,6%)	
Questão 6	Muito	Intermediário	Pouco	
	0 (0%)	8 (28,6%)	20 (71,4%)	
Questão 7	Sim		Não	
	3 (10,7%)		25 (89,3%)	

Nossa impressão inicial foi a de que os estudantes manifestaram bastante curiosidade já que 75% deles responderam que gostavam de Física e 85,7% dos estudantes responderam que gostavam de estudar, assistir aula ou aprender sobre Física/Ciências. Acreditamos que o papel do professor em transformar a disciplina em algo que desperte a curiosidade e que, além disso, seja dinâmica e interessante, tenha contribuído para esta declaração de interesse dos alunos para aprender Física.

Outro ponto curioso nesta pesquisa inicial diz respeito às respostas dos alunos para a terceira pergunta; 85,7% dos alunos responderam que já leram/estudaram/aprenderam sobre História ou Filosofia da Ciência em algum

momento na escola. Isto pode sugerir dois fatores: (1) o material utilizado contém tópicos que envolvem fatos históricos sobre o desenvolvimento dos fenômenos ou (2) o professor (ou algum dos professores) da disciplina (das disciplinas) de Ciências se preocupa em comentar sobre estes conceitos, até então novidades nas escolas de uma maneira geral.

Quando perguntados sobre a possibilidade de estudar História e Filosofia da Ciência na escola seria interessante ressaltar que obtivemos uma unanimidade: 100% dos alunos disseram que isto seria interessante. Este é um dado extremamente positivo, já que, pela Teoria da Aprendizagem Significativa, um elemento essencial no processo de aprendizagem é a vontade do aprendiz aprender.

As demais perguntas, apesar de também serem de cunho pessoal, continham, implicitamente, um apelo conceitual. A quinta pergunta teve 78,6% dos alunos respondendo que sabem pouco sobre as Simetrias e 21,4% afirmaram que possuíam um nível intermediário de conhecimento neste tema. Este número baixo de alunos que declararam conhecer sobre as Simetrias já era esperado. Este não é um tema específico do Ensino de Física e as experiências que se tem com as Simetrias são, quase sempre, mais intuitivas e menos teóricas.

Um resultado semelhante foi obtido para a sexta pergunta. Quando questionados sobre o quanto eles conhecem sobre as Leis de Conservação, 71,4% dos estudantes responderam Pouco e 28,6% disseram que possuem um nível Intermediário de conhecimento neste tema. Para esta pergunta, esperávamos que um número maior de alunos respondesse que eles (os alunos) conheciam este tema num nível Intermediário já que eles já estudaram sobre isto na escola. Acreditamos que o termo "Princípio de Conservação" deva ter acarretado neste resultado. Se usássemos uma linguagem mais coloquial, como: "Você conhece a respeito da Conservação da Energia Mecânica?" possivelmente mais alunos iriam reconhecer o termo.

A última pergunta, exatamente a que explicitava o tema que seria apresentado posteriormente, obteve a maior taxa de respostas negativas.

Quando questionados se conheciam a relação que existe entre as Leis de Simetria e os Princípios de Conservação, apenas 10,7% dos alunos disseram que Sim e, conseqüentemente, 89,3% responderam que Não, resultado este, bastante esperado. Nossa missão agora é fazer com que estes números possam ser reduzidos.

Neste momento, observamos que os estudantes, em sua maioria, se sentiram estimulados em participar da atividade de pesquisa.

6.3 Resultados Obtidos do Questionário 2

Como dissemos anteriormente, 28 dos 30 alunos participaram desta etapa da pesquisa. Na Tabela abaixo vamos explicitar os resultados das respostas dos estudantes.

Tabela 6.2: Resultados referentes ao segundo questionário, teórico, da pesquisa, realizado na Escola Estadual Alberto Torres.

Questão 1	A	B (Correta)	C	D
	8 (33,3%)	4 (14,8%)	11 (40,7%)	3 (11,1%)
Questão 2	A (Correta)	B	C	D
	6 (21,4%)	1 (3,6%)	5 (17,9%)	16 (57,1%)
Questão 3	A (Correta)	B	C	D
	8 (28,6%)	6 (21,4%)	8 (28,6%)	6 (21,4%)
Questão 4	A	B	C	D (Correta)
	6 (21,4%)	5 (17,9%)	9 (32,1%)	8 (28,6%)
Questão 5	A	B (Correta)	C	D
	7 (25%)	7 (25%)	9 (32,1%)	5 (17,9%)
Questão 6	A (Correta)	B	C	D
	10 (35,7%)	6 (21,4%)	3 (10,7%)	9 (32,1%)

Estas respostas nos ajudaram a determinar, de antemão, quais os conhecimentos prévios dos alunos que conseguimos perceber com base nos resultados analisados a partir dos questionários. A primeira pergunta mostrou, de maneira preliminar, que os estudantes manifestam dúvidas ao definir o que significa Simetria. De modo que para que este conhecimento possa ser ensinado, seguindo a Teoria da Aprendizagem Significativa, devemos entender que os estudantes precisam obter conhecimentos indutivos a respeito das Simetrias, para depois entenderem o que isto significa de maneira formal.

A questão 2 indicaria o número de estudantes que conhecem a ideia de Conservação. Neste caso, a questão tinha uma resposta conceitualmente ideal e outra que poderia ser dada como resposta num nível de estudo mais elementar. A maioria dos estudantes marcou a resposta possível, mas não completamente correta. Podemos dizer, desta forma, que eles tem uma noção do que significa conservação, até pela introdução que já tiveram nas aulas de Física, porém, é importante conhecer o conceito formal que estabelece o Princípio de Conservação.

A terceira pergunta demonstrava o quanto os alunos conheciam a respeito da relação entre a Simetria Temporal e a Conservação da Energia. Era esperado que o nível de conhecimento neste aspecto fosse baixo, pois seria um tema que ainda não havia sido estudado por eles. Como esperado, as respostas foram bastante diversificadas e uma parcela pequena de alunos acertou este item.

O item 4, semelhante ao item 3, verificou o quanto os estudantes conheciam a respeito da relação que existe entre a Simetria Espacial e a Conservação do Momento Linear (Quantidade de Movimento na nomenclatura do Ensino Médio). Tal qual o resultado do item 3, as respostas foram muito diversificadas e demonstraram que os estudantes, num âmbito geral, ainda desconhecem esta relação.

Os itens 5 e 6 foram propostos a partir de questões de vestibulares anteriores de instituições famosas. Gostaríamos de fazer uma verificação a respeito da capacidade dos estudantes identificarem as Simetrias a partir de

problemas que podem ser considerados problemas práticos do cotidiano. Como as respostas dos itens 3 e 4 já foram diversificadas a maioria não acertou; era, portanto, de se esperar que ocorresse o mesmo com estes dois últimos itens.

Este momento inicial nos serviu para acumular elementos que nos permitissem definir, de forma introdutória, quais seriam os possíveis subsunçores que fariam parte da estrutura cognitiva dos estudantes. Após esta etapa, podemos iniciar a aplicação das nossas estratégias previamente programadas e, a partir de então, norteada por estes resultados prévios.

6.4 Debate em Sala de Aula

No debate em sala de aula, para facilitar as reflexões dos estudantes, formulamos perguntas a respeito de alguns conceitos que se encontravam expressos nos textos. A ideia era de promover uma discussão sobre os temas que eles tiveram acesso através do Blog. Primeiro perguntamos, a respeito do primeiro texto, se havia algum conceito que eles não conheciam. O destaque foi para a palavra "invariante", porém, como o próprio texto já mostrava um sinônimo, a maioria afirmou que entendeu o significado. Aproveitamos o momento para, então, perguntar o que significava a palavra "invariante". Vamos destacar duas respostas que julgamos ser interessantes para entender que eles costumam comparar um novo conceito com algo que eles tem contato cotidianamente.

Aluna 7: "Invariante é como o motorista do ônibus que eu pego pra vir pra escola. Todos os dias é sempre o mesmo. Ele até já me conhece."

Aluno 8: "O horário do toque da escola pra entrar na sala é sempre o mesmo som e sempre no mesmo horário."

Aluno 16: "Minha roupa da escola é sempre a mesma, isso é exemplo de Simetria? O dia muda, mas a roupa não muda."

Confirmamos a ideia dos estudantes quando eles perceberam que algo invariante é um elemento que não sofre transformações. Podendo este

elemento ser uma grandeza física, um objeto ou até algo do seu cotidiano; como o motorista do ônibus ou o sinal da escola.

Eles lembraram que no final do texto existe uma provocação, questionando-os quais seriam os elementos (ou o elemento) que eles observam e consideram possuir uma simetria. Destacamos aqui algumas respostas:

Aluno 9: "Eu tenho uma bola de futebol completamente branca, para qualquer 'lado' da bola que eu olhe, vejo a mesma coisa."

Aluno 10: "Eu pensei num dado sem as bolinhas, todos os lados serão iguais, não poderíamos ver a diferença."

Aluna 2: "Fui pra casa pensando nisso professor. Estava na dúvida do que seria. Mas aí eu lembrei do pneu da minha bicicleta quando estava no borracheiro e ele colocou pra girar. Parecia uma coisa só."

Aluna 11: "Uma folha de papel em branco. Quando a gente vira ela de lado, não dá pra saber qual a frente e qual a de trás."

Concordamos com todos os apontamos e reafirmamos que as Simetrias são mais comuns do que pensamos. Colocamos pra eles que, na Física, uma grandeza é considerada Simétrica quando percebemos que ela não se transforma junto com outras grandezas que se modificam.

Para começarmos as discussões sobre o segundo texto, perguntamos de onde nasceram as reflexões sobre os Princípios de Conservação e se eles faziam sentido com o entendimento do mundo que temos hoje.

Muitos comentários vieram como resposta. Os gregos foram os mais citados. Alguns fizeram, inclusive, uma relação entre o que estudaram em História, sobre a Grécia Antiga e o conteúdo do texto. Podemos ouvir sobre a civilização grega, que eles dominavam o conhecimento sobre arte, filosofia e ciência e que muitos desses legados prevalecem hoje em dia. Essa discussão inicial foi muito interessante, já que corroborou com uma das nossas intenções

ao abordar História e Filosofia da Ciência no Ensino Médio: a interdisciplinaridade e a demonstração do poder cultural que a Física também possui, retirando, ainda que precariamente, a ideia de que é uma matéria puramente técnica e analítica.

Após a enxurrada de comentários sobre esta relação, perguntamos sobre alguns exemplos que eles poderiam vislumbrar no cotidiano que condiz com algo que o texto trata. Alicates, chave de roda, tesoura e até o carro de mão foram objetos citados como sendo feitos para facilitar nossa vida. A relação que eles fizeram foi interessante, já que o texto dá um exemplo de alavanca simples e eles conseguiram expandir a linha de pensamento para alavancas que são usadas hoje em dia, até com um nível de complexidade maior.

Questionamos os estudantes a respeito das conservações, o que o texto retrata ou, o que os pensadores que o texto trata falavam sobre as conservações. Vamos destacar algumas respostas.

Aluno 6: "Quando se ganha numa coisa, se perde em outra, mas geral continua o mesmo."

Aluna 5: "Se você quer ser mais rápido, precisa usar mais força. Se conseguir alguma coisa pra usar menos força, o que você for fazer será mais devagar."

Aluno 10: "Nada é de graça. O 'cara' toma bomba, fica forte e depois aparece um monte de coisa no corpo do 'cara'."

Percebemos, pelas respostas dos que se posicionaram que entenderam a ideia da Conservação como sendo uma grandeza que permanece constante à medida que o tempo passa.

Terminamos com as discussões a respeito do terceiro e último texto. Este é o que consideramos ser o mais difícil, já que abordava a relação entre Simetrias e as Leis de Conservação - conceito que eles desconheciam. Como esperado, este texto foi o que causou o maior número de dúvidas sobre os termos que usamos e alguns conceitos físicos.

Perguntas sobre o que era o Sistema Geocêntrico e Heliocêntrico (eles ainda não haviam estudado Sistemas Planetários nem Gravitação Universal), se as bolas alcançavam o solo ao mesmo tempo de verdade, sobre a falta de limitação de peso nas montanhas-russas, entre outras.

Esclarecemos as dúvidas iniciais, lembrando sobre o que eles estudaram sobre a Conservação da Energia Mecânica e a lei da Queda Livre de Galileu. O professor desenhou no quadro alguns exemplos em que a Energia Mecânica se conserva (queda livre, pista de gelo, um carro numa ladeira) e lembrou a condição para que ocorresse a Conservação da Energia Mecânica. Nós colocamos que em todos aqueles exemplos, independentemente do corpo em queda, da pessoa na pista de gelo ou do modelo do carro, aqueles fenômenos iriam ocorrer, cada um, com a sua respectiva duração de tempo. Isso seria o tipo de Simetria que nos dá como consequência a Conservação da Energia Mecânica.

Outra dúvida recorrente foi a respeito da Simetria Espacial. Muitos colocaram que entendiam sobre a ideia de que após uma colisão, o passageiro seria jogado com uma velocidade alta. Porém, eles afirmavam da dificuldade de definir e visualizar a Simetria Espacial que redundava na Conservação do Momento Linear. Para sanar esta dúvida, recorremos a um exemplo experimental.

Perguntamos se eles se lembravam do movimento ao qual um corpo se deslocava com velocidade constante. Relembramos que, neste movimento, o corpo percorre espaços iguais em intervalos de tempo iguais. Desta forma, destacamos que, se a velocidade for a mesma, a localização do corpo não será relevante para o movimento, ele sempre vai percorrer o mesmo espaço, no mesmo intervalo de tempo. Colocamos que isto sugere que este movimento é um exemplo de fenômeno ao qual vislumbramos uma Simetria Espacial.

Questionamos, então, se agora eles conseguiam pensar em algum exemplo onde este tipo de Simetria pode ocorrer. Destacamos comentários dos estudantes aqui

Aluno 10: "Então, se eu empurrar uma bola com certa força onde estou ela se move, se eu empurrar a mesma bola, com a mesma força, 2 metros para trás ou para frente, o resultado será o mesmo".

Aluna 7: "Meu nome. Pelo que entendi, podemos encontrar isso em qualquer coisa. Meu nome é (...) aqui na escola, em casa, em qualquer lugar".

Concordamos com o argumento dos estudantes e complementamos que isto vale, também, para as colisões que ocorrem entre os carros, pessoas e objetos em geral. Quando estas colisões ocorrem, o espaço no qual estes corpos estão é irrelevante, o que culmina na Conservação da Quantidade de Movimento (termo usado na sala de aula).

Encerramos as discussões escrevendo no quadro as duas frases que concluem o texto do Blog:

1) A Simetria Temporal redundante na Conservação da Energia Mecânica;

2) A Simetria Espacial redundante na Conservação da Quantidade de Movimento.

Com isto encerramos o nosso terceiro momento com os estudantes.

6.5 Análises dos Resultados do Questionário Teórico

Este questionário contou com as mesmas perguntas presentes no segundo questionário analisado anteriormente e aplicado antes da inserção dos textos do Blog. Neste momento faremos a análise das respostas dos estudantes após a inserção do material apresentado. Desta forma, vamos explicitar abaixo, na Tabela 6.3, os resultados obtidos e teceremos nossas considerações sobre nossas estratégias.

Tabela 6.3: Resultado do questionário conceitual aplicado no quarto encontra com os estudantes da Escola Estadual Alberto Torres - Maceió-AL.

Questão 1	A	B (Correta)	C	D
	2 (7,1%)	17 (60,7%)	6 (21,4%)	3 (10,7%)
Questão 2	A (Correta)	B	C	D
	17 (60,7%)	1 (3,6%)	5 (17,9%)	6 (21,4%)
Questão 3	A (Correta)	B	C	D
	18 (64,3%)	3 (11,1%)	4 (14,3%)	3 (10,7%)
Questão 4	A	B	C	D (Correta)
	1 (3,6%)	5 (17,9%)	6 (21,4%)	16 (57,1%)
Questão 5	A	B (Correta)	C	D
	10 (35,7%)	10 (35,7%)	4 (14,3%)	4 (14,3%)
Questão 6	A (Correta)	B	C	D
	15 (53,5%)	3 (10,7%)	3 (10,7%)	7 (25%)

Após a aplicação do questionário, percebemos a evolução dos estudantes quanto ao entendimento, de maneira introdutória, dos conceitos que gostaríamos que eles aprendessem. Na maioria das questões tivemos, nesta etapa, uma taxa de acerto de mais de 50%. Apesar da pesquisa não ser quantitativa, estes números entram como provas documentais que nos ajudaram a nortear nossa interpretação acerca dos termos que houve evolução. Entende-se, ainda assim, que a análise do que foi dito pelos estudantes, as observações em sala, discussões e debates, são mais relevantes que os dados numéricos apresentados nas tabelas como resposta aos questionários. Então, vamos interpretar os números apenas como instrumentos de construção da avaliação das pesquisas.

No primeiro item, anteriormente, tivemos um percentual de acerto de 14,8%. Agora o percentual aumentou para 60,7%. Isto sugere que os estudantes entenderam o significado de Simetria na Física, ao menos textualmente. Nos comentários que eles fizeram sobre as Simetrias também ficou nítido que o embrião do entendimento foi inserido.

No segundo item, no primeiro teste, tivemos uma taxa de acerto de 21,4%. Desta vez foram 60,7% de estudantes que acertaram este item. Isto sugere que eles entenderam o que significa Conservação. Inicialmente, a maioria acreditava que aquilo que indicava a Conservação estava atrelado, apenas, ao valor numérico da grandeza no início e no término do fenômeno.

No terceiro item, que perguntava o tipo de simetria que redundava na Conservação da Energia, tivemos, inicialmente, 28,6% dos estudantes marcando a alternativa correta. Desta vez tivemos uma melhora para 64,3% de acertos. Isto indica para nós que a maioria dos estudantes entendeu a relação entre a Simetria Temporal e a Conservação de Energia.

No quarto item, o estudante deveria identificar que tipo de Conservação se pode observar a partir de uma Simetria Espacial. No primeiro teste, 28,6% dos estudantes marcaram a alternativa correta. No segundo teste, conseguimos aumentar este número para 57,1%. Isto sugere que os estudantes conseguiram assimilar a relação que existe entre a Simetria Espacial e a Conservação do Momento Linear.

No quinto item, que continha um problema de vestibular onde o aluno deveria resolver aplicando o Princípio de Conservação da Energia Mecânica, tivemos, inicialmente, uma taxa de 25% de acerto. No segundo teste esta taxa aumentou para 35,7%. Acreditamos que alguns alunos interpretaram que este problema poderia ter sido resolvido lançando-se mão da Conservação do Momento Linear, haja vista o número de estudantes que marcaram a opção que indica a Simetria respectiva a este modelo de conservação.

No sexto e último item do teste, também colocamos um problema de vestibular. Desta vez, o estudante deveria usar o Princípio de Conservação do

Momento Linear. No primeiro teste tivemos uma taxa de acerto de 35,7%. Aumentamos esta taxa para 53,7%.

Os resultados sugerem, a luz da Aprendizagem Significativa, que o material de ensino junto aos recursos utilizados foram potencialmente significativos para o aprendizado dos alunos.

Após os quatro encontros com os estudantes, podemos perceber algumas impressões visuais iniciais. Eles têm interesse pelas novidades, haja vista a recepção que tivemos durante o anúncio da pesquisa e das apresentações de cada atividade. Podemos notar, também, que eles mostraram uma facilidade razoável em usar a tecnologia digital. Uma boa notícia, levando em consideração o grande corpo de conteúdos que vem sendo criado em Blogs, vídeos, fóruns, ambientes virtuais de aprendizagem, entre outros instrumentos que são utilizados na esfera digital.

Uma preocupação que se tem no âmbito do ensino, de uma forma geral, é o estímulo à interdisciplinaridade. A História e a Filosofia da Ciência podem e devem ser utilizadas para estimular este importante aspecto. Quando conseguimos desenvolver uma linha de pensamento e mostrar, mesmo que em linhas gerais, os pensamentos, dúvidas e encaminhamentos que um ou vários cientistas adotaram para desenvolver uma dada teoria, então acabamos por esbarrar em temas que transcendem o conteúdo da Física e, desta maneira, entramos em outras áreas do conhecimento. No nosso trabalho, os estudantes perceberam uma relação entre o que estávamos aprendendo com o que eles aprenderam em História Geral.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer do nosso trabalho, percebemos uma forte preocupação da comunidade científica, mais precisamente daqueles que se preocupam com a área do Ensino de Ciências, em procurar métodos de melhorar e ampliar as estratégias que são utilizadas em sala de aula hoje em dia. Além disso, sabemos que as principais estratégias que são utilizadas, ainda hoje, não são tão eficazes quanto se espera.

Podemos perceber que já existem muitos pesquisadores que se preocupam em entender mais sobre a História e Filosofia da Ciência. Como pesquisadores no âmbito do ensino trabalham na História e na Filosofia da Ciência, percebemos que existe um movimento, lento e progressivo, de inserção destes temas nos cursos de formação de professores de Ciências (as Licenciaturas). Nosso trabalho serve como provocação para uma formação continuada dos docentes que trabalham no Ensino Médio, já que estes temas não são abordados com tanta ênfase no Ensino Médio.

Podemos elencar alguns dos motivos que verificamos para que isto não ocorra: (1) o currículo escolar em Física não é específico ao detalhar a necessidade de se utilizar História e Filosofia da Ciência; (2) o interesse do professor em aprender, compreender e aplicar estes conceitos; (3) a ideia de que a Física é uma disciplina técnica e analítica é defendida, ainda, por alguns que trabalham o Ensino de Física; (4) a dificuldade de encontrar materiais didáticos que possam ser utilizados no âmbito do Ensino Médio.

Como, em nosso entendimento, é importante que o Ensino de Ciências contenha reflexões críticas, superando a memorização de fórmulas, sem que haja contrapartida na sua devida compreensão, acreditamos, então, que ele deva se aproximar da realidade social e cultural do estudante. Para isso, a prática de um ensino consequente e proveitoso deve levar em conta saber, de antemão, quem é o aluno, o que sabe, o que pretende? Este processo é difícil e requer estratégias bem delineadas.

O senso comum sugere que as disciplinas que tentam se aproximar destas realidades são aquelas que estimulam as reflexões e os debates, a saber, as Linguagens, os Estudos Sociais (História e Geografia), a Filosofia e a Sociologia são amplamente conhecidas por terem este caráter. A Matemática e as Ciências Naturais (Física, Química e Biologia) são conhecidas por apresentarem um conhecimento técnico, analítico do mundo. Este é um dos elementos as tornam disciplinas que exibem as maiores dificuldades de aprendizado.

A introdução da História e Filosofia da Ciência se mostrou um instrumento que auxilia a discussão aberta a respeito de temas da Ciência. Seu uso pode aproximar a Física à realidade cultural do estudante. Os estudantes conheceram ideias antigas que são usadas ainda hoje, outras que já sofreram mudanças quanto ao seu entendimento. Isto faz com que ele remonte seu próprio entendimento quanto ao fenômeno e ao conceito que explica o fenômeno, dando novos exemplos, de seu cotidiano, para exemplificar aquele conceito. Isto pôde ser observado nos diálogos transcritos acima.

Quando retratado, por exemplo, se um corpo mais pesado em queda alcança o solo mais rápido que outro corpo mais leve, a fase da dúvida é construída historicamente, apresentando as respostas que já foram dadas; daí, a construção do conceito ter lugar ao se lançar mão, também, das suas origens culturais, sociais, históricas bem como das questões epistemológicas suscitadas.

Então, a inserção da História e da Filosofia da Ciência se constituem em expedientes levemente capazes para cumprir este objetivo.

Infelizmente, não existem muitos materiais que se possam aplicar no Ensino Médio que envolva Simetrias e Leis de Conservação, nem em sua abordagem analítica, nem em sua abordagem histórica. Quanto as suas abordagens históricas e filosóficas, podemos dizer que existe um material interessante, em nível do Ensino Superior, que pode ser explorado por aqueles que trabalham na área do Ensino de Ciências.

A partir deles, verificamos, por exemplo, que o conceito de Conservação é desenvolvido desde tempos da Antiguidade. Os filósofos gregos, como Heron, Parmênides e Aristóteles se interessavam por este tema. Verificaram, por exemplo, Heron, que acreditava que existia algo que não se ganhava nem se perdia dentro do nosso cotidiano. Parmênides acreditava que não existia mudança. Se algo era diferente, só o era por causa da percepção de quem via. A partir daí, já notamos o quanto que esta ideia é antiga e se desenvolveu bastante até hoje.

Verificamos, também, o quanto as polêmicas podem ajudar a aclarar conceitos. No caso, a polêmica entre Leibniz e os Cartesianos a respeito da medida do que seria a verdadeira força. Neste fato da nossa história, percebemos conceitos fundamentais que surgiram. Como o modelo atual de momento linear, energia cinética, o princípio da identidade entre causa e efeito, ideia metafísica de que Deus criou o mundo com um elemento que é constante. Todos esses conceitos podem ser abstraídos conhecendo esta polêmica muito rica conceitualmente.

Em nossa pesquisa, a Teoria da Aprendizagem Significativa nos ajudou a avaliar o trabalho. Através dos diálogos que foram feitos entre os estudantes e com os estudantes, percebemos que, aqueles que responderam, conseguiram compreender os conceitos, de forma introdutória, pois puderam associar a outros elementos que já conheciam. Isto pôde ser visto, por exemplo, no caso do aluno que associou a Simetria ao fato de ir pra escola sempre no mesmo ônibus e que até o motorista o conhecia. Os dias da semana mudavam, mas o ônibus e o motorista eram sempre os mesmos.

A Transposição Didática nos auxiliou no momento de produzir os textos. Todos os textos postados no Blog tiveram como referências artigos publicados em revistas científicas e livros que continham textos originais dos autores citados. O que nos fez sentir a necessidade de produzir um material que estivesse dentro de uma linguagem e de uma forma mais compreensível ao estudante do Ensino Médio.

Nosso produto educacional, o Blog, criou um ambiente mais dinâmico, pois no caso da pesquisa, eles tiveram acesso no Laboratório de Informática.

Por fim, podemos verificar que os estudantes que participaram do trabalho conseguiram obter resultados satisfatórios. O interesse demonstrado pelo tema, que é interessante, ajudou muito neste resultado. Acreditamos que a História e Filosofia da Ciência, sendo aplicada de forma estruturada e consciente, se torna um elemento muito eficaz para alcançar o aprendizado do aluno de forma significativa ajudando na formação de um cidadão mais crítico e conhecedor do ambiente ao seu redor.

REFERÊNCIAS

BASTOS FILHO, J. B. '**Descartes, Leibniz, Newton and Modern Physics: Plenum, Action at a Distance and Locality**'. In: **La Scienza e i Vortici del Dubbio**, CONTI, L. ; MAMONE CAPRIA M. (ORGs.) Nápoles: Edizioni Scientifiche Italiane, 1999, pp. 327-356

BASTOS FILHO, Jenner Barretto. Causalidade,(in) determinismo e (im) previsibilidade. Por que o conceito de causa é tão importante?. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 3, p. 3304, 2008.

BIZZO, Nelio Marco Vincenzo. História da ciência e ensino: onde terminam os paralelos possíveis. **Aberto, Brasília**, v. 11, n. 55, p. 29-35, 1992.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs)**. Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias / Secretaria de Educação Básica. – Brasília : Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2006.

BROCKINGTON, Guilherme; PIETROCOLA, Maurício. Serão as Regras da Transposição Didática Aplicáveis aos Conceitos de Física Moderna?. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 3, p. 387-404, 2005.

CARVALHO, A. M. de; SASSERON, L. H.; Abordagens histórico-filosóficas em sala de aula: questões e propostas. **Ensino de Física (livro)**. São Paulo: Cengage Learning, p. 107-139, 2010.

D'ALEMBERT, J. R. **Traité de Dynamique**, Paris 1758 Disponível em:

[http://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Alembert_-_Traité%20de_dynamique_\(1758\).djvu&page=28](http://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Alembert_-_Traité%20de_dynamique_(1758).djvu&page=28)

FEYNMAN, Richard P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. Lições de Física–Vol. 1. **Tradução de Adriana VR da Silva e Kaline R. Coutinho**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

FIOLHAIS, C. & TRINDADE, J. Física no Computador: o Computador como uma Ferramenta no Ensino e na Aprendizagem das Ciências Físicas, **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 25, no. 3, Setembro, 2003

FOGAÇA, Mônica. **Blog no ensino de ciências: uma ferramenta cultural influente na formação de identidades juvenis**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo

FONTELLES, Mauro José et al. Metodologia da pesquisa científica: diretrizes para a elaboração de um protocolo de pesquisa. **Revista Paraense de Medicina**, v. 23, n. 3, p. 1-8, 2009.

FRAGA, Vinicius Munhoz et al. Blog como recurso didático pedagógico no ensino de ciências: as tecnologias de ensino na era dos nativos digitais. **ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS, VIII**, 2011.

GIORDAN, Marcelo. O papel da experimentação no ensino de ciências. *Química nova na escola*, v. 10, n. 10, p. 43-49, 1999.

HEWITT, P. G. **Física Conceitual**, Editora Bookman, 9ª Edição, 2008

HÜLSENDEGER, Margarete JVC. A história da ciência no ensino da termodinâmica: um outro olhar sobre o ensino de física. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 9, n. 2, 2007.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. In: Debates. Perspectiva, 2013.

LEMOS, Nivaldo A. **Mecânica analítica**. Editora Livraria da Física, p. 68 – 75, 2007.

LINDSAY, R. B. 'The Concept of Energy and Its Early Historical development', *Foundation of Physics*, Vol. 1, nº 4, p. 383-393, 1971.

MARTINS, A.S. Simetrias e Leis de Conservação na Mecânica Clássica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 21, n. 1, 1999.

MARTINS, André Ferrer Pinto. História e Filosofia da Ciência no ensino: Há muitas pedras nesse caminho.. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 1, p. 112-131, 2008.

MOREIRA, Marco Antonio. **A aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula**. Editora Universidade de Brasília, 2006.

NEVES, M. C. D. A História da Ciência no Ensino de Física, **Revista Ciência & Educação**, n. 5, v. 1, 1998, p. 73–81

NOVAK, J. D. **An alternative to Piagetian psychology**. *Science Education*, 61 (4), p. 453-477, 1977.

OLIVEIRA, R. A.; SILVA, A. P. B. **História da ciência e ensino de física: uma análise meta-histórica**. In.: PEDUZZI, L. O.; MARTINS, A. F.; FERREIRA, J. M. (Orgs.) *Temas de história e filosofia da ciência no ensino*. Natal: Edufrn, 2012. p.

OLIVEIRA, Rosa Meire Carvalho de. Aprendizagem mediada e avaliada por computador: a inserção dos blogs como interface na educação. **Avaliação da aprendizagem em educação online**, p. 333, 2006.

PAIS, Luis Carlos, **Transposição Didática** in *Educação matemática uma (nova) introdução*, 3 ed. Revisada, editora Educ., págs. 11-48, 2010

PASCAL, B. , 1948, **Pensées**, (Texto da Edição Brunshvicg), Librairie Garnier Frère, Paris.

PASCAL, B. , 1988, **Pensamentos**, Coleção 'Os Pensadores', Nova Cultural, São Paulo.

PEDUZZI, L. O. Evolução dos conceitos da Física. **Florianópolis: UFSC/EAD/CED/CFM**, 2011.

PIMENTEL, F. Da Pessoaalidade Para a Formação Cidadã de Alunos: a experiência de um blog como espaço democrático. **Debates em Educação**, Maceió, Vol. 1, nº 2, p. 1-11, 2009

PIMENTEL, Fernando Silvio Cavalcante et al. Microblogs e seu potencial de uso em educação. **Revista EDaPECI**, v. 6, n. 6, 2010.

POPPER, KARL R. Ciência: conjecturas e refutações. As origens do conhecimento e da ignorância. **Conjecturas e refutações. Brasília: Ed. Da Universidade de Brasília, s/d. Duas faces do senso comum. In: Conhecimento objetivo**, 1982.

RIBEIRO FILHO, Aurino. **Emmy Noether, a cientista que o mundo não poderá esquecer, e a física matemática**. In SAITOVITCH, Elisa Maria Baggio. Mulheres na física: casos históricos, panorama e perspectivas. Editora Livraria da Física, 2015, p. 31-48.

ROBILOTTA, M. R. O cinza, o branco eo preto: da relevância da história da ciência no ensino de física. **Caderno catarinense de Ensino de Física**, v. 5, n. 7, 1988.

SILVA OLIVEIRA, C. E.; FIREMAN, E. F.; BASTOS FILHO, J. B. In: XIV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (XXIV EPEF). **Controvérsia acerca de uma pressuposta solução de d'Alembert**. Maresias, SP: Sociedade Brasileira de Física (SBF), 2012. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/xiv/sys/resumos/T0340-2.pdf>> Acessado em 15 de Junho de 2015

SILVA OLIVEIRA, Carlos Eryma **Crítica de Leibniz a Descartes na forma de um objeto virtual de aprendizagem: História e Filosofia para o Ensino de Física**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2012.

SILVA OLIVEIRA, Carlos Erymá da; FIREMAN, Elton Casado; BASTOS FILHO, Jenner Barretto. A SOLUÇÃO ATRIBUÍDA A D'ALEMBERT SOBRE A'VERDADEIRA FORÇA É CAPAZ DE DIRIMIR A POLÊMICA ENSEJADA PELA CRÍTICA DE LEIBNIZ A DESCARTES? 1 (Is the solution given by d'Alembert about the'true force'able to settle, in a satisfactory way, the Leibniz's criticism against Descartes?). **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 18, n. 3, p. 581, 2013.

SILVEIRA, Aires Vinícius Correia da. **O conceito de simetria em física e sua importância para a aprendizagem da disciplina de física**. 2008. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/14775>>, acessado em 28 de Junho de 2015.

SOARES, Maria S. P. **O BLOG: conceito e uso pedagógico**. Disponível em:
<http://teiaeducom.blogspot.com/2005/12/o-blog-conceito-e-uso-pedaggico.html>.

Acesso em 20 de outubro de 2016.

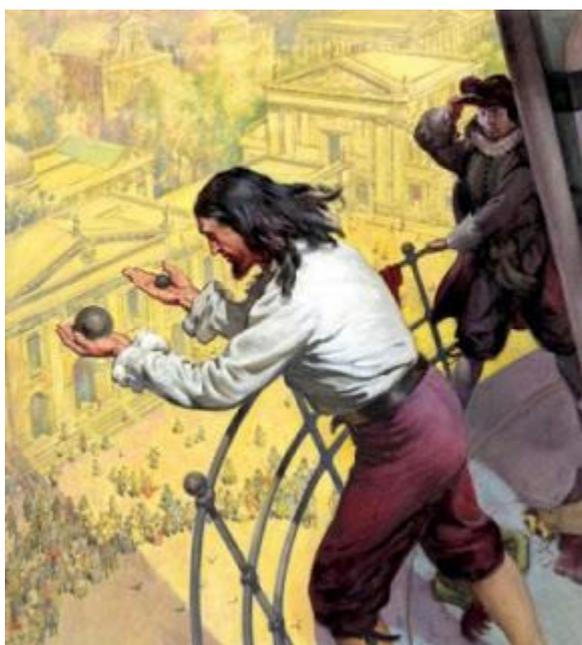
TEIXEIRA JAPIASSU, Daniel Victor **A crítica de Leibniz a Descartes. A solução de d'Alembert esgotaria o problema?** 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2013.

TEIXEIRA JAPIASSU; SILVA OLIVEIRA; BASTOS FILHO In: III Encontro Alagoano de Ensino de Ciências e Matemática. **Hermenêutica do Conceito de Causa e uma possível Pré-História dos Conceitos de Energia e de sua Conservação**, Maceió-AL, 2014, Disponível em <https://drive.google.com/file/d/0B1r7lhyJF1WPYVidm4yaEdFcDQ/view> , acessado em: 05 de Abril de 2016.

ANEXO 1 – TEXTOS APRESENTADOS AOS ESTUDANTES ATRAVÉS DO BLOG – PRODUTO EDUCACIONAL

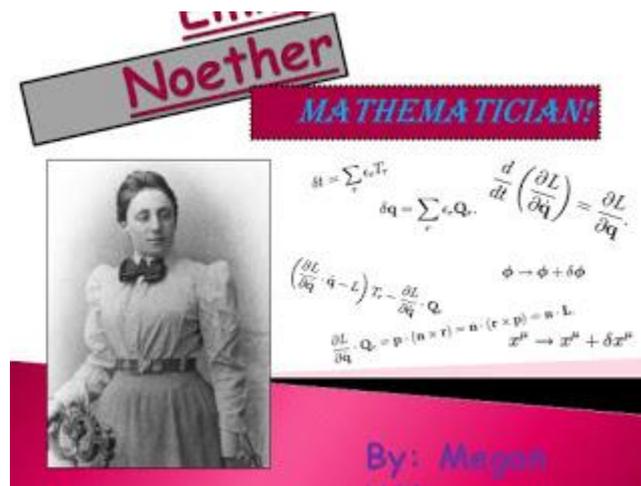
Simetrias e Leis de Conservação

Existiu na Terra um famoso físico, matemático, astrônomo e filósofo italiano, Galileu Galilei. Ele foi um dos que nos ajudou a entender a natureza e muitas das suas deduções são usadas e aprendidas até hoje. Sabe que foi ele que foi julgado pela inquisição, pois defendeu o sistema planetário heliocêntrico de Copérnico (o Sol como o centro do universo) em detrimento ao sistema planetário geocêntrico (a Terra como o centro do universo) - atribuído a Aristóteles? Pois é, Galileu viveu alguns momentos de adrenalina na vida. Diz a lenda que ele subiu na torre inclinada da cidade de Pisa e passou a soltar objetos de diferentes massas no chão. A lógica natural da época era que quanto mais pesado fosse o objeto, mais rápido ele chegaria ao chão. No entanto a surpresa! Objetos leves ou pesados, praticamente chegavam juntos ao chão. Uma bola de 10 g e outra de 10 kg (10 000 g), soltas ao mesmo tempo, da mesma altura, chegavam ao solo no mesmo instante. Percebemos que neste simples experimento, algo na natureza obedece a uma simetria: o tempo! Este é um fenômeno em que ocorre uma Simetria Temporal.



Pois, se eu te disser que, medindo a Energia Potencial ($E = mgh$) da pedra no

alto da torre e medir a Energia Cinética ($E = mv^2/2$) no chão, o valor numérico será o mesmo? Isto pode não ser tão impressionante pois o exemplo é muito simples. Mas pode acreditar, em qualquer situação em que fenômenos diferentes ocorrerem no mesmo intervalo de tempo (Simetria Temporal), irá também ocorrer a famosa Conservação da Energia Mecânica. Já percebeu que numa montanha russa não tem limite máximo de peso? Pois bem, qualquer pessoa que entre no carrinho, sendo gorda ou magra, o tempo de viagem no brinquedo será o mesmo. Meu professor de Física na faculdade gostava de brincar nos problemas, colocando um elefante num exemplo e uma formiga noutra, e incrivelmente, os resultados encontrados eram muito semelhantes. Isto ocorre pela associação que há entre a Simetria Temporal e a Conservação da Energia Mecânica, ideia esta, estabelecida pela eminente matemática Emmy Noether (1882 - 1935, alemã) - segundo Einstein, a mulher mais importante da história da matemática.



Sabe porque é importante usar o cinto de segurança no carro? Pois bem se o carro estiver a 80 km/h, você com 70 kg de massa, numa batida sem cinto, poderá ser lançado a uma velocidade final de quase 1000 km/h, já imaginou? Claro que dentro do sistema ocorreriam todas as colisões interna entre você e o carro. O fato é que é muito importante usar o cinto de segurança. Agora pense, se você estiver num veículo a 80 km/h e se choca num muro perto da sua casa (não faça isso), faria diferença se você batesse noutra muro com as mesmas características, mas em outro lugar? Pois bem, a resposta é não. O "estrago" seria o mesmo não é? Isto ocorre porque a quantidade de

movimento, ou momento linear ($Q = m.v$), se conserva quando detectamos uma Simetria no espaço, a famosa Simetria Espacial. E em qualquer "colisão" ocorre a Conservação da Quantidade de Movimento e para isto, o local em que ela ocorre não importa (falamos da conservação como sendo a quantidade de movimento do sistema (carro + muro) no instante imediatamente antes da colisão e no instante imediatamente após a colisão).



Desta forma, podemos resumir nossa conversa em duas consequências:

- 1) A Simetria temporal redundando na Conservação da Energia Mecânica
- 2) A Simetria Espacial redundando na Conservação da Quantidade de Movimento

Aí está o Teorema Noether

[O Princípio de Conservação de Energia \[Parte 1\]](#)

Sabe quando você faz o seu ventilador funcionar? Pois bem, neste simples fato cotidiano percebemos a existência de um dos mais importantes e elementares princípios da natureza: o da Conservação de Energia. Para que o ventilador funcione é necessário ligá-lo à rede elétrica, neste caso, estamos fornecendo para o aparelho energia elétrica. Esta energia elétrica é convertida em movimento das hélices e junto com este movimento, o motor do aparelho aquece. Sabe porque isto ocorre? A energia elétrica é convertida em outros dois tipos de energia: mecânica e térmica (calor). Hoje em dia é muito simples

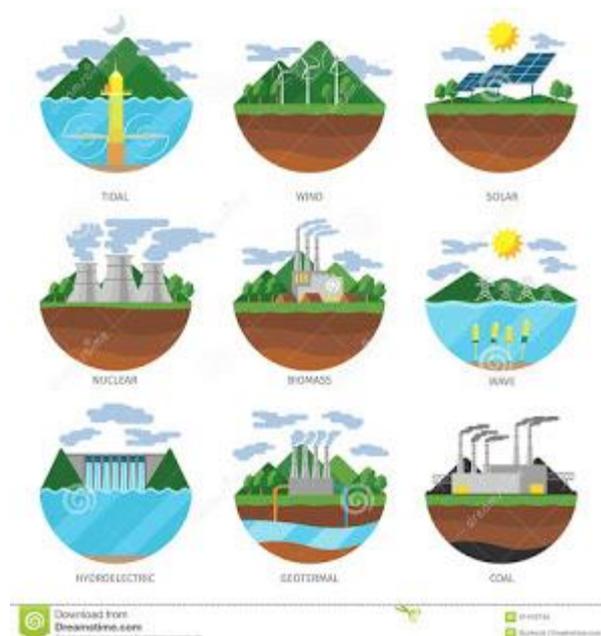
perceber esta relação, porém, em épocas antigas, certas conclusões não eram tão simples, sempre foi preciso muita observação. De onde será que surgiram estas ideias e quem foram os principais responsáveis por elas? É importante conhecer o processo histórico do princípio da Conservação de Energia pois foi a partir dele que ocorreu a emergência do conceito de energia. Este conceito representa um elemento de ligação com muitas áreas da Física, além de ser um elo que liga a própria Física a outras áreas do conhecimento.



Muitos pesquisadores contribuíram para a formação do princípio da Conservação de Energia, por isso que você não aprende na escola que este princípio é de algum cientista específico (como são as Leis de Newton). Por volta do ano 1800, um grupo formado por Mohr, Willian Grove, Faraday e Liebig descobriu um princípio de convertibilidade entre várias forças, como calor em trabalho (sim, na época o calor e o trabalho eram chamados de força). No entanto, não havia, ainda, o conceito de conservação. Outro fato importante ocorre por volta de 1842, quando Meyer descobre e formula o princípio da Conservação de Energia. Ele tem como princípio filosófico a ideia de que alguma coisa deve se conservar nas transformações físicas. Isto parte de um princípio metafísico, o de que "nada pode surgir do nada", além da ideia de que a causa pode ser medida pelo efeito. Além dele, Joule, Colding, Helmholtz, Sadi Carnot, Marc Séguin entre outros, fizeram experimentos diferentes, porém, todos falando da mesma coisa: princípio da Conservação de Energia.



Estes processos tiveram uma tendência forte de ocorrer por dois motivos principais: a disponibilidade dos processos de conversão e a preocupação com os motores. Muitas foram as descobertas sobre as conversões que ocorrem na natureza: Watt descobriu a conversão de energia térmica em cinética (máquina a vapor), Volta viu que energia em processos químicos pode ser convertida em energia elétrica (pilha), Oersted percebeu a conversão de energia elétrica em magnética (Eletroímã), já Faraday percebeu a conversão de energia magnética em elétrica (base dos motores elétricos), Joule notou a conversão de energia elétrica em térmica. Todas essas descobertas ocorreram entre 1768 a 1840. Mostra que a conjuntura na época propiciava estas percepções.



De todos, o trabalho de Joule foi o marco principal de como os processos de conversão demarcaram a base experimental da conservação da energia e possibilitou os laços fundamentais entre os vários cientistas principalmente os da engenharia do vapor. Isto nos mostra que as necessidades da época ajudaram a estimular os pesquisadores, principalmente aqueles que trabalhavam na área da tecnologia, desenvolvendo e aprimorando as condições de trabalho e locomoção.

O Que São Simetrias?

Já observou alguma vez como as coisas ao seu redor podem parecer semelhantes? Já parou pra pensar como você faz para identificar a sua sala de aula? Se você entrar na sua sala e um colega seu, por brincadeira, vendar os seus olhos e levar você por um caminho que desconhecido até que você pare numa sala (podendo ser ou não a sua) quais as características você teria como referência para identificar se era a sua sala de aula habitual ou alguma outra da escola? Todas as suas respostas para responder essa pergunta indicam elementos que sofrem mudança (as inscrições nas paredes, os cartazes, as características das janelas e do quadro); qualquer outro elemento que você pense que não ajuda a identificar sua sala são os que

devem ser comuns a qualquer sala de aula (as carteiras, a porta, o quadro, a mesa do professor, a posição do Sol).



Na Física, as simetrias são observadas nos fenômenos naturais ao qual não ocorre mudança na matéria: uma pedra caindo, uma colisão entre dois corpos, a rotação da Terra ao redor de seu próprio eixo. Estes são exemplos de fenômenos físicos. Nestes casos, como podemos identificar elementos simétricos e como podemos relacioná-los com outros elementos da natureza? Primeiramente é importante entendermos o que significam as Simetrias na Física. Podemos dizer que as simetrias ocorrem quando algo se mantém invariável (constante) perante alguma transformação. Isto pode parecer confuso, mas é mais simples do que parece. Quando percebemos uma pedra caindo de uma certa altura, algo se modifica - a altura da pedra em relação ao solo; porém, se fizermos este simples experimento em qualquer lugar da Terra, o tempo necessário para que a pedra caia desta mesma altura não vai modificar. Isto quer dizer que a altura durante a queda vai mudar, porém, o tempo necessário para cair de uma certa altura será sempre o mesmo. Começou a perceber algo invariável durante uma mudança?



Procure notar no seu dia-a-dia os elementos que são invariáveis e verifique se eles representam elementos simétricos. Isto pode ajudar você a entender melhor sobre as simetrias que compõe a natureza. Pense também em objetos que representam simetrias, qual objeto seria o mais simétrico para você?

ANEXO 2 – HERMENÊUTICA DO CONCEITO DE CAUSA E UMA POSSÍVEL PRÉ-HISTÓRIA DOS CONCEITOS DE ENERGIA E DE SUA CONSERVAÇÃO¹²

1 INTRODUÇÃO

Foi histórica e precipitadamente alardeado por muitos autores ilustres (entre os quais MACH, 1960; WHEWELL, 1872; STALLO, 1884; MONTUCLA 1799-1802; para uma análise circunstanciada de várias das consequências deste fato ver: SILVA OLIVEIRA et al. 2012; 2013; SILVA OLIVEIRA, 2012; TEIXEIRA JAPIASSU, 2013) que a solução, ou melhor, que a pretensa solução oferecida por d'Alembert para os desdobramentos que tiveram origem a partir da famosa controvérsia entre a vis viva de Leibniz e a quantidade de movimento de Descartes fora definitivamente sepultada e que tudo isso não passava de uma "disputa de palavras". Foi o que d'Alembert escreveu no texto de seu *Discurso Preliminar* da segunda edição de seu *Tratado de Dinâmica* publicado em Paris em 1758. Nele, d'Alembert escreveu:

Ora esses diferentes efeitos são evidentemente produzidos por uma **mesma causa**; tanto daqueles cuja **força seja avaliada pela velocidade**, quanto daqueles cuja **força seja avaliada pelo quadrado da velocidade**, e não se pode entender e falar de **efeito** quando eles são expressos pela **força**. Esta **diversidade de efeitos** proveniente, toda ela, de uma **mesma causa**, pode servir, para se dizer de passagem, **o quão pouco tem de justeza & precisão o axioma pretendido, se for colocado em uso a proporcionalidade entre as causas e seus efeitos**. Enfim, aqueles mesmos que não estejam no estado de recorrer aos princípios metafísicos da questão das forças vivas verão facilmente que isto não passa de uma disputa de palavras, caso as duas partes em questão estejam inteiramente de acordo sobre os princípios fundamentais do equilíbrio e do movimento. (d'Alembert, J. R. 1758, *Discurso Preliminar do Traité de Dynamique*, p.xxiii; tradução para o português de nossa responsabilidade a partir do original em francês¹³; os grifos são nossos)

¹² Artigo apresentado ao III Encontro de Ensino de Ciências e Matemática de Alagoas.

¹³ "Or ces differens effets sont évidemment produits par une même cause; donc ceux qui ont dit que la force étoit tantôt comme la vitesse, tantôt comme son quarré n'ont pu entendre parler que de l'effet, quand ils se sont exprimés de la force. Cette diversité d'effets provenans tous d'une même cause, peut servir, pour le dire en passant, à faire voir le peu de justesse & de précision de l'axiome prétendu, si souvent mis en usage, fur la proportionnalité des causes à leurs effets. Enfin ceux mêmes qui ne seroient pas un état de remonter jusqu'aux Principes

Como temos a intenção de proceder a uma hermenêutica deste excerto de d'Alembert, grifamos em negrito algumas passagens do mesmo, a começar pela expressão *uma mesma 'causa'*. Aqui d'Alembert toma a palavra '*causa*' como equivalente à *força newtoniana* e que esta força, segundo ele, é '*causa*' tanto dos '*efeitos*' dos fenômenos proporcionais à velocidade quanto dos '*efeitos*' proporcionais ao quadrado da velocidade. Como os significados atribuídos por d'Alembert aos termos '*causa*' e '*efeito*' são radicalmente diferentes dos correspondentes significados atribuídos por Leibniz aos mesmos termos, então não é de se espantar que ele tenha concluído acerca de '*quão pouco tem de justeza e precisão o axioma pretendido, se for colocado em uso a proporcionalidade entre as causas e seus efeitos*'.

Neste exato momento, o que d'Alembert pretendeu foi esvaziar o Princípio Metafísico de Leibniz da Identidade entre Causa e Efeito segundo o qual *a causa deve ser avaliada pelo efeito produzido por ela*. No entanto, *causa* para Leibniz significa, hoje em dia diríamos, que é a energia, e *efeito* significa, enquanto uma já presente intuição profunda de um desenvolvimento futuro após a morte do próprio Leibniz, o espectro das diversas possibilidades de transformação da energia nas quais subjazem um Programa Científico-Filosófico baseado em Leis de Conservação. Mostraremos aqui neste trabalho que ao tentar esvaziar o Princípio Metafísico de Leibniz da identidade entre causa e efeito, d'Alembert não consegue responder à questão posta por Leibniz acerca da grandeza responsável pela elevação de um corpo a uma dada altura. Em outras palavras, ao instrumentalizar o conceito de causa varrendo para fora o seu conteúdo metafísico, d'Alembert dá uma resposta insuficiente e que não é capaz de corroborar importantes desenvolvimentos dos séculos XVIII e XIX que ressaltam a abrangência e profundidade dos conceitos de energia e de sua conservação.

Por motivos estritamente didáticos tomamos licença para praticar alguns anacronismos: tomaremos como quantidade de movimento de um corpo, ou

Métaphysique de la question des forces vives, verront aisément qu'elle n'est q'une dispute de mots, s'ils confiderent que les partis sont d'ailleurs entièrement d'accord sur les principes fondamentaux de l'équilibre & mouvement". (d'Alembert, *Traité de Dynamique* (Discours Preliminaire), 1758, p. xxiii).

seu momento linear, o conceito hodierno que é expresso pelo produto da massa newtoniana do corpo em questão pela sua velocidade vetorial e não a antiga quantidade de movimento cartesiana que se constitui no produto da extensão do corpo por sua velocidade escalar. Analogamente, consideraremos a vis viva como o produto da massa newtoniana de um corpo pelo quadrado de sua velocidade. Neste sentido, a vis viva de Leibniz é aqui considerada como o dobro de sua energia cinética. Para uma discussão circunstanciada ver BASTOS FILHO, 1986; 1987; 1999; BASTOS FILHO et al. 1989)

Este trabalho está organizado como segue. Na seção 2 mostraremos a conexão matemática entre os conceitos de força newtoniana, momento linear e energia cinética com o fito de preparar a discussão do que seja uma mera conexão matemática e uma outra conexão, bem mais significativa e profunda, que vai muito além dos meros princípios matemáticos. Na seção 3 adiantaremos o porquê da insuficiência da pretensa solução de d'Alembert. Na seção 4 mostraremos que d'Alembert e Leibniz conceituam muito diferentemente o que seja *causa* e o que seja *efeito*. Na seção 5 argumentaremos acerca da fertilidade do Programa Científico-Filosófico de Leibniz. Esta seção foi desenvolvida em três subseções: a primeira focada na diferença importante entre Princípios Matemáticos da Filosofia Natural e Princípios Metafísicos da Filosofia Natural; a segunda centrada na argumentação segundo a qual os desenvolvimentos de Lagrange fortalecem as ideias centrais de Leibniz; a terceira focada em mostrar quão díspares são os conceitos de *causa* e *efeito* adotados por d'Alembert, por um lado, e Leibniz, por outro. Finalmente, na seção 6 exibiremos as nossas conclusões.

2 DA CONEXÃO ENTRE OS CONCEITOS DE MOMENTO LINEAR, ENERGIA E FORÇA NEWTONIANA

Desde o século XVIII com o estabelecimento mais definitivo do cálculo infinitesimal (diferencial e integral) é conhecido que a eficácia da força newtoniana agindo no tempo sobre um dado corpo de massa newtoniana m redundava na variação do momento linear sofrido pelo corpo em questão. De modo análogo, a eficácia da força newtoniana agindo no espaço sobre um corpo de massa newtoniana m redundava na variação da energia cinética

experimentada por esse corpo. Em outras palavras, podemos dizer que a eficácia da força newtoniana pode ser medida tanto pela sua ação no tempo quanto pela sua ação no espaço. Evidentemente, dizer isso -o que é correto- não significa dizer que essas ações sejam equivalentes; definitivamente elas não são equivalentes. De fato, tal constatação meramente matemática significa somente, e tão somente, que o conceito de força newtoniana pode ser conectado com os conceitos de momento linear e de energia cinética. Nada diz sobre se tais eficácias sejam ou não equivalentes. Em primeiro lugar, no caso da eficácia da força newtoniana agindo no tempo teremos uma variação de momento linear do corpo em questão e essa grandeza tem a dimensão física MLT^{-1} , onde **M**, **L** e **T** denotam respectivamente massa, comprimento e tempo, e no caso da eficácia da força newtoniana agindo no espaço teremos uma variação da energia cinética experimentada pelo corpo em tela e essa grandeza tem a dimensão física de ML^2T^{-2} .

3 O PORQUÊ DA INSUFICIÊNCIA DA PRETENSA SOLUÇÃO DE D'ALEMBERT

Leibniz argumentou que se admitirmos que elevar um corpo de massa **M** a uma altura **4H** seja equivalente a elevar um corpo de massa **4M** a uma altura **H** e que, se, além disso, aplicarmos às duas situações a lei da queda livre de Galileu, então as respectivas vis vivas (dobro da energia cinética) com as quais os respectivos corpos atingem o solo corroboram essa equivalência, mas os respectivos momentos lineares definitivamente não. *Conclui então Leibniz que a grandeza física responsável pela elevação de um dado corpo até uma dada altura é a sua vis viva (dobro da energia cinética) e não o momento linear.*

Dizer isto é definitivamente diferente de estabelecer uma mera conexão matemática instrumental entre os conceitos de força newtoniana e de momento linear, por um lado, e entre os conceitos de força newtoniana e energia cinética, por outro.

4 D'ALEMBERT E LEIBNIZ: CONCEITOS DIFERENTES DE CAUSA E DE EFEITO

Ao adotar o conceito de força newtoniana como *causa* e ao adotar como *efeitos* tanto aqueles fenômenos que são proporcionais à velocidade quanto aqueles fenômenos que são proporcionais ao quadrado da velocidade, d'Alembert não vai

além de uma mera matemática que não é capaz de resolver o problema de qual grandeza é a responsável pela elevação de um corpo até uma dada altura. Definitivamente, a variação do momento linear (ou quantidade de movimento linear se quisermos) não responde o problema posto por Leibniz. Em outras palavras, a integração da força newtoniana no tempo não leva à resposta correta pois as variações de momento linear são diferentes nas duas situações apontadas por Leibniz. A força newtoniana integrada no espaço, ou como sabemos hoje, o trabalho realizado pela força newtoniana que é a variação da energia cinética, esta sim resolve o problema, pois as respectivas energias cinéticas com as quais os corpos chegam ao solo nas duas situações são equivalentes. Logo, não é a força newtoniana a causa dos efeitos, pois em quaisquer situações de interação entre dois corpos as forças são iguais e contrárias, mas as suas integrações no espaço redundam em efeitos em geral totalmente diferentes como no exemplo da interação entre uma pedra e a Terra. Também não é o momento linear, pois as suas variações são iguais e seus efeitos diversos. No entanto, a grandeza responsável -causa- dos efeitos é a energia cinética.

A profundidade dos argumentos de Leibniz confrontados com a estreiteza instrumentalista de d'Alembert podem ser inferidas muito evidentemente se analisarmos o experimento de pensamento que passaremos a descrever a seguir. Ora, se o mundo fosse mecânico, o corpo que cai de uma dada altura colidiria com o solo em uma interação 100% elástica e voltaria até a mesma altura; em lá chegando, tornaria a cair e a retornar até a mesma altura em um movimento *ad infinitum* de vais e véns. No entanto, como sabemos, o mundo somente é idealmente mecânico e essa idealização é fundamental para que venhamos a estudar melhor a realidade de um mundo muito mais termodinâmico que mecânico. Trata-se da metodologia de Galileu de *falsificar o real para melhor compreendê-lo*, ou ainda dito de outra forma, de idealizar o mundo (desprezando por exemplo, todas as dissipações existentes) para que venhamos a melhor perceber o cerne da realidade, ou seja, compreender o cerne do mundo real a ser investigado que está escondido por dissipações, atritos etc. É neste contexto que aparece o *Princípio de Leibniz da identidade entre causa e efeito* que pode ser enunciado como: *a causa deve ser estimada pelo efeito produzido por ela*.

Para compreendê-lo vejamos o nosso experimento de pensamento seguinte: se os movimentos *ad infinitum* de vais e véns, que implicam em uma interação ideal e 100% elástica, tal como aludimos acima, for comutado por uma interação 100% inelástica por meio de uma massa de modelar que se encontra no solo, então o efeito substitutivo da elevação *ad infinitum* de um corpo até uma dada altura é a deformação

sofrida pela massa de modelar. Essa deformação constitui-se precisamente no *efeito* resultante o qual, segundo Leibniz, deve levar à inferência da *causa* que o produz. Realmente, se passarmos do mundo ideal para o mundo real termodinâmico que implica na deformação da massa de modelar, então chegaremos mais uma vez ao resultado segundo o qual as deformações produzidas pelos corpos nas duas situações postas por Leibniz são exatamente iguais, o que mais uma vez corrobora o resultado de Leibniz, inclusive a eloquente pertinência de seus conceitos de *causa* e de *efeito*.

Ademais, os conceitos de Leibniz de causa e de efeito, associados ao seu princípio metafísico de identidade entre causa e efeito, dão vazão, diferentemente da esterilidade instrumental da abordagem de d'Alembert, a uma grandeza que se transforma passando de uma forma à outra, por exemplo, passando daquela forma que é responsável, ou seja, a *causa* tanto pela elevação de um corpo até uma dada altura quanto pelo *efeito* de deformar sofrido pela massa de modelar, deformação essa que se constitui precisamente no *efeito substitutivo* da elevação de um corpo até uma dada altura. *Logo, compreende-se a profundidade do princípio de Leibniz segundo o qual a causa deve ser estimada pelo efeito produzido por ela.*

5 DA FERTILIDADE DO PROGRAMA DE LEIBNIZ

5. 1 DA DIFERENÇA ENTRE PRINCÍPIOS MATEMÁTICOS E PRINCÍPIOS METAFÍSICOS

Se trouxemos à tona o conceito de Lakatos de Programa Científico de Pesquisa diríamos que o cerne (núcleo duro) do Programa de Leibniz é o seu aspecto causal enfaticamente baseado em leis de conservação. Neste sentido, o Programa de Leibniz se assemelha ao Programa de Descartes, que embora se distinguindo do Programa de Leibniz por outras razões, era, ele próprio, também causal e firmemente baseado em leis de conservação. Diferentemente dos Programas respectivamente de Descartes e de Leibniz, o Programa Newtoniano embora, não incompatível com causas e leis de conservação, não era focado nessas importantes categorias. Interessava muito mais ao Programa de Newton a variação do movimento implicado pela sua força. O

Programa Newtoniano era muito mais focado em *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural* do que em *Princípios Metafísicos da Filosofia Natural* e isso é uma diferença de não somente importância entre Leibniz e Newton. É necessário trazer à baila a discussão de que os Princípios Metafísicos foram férteis, entre muitos aspectos, para o estabelecimento de uma grandeza que se transformava e que se conservava. (Ver a propósito BASTOS FILHO, 1999; ELKANA, 1977; AUSTRILINO SILVA et al., 1995a; 1995b)

Em sua famosa correspondência com Clarke, Leibniz (ALEXANDER, 1956; LEIBNIZ, 1988) asseverou, em sua segunda carta, que para se construir toda a matemática, era necessário apenas um princípio que é o da não contradição. No entanto, para a construção da filosofia natural, ou seja, da física, teríamos que adicionar, além do princípio da não contradição, mais um outro que é o *princípio da razão suficiente* segundo o qual *nada existe sem que haja uma razão para que uma coisa seja assim e não de qualquer outro modo*. Obviamente, o princípio da razão suficiente, é um requisito de um princípio causal, pois pode ser formulado como segue: *nada existe sem que haja uma causa para isso ser assim e não de qualquer outro modo*. Deste modo, Leibniz investe contra a redução newtoniana da Física (Filosofia Natural) meramente aos princípios matemáticos tal como investe também contra a redução cartesiana da Física à geometria como mostra o título do capítulo 21 de seu *Discurso de Metafísica: "Se as regras mecânicas dependessem unicamente das geometrias sem a metafísica, os fenômenos seriam outros"* (LEIBNIZ, 1946).

Com a predominância do paradigma newtoniano, centrado na força newtoniana, enquanto causa meramente formal¹⁴ e matemática dos fenômenos (tanto daqueles proporcionais à velocidade como daqueles proporcionais ao quadrado da velocidade), a metafísica foi varrida e como tal considerada como não pertinente e assim cientistas como d'Alembert assumiram um espírito positivista consubstanciado por uma atitude de ojeriza em relação a causas. É necessário dizer que d'Alembert é um cientista do século XVIII e o termo positivista é muito mais referido a Comte no século XIX, mas o espírito positivista já reinava em séculos anteriores ao século XIX e d'Alembert constitui

¹⁴ Em certo sentido a força newtoniana também comparece no Programa Newtoniano como causa eficiente da variação do movimento, mas, convenhamos, distante da concepção de leis de conservação.

exemplo de alguém dotado de espírito positivista ao recusar o princípio da identidade entre causa e efeito, tal como é evidente do trecho do excerto por nós escolhido quando está explicitamente argumentado por d'Alembert "*o quão pouco tem de justeza & precisão o axioma pretendido, se for colocado em uso a proporcionalidade entre as causas e seus efeitos*".

.5. 2 OS DESENVOLVIMENTOS DE LAGRANGE

O ítalo-francês Jean Louis Lagrange (1736-1818) nascido em Turim na região do Piemonte, na Itália era homem de três culturas (italiana, francesa e alemã) com extraordinária vocação matemática, mas relativamente pouco interesse por questões filosóficas (ver ELKANA, 1977, p. 60). Curiosamente, o seu Programa de uma matematização escalar, em vez daquela vetorial concebida pelo paradigma newtoniano baseado na força newtoniana, não deixava de corroborar vantagens e avanços que no fundo tinham uma lavra leibniziana, especialmente no que concernia ao conceito de vis viva que, hoje como sabemos, depois do estabelecimento da análise dimensional, tem a mesma dimensão física da função matemática $L = T - V$ chamada de Lagrangeana, onde T denota a energia cinética do sistema que se examine e V a energia potencial de interação correspondente. Lagrange, a despeito de seu aparente desinteresse por questões filosóficas e seu engajamento no espírito positivista próprio da *École Polytechnique* (ELKANA, op. cit. p. 61) vai muito além de d'Alembert para o qual "as ideias de conservação não são ideias centrais no cerne conceitual de d'Alembert" (ELKANA, op. cit, p. 60). No tratamento de Lagrange há inclusive uma consequência de longo alcance: "os primeiros germes do conceito de campo tiveram origem neste conceito de energia mecânica escalar que se conservava" (ELKANA, op. cit. p.65). A concepção lagrangeana é unificadora e vai além daquelas de seus ilustres predecessores Euler e d'Alembert (ver BARROSO FILHO, 1994). Este princípio de conservação inclusive é decorrência do conceito de ação, enquanto integração no tempo da função lagrangeana entre os limites inferior t_1 e superior t_2 , e do princípio que minimiza esta integral, ou seja, o princípio da mínima ação. Tudo isso, em certo sentido reabilita o Programa de Leibniz que enfatizava em seu núcleo duro as leis de conservação, principalmente a mais importante delas- a conservação da energia- que tem como possível embrião a vis viva de Leibniz. Ressalta outrossim a importância da conexão entre princípios de conservação e o conceito de causa a eles relacionado.

5. 3 CONOTAÇÕES DIVERSAS PARA UMA MESMA NOTAÇÃO DE CAUSA E DE EFEITO E A PROFUNDIDADE DA CONCEPÇÃO LEIBNIZIANA

Vejamos um problema simples que pode ser posto em discussão em uma sala de aula no Ensino Médio e que ressalta, com especial propriedade, o mérito da questão. Fixemos a nossa atenção no fenômeno da queda de uma pedra a partir de uma dada altura. Aqui, adotamos o espírito e os termos newtonianos para identificamos que essa interação se dá entre os seguintes objetos massivos: a Terra e a pedra. Pela terceira lei de Newton, a força que age sobre a pedra devido à interação a dois corpos (pedra, Terra) é exatamente, em módulo, igual à força que age sobre a Terra devido a essa mesma interação (pedra, Terra). Como estamos supondo interação instantânea e que força newtoniana significa variação temporal do momento linear e, além disso, como pedra e Terra interagem durante um mesmo tempo comum, então as respectivas variações de momento linear sofridos por ambos, pedra e Terra, são também, em módulo, exatamente iguais. No entanto, as respectivas variações de energias cinéticas de pedra e Terra são enormemente distintas em muitas ordens de grandeza.

Agora perguntaríamos a alguém.

Você preferiria ser atingido pela pedra ou pela Terra?

Ora, ninguém vai querer ser atingido pela pedra pois o rosto dessa pessoa pode ficar seriamente ferido ou pode acontecer mesmo algo mais dramático e até mais trágico. No entanto, o banhista que está com o seu rosto encostado na areia não se aperreia com a interação (pedra, Terra) se ele não estiver na linha de queda da pedra. Ora, se fixarmos a nossa atenção apenas para a interação (pedra, Terra) se a pedra atingir o rosto de alguém pode feri-lo gravemente, mas se a Terra atingir esse mesmo rosto, então nada de grave acontece.

Ora, a força newtoniana, em si própria, não pode ser a *causa* do ferimento pois sobre ambos, pedra e a Terra, agem forças que são exatamente iguais, em módulo, e a Terra não causa ferimento, mas a pedra sim. Também essa *causa* do ferimento não pode ser atribuída ao momento linear, pois também esses, seja o da pedra, seja o da Terra, são iguais em módulo. No entanto, as energias cinéticas, respectivamente de pedra e Terra são enormemente diferentes. A energia cinética da pedra é muitas ordens de

grandeza superior à energia cinética da Terra que nem é capaz, minimamente, de ferir o rosto do banhista.

Ora, a força newtoniana integrada no espaço redundando na variação da energia cinética, e esta responde o problema posto por Leibniz no caso do efeito resultante causado pela energia cinética da pedra, mas não a força newtoniana isoladamente. A força newtoniana quando integrada no tempo não resolve o problema de Leibniz.

Neste momento de nossa exposição sobre o assunto nos encontramos em condições de distinguir claramente conotações conceituais diferentes para as mesmas notações meramente monominais de *causa* e de *efeito*.

Para d'Alembert a força newtoniana é *causa* de todos os movimentos pois a partir dela podemos ser conduzidos tanto aos fenômenos que são *efeitos* proporcionais à velocidade (quando a integramos no tempo) quanto aos fenômenos que são *efeitos* proporcionais ao quadrado da velocidade (quando a integramos no espaço). Notemos que os termos respectivamente *causa* e *efeito* neste contexto assumem significados meramente matemáticos. Lembremos que o espírito positivista tem como um de seus objetivos programáticos aquele de expulsar quaisquer considerações a partir de causas, pois esses seriam resquícios metafísicos os quais dever-se-ia eliminar.

No entanto, Leibniz argumentou que além dos princípios matemáticos, a construção da Física requer também a adoção de princípios metafísicos como o que expressa o princípio da identidade entre causa e efeito segundo o qual *a causa deve ser estimada pelo efeito produzido por ela*. O efeito produzido por ela é o ferimento no rosto que melhor convém à *causa* energia cinética. É importante ressaltar com bastante ênfase que os princípios metafísicos não são meras perfumarias nem confusão de palavras como argumentou d'Alembert. A fertilidade da abordagem lagrangeana a confirma, bem como também a corrobora a grande fertilidade e importância da lei da conservação da energia, não apenas quando essa é restrita ao mundo mecânico (energia cinética mais energia potencial), como, ainda e com maior razão, quando a analisamos no contexto da termodinâmica que envolve o conceito de calor. Formas diversas de energia se transformam umas nas outras o que corrobora muito enfaticamente os conceitos leibnizianos de *causa* e *efeito*.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Chegamos portanto às nossas considerações finais e às nossas conclusões neste trabalho. Efetivamente, estivemos empenhados neste artigo em proceder a uma hermenêutica de termos que assumem uma mesma notação, porém adquirem conotações conceituais radicalmente diferentes quando somos instados a proceder a uma confrontação entre concepções de autores de lavras intelectuais distintas. O foco da nossa atenção está no que podemos interpretar como sendo *causa* e *efeito* para d'Alembert e o que sejam *causa* e *efeito* para Leibniz. A nossa hermenêutica dos textos e argumentos desses autores nos leva a uma disparidade tal que a pretensa solução de d'Alembert não se aplica por diversas razões. Enquanto d'Alembert foca a sua explicação na interpretação meramente instrumental de causa centrada no conceito newtoniano de força, e como tal, se restringe a uma abordagem de lavra positivista, Leibniz está firmemente convencido da importância de que a Física (ou a Filosofia Natural, se quisermos) não é redutível aos Princípios meramente matemáticos e que além desses, são estritamente necessários Princípios Metafísicos como o da Identidade entre Causa e Efeito no qual os termos Causa e Efeito assumem conotações conceituais filosoficamente diversas que aquelas de d'Alembert. Concluímos ainda acerca da enorme pertinência de levar essa discussão, cheia de nuances e riqueza conceitual, para os nossos estudantes do Ensino Médio e para os nossos estudantes do Ensino Superior.