CEFET/RJ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

SOBRE A METAFÍSICA ROMÂNTICA E A CONSTRUÇÃO DO PRINCÍPIO DE CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

IVAN LUIS MIRANDA TALON

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Educação do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciência, Tecnologia e Educação.

Orientador:

José Claudio de Oliveira Reis, D. Sc.

Rio de Janeiro
Março / 2015

SOBRE A METAFÍSICA ROMÂNTICA E A CONSTRUÇÃO DO PRINCÍPIO DE CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Educação do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciência, Tecnologia e Educação.

Ivan Luis Miranda Talon

Aprovada por:

_____
Presidente, José Claudio de Oliveira Reis, D. Sc. (Orientador)

_____
Prof. Marco Antonio Barbosa Braga, D. Sc.

_____
Prof. Antonio Augusto Passos Videira, D. Sc. (UERJ)

Rio de Janeiro
Março / 2015

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

T152 Talon, Ivan Luis Miranda
Sobre a metafísica romântica e a construção do princípio de conservação da energia / Ivan Luis Miranda Talon.—2015.
xi, 163f. + apêndice : il. (algumas color.) ; enc.

Dissertação (Mestrado) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca , 2015.
Bibliografia : f.143-163
Orientador : José Claudio de Oliveira Reis

1. Ciências – Estudo e ensino. 2. Ciência – Filosofia. 3. Ciência – História. 4. Energia – Conservação. 5. Metafísica. I. Reis, José Claudio de Oliveira (Orient.). II. Título.

CDD 507

Dedicatória

À minha esposa, familiares e amigos de todas as horas.

Agradecimentos

Agradeço, em especial, ao professor José Claudio de Oliveira Reis por ter-me aberto a mente para uma ciência muito mais rica, complexa e culturalmente apreciável do que eu imaginava.

"*(...) tornar-me cada vez mais aquilo que sou é meu único desejo*" (SCHLEIERMACHER *apud* PUPI, 2002, p.632).

RESUMO

SOBRE A METAFÍSICA ROMÂNTICA E A CONSTRUÇÃO DO PRINCÍPIO DE CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

Ivan Luis Miranda Talon

Orientador:

Prof. José Claudio de Oliveira Reis, D. Sc.

Resumo da dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do titulo de mestre em Ciência, Tecnologia e Educação.

Tendo em vista o ideal de uma visão mais ampla e rica acerca do empreendimento científico, de uma educação científica mais valorosa, reflexiva e crítica, sugerimos, nesta dissertação, um caminho histórico-filosófico (viés intrinsecamente interdisciplinar) para o ensino da grandeza energia; em especial, ao longo do presente trabalho, sobressaltamos determinado aspecto concernente à complexa natureza da ciência: a importância da metafísica para a atividade científica. Tal aspecto não costuma ser contemplado nos manuais didáticos direcionados ao ensino de física e nem costuma fazer parte dos discursos proferidos pelos professores dessa disciplina em sala de aula. Certos elementos metafísicos, apriorísticos e respectivos à *Naturphilosophie*, possivelmente exerceram um relevante papel no processo de emergência, desenvolvimento e estabelecimento do construto energia no âmbito científico. Pode-se dizer que tais elementos subjazeram ao processo de construção do princípio de conservação da importante grandeza supracitada. Sem qualquer dúvida, a construção do princípio em questão foi uma vitória do intelecto humano e está longe de ter sido fruto de um processo indutivo novecentista. Parte do legado cultural científico, historicamente e filosoficamente, a energia é, dentre tantas coisas, um poderoso instrumento pedagógico, adequado à implementação de discussões sobre a NdC. Ao final do processo, apresentaremos um módulo de apoio - uma alternativa histórico-filosófica concreta - voltado para professores os quais tenham por objetivo promover reflexões acerca da NdC nas salas de aula de física.

Palavras-chave:

Ensino da grandeza energia; *Naturphilosophie*; HFC; NdC; Metafísica

Rio de Janeiro
Março / 2015

ABSTRACT

ON ROMANTIC METAPHYSICS AND CONSTRUCTION OF THE ENERGY CONSERVATION PRINCIPLE

Ivan Luis Miranda Talon

Advisor:

Prof. José Claudio de Oliveira Reis, D. Sc.

Abstract of dissertation submitted to Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação of Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, as partial fulfillment of the requirements for the Science, Tecnology and Education Master Degree.

In view of the ideal of a broader and richer vision of the scientific enterprise, more pleasant, reflective and critical science education, we suggest, in this dissertation, a historical-philosophical way (intrinsically interdisciplinary bias) for the energy greatness education; in particular, throughout this work, we enphasize certain aspect concerning the complex nature of science: the importance of metaphysics for scientific activity. This aspect is not usually covered in textbooks directed to physics teaching and is not usually part of the speeches delivered by the teachers of this discipline in the classroom. Certain metaphysical, *a priori* and respected to *Naturphilosophie* elements, possibly played a relevant role in the process of emergence, development and establishment of the construct energy in scientific domain. It can be said that these elements were behind the construction process of the above mentioned important greatness principle of conservation. Without any doubt, the construction of the principle in question was a victory of human's intellect and is far from being the result of a nineteenth century inductive process. Part of the scientific culture, historically and philosophically, energy is, among many things, a powerful educational tool, suitable for implementation of NOS discussions. At the end of the process, we will present a support module - a concrete historical-philosophical alternative - designed for teachers who have as goal to promote reflections on NOS in physics classrooms.

Keywords:

Teaching of greatness energy; *Naturphilosophie*; HFS; NOS; Metaphysics

Rio de Janeiro
March / 2015

Sumário

Introdução **1**

I Sobre a ciência **5**

II Sobre o ensino de ciências **8**

III HFC: Uma perspectiva mais valorosa **13**

III.1 HFC em prol do estudo da NdC 18

III.1.1 Sobre certo aspecto relativo à NdC pouco enfatizado: a metafísica 22

III.1.2 Sobre a metafísica e o princípio de conservação da energia 24

III.2 Interdisciplinaridade e ensino 26

IV Energia: tema gerador e conceito unificador **30**

IV.1 Concepções de energia 35

IV.2 Por um ensino de energia mais valoroso 39

V Sobre o contexto no qual fora erigido o princípio de conservação da energia **42**

V.1 Iluminismo 42

V.2 Revolução Francesa 47

V.3 O Romantismo 49

V.3.1 Goethe e Spinoza: um pré-spinozismo da física 61

V.3.2 Sobre Schelling e sua *Naturphilosophie* romântica: em defesa da importância de ambos 65

V.3.3 Uma crítica ao mecanicismo 71

V.3.4 Física e especulação assumida 76

V.3.5 Fichte, Schelling e o eu 80

V.3.6 Intuição intelectual em prol do atingimento da coisa-em-si 81

V.3.7 Unidade/totalidade na ciência romântica 83

V.3.8 Origem do mundo 86

V.3.9 A Força 89

V.3.10 A *Naturphilosophie* schellinguiana em prol da transversalidade 96

V.4 O calor, o trabalho e a Revolução Industrial Inglesa 99

V.4.1 Sobre as máquinas 102

V.4.2 Um pouco acerca da natureza do calor 107

V.4.3 A construção do equivalente mecânico do calor 110

V.5 Mayer e Helmholtz 112

V.5.1 Um pouco da metafísica apregoada por Mayer 116

V.5.2 O equivalente mecânico do calor calculado por Mayer 117

V.6 Acerca da *vis viva* 119

V.6.1 A justificativa matemática leibniziana 121

V.7 O avanço do domínio termodinâmico 125

VI Sobre o ensino de trabalho, calor e energia interna 130

VII Sobre o funcionamento das máquinas térmicas e acerca das leis da termodinâmica 133

VIII Sobre o módulo de apoio para o ensino da grandeza energia 138

Considerações Finais 139

Referências Bibliográficas 143

Apêndice Apoio histórico-filosófico para o ensino da grandeza energia 165

Lista de Figuras

Figura V.1	Tomada da Bastilha	**48**
Figura V.2	*El suenõ de la razón produce monstruos*	**58**
Figura V.3	Indústrias inglesas do período revolucionário	**102**
Figura V.4	Mulheres e crianças exploradas pelos donos de fábricas	**102**
Figura V.5	Roda hidráulica movida por fluxo de água inferior	**103**
Figura V.6	Roda hidráulica movida por fluxo de água superior	**103**
Figura V.7	Máquina de Heron	**104**
Figura V.8	Máquina de Newcomen	**105**
Figura V.9	Máquina de Watt	**106**
Figura V.10	Corpo em queda livre	**118**
Figura V.11	Dois corpos caindo livremente	**122**
Figura V.12	Modelo que explica, grosso modo, o funcionamento de uma máquina térmica	**127**
Figura VII.1	Transferência de calor 1	**134**
Figura VII.2	Transferência de calor 2	**134**

Introdução

Em detrimento do ensino de física dito tradicional - no qual, em geral, as fórmulas são memorizadas e utilizadas na resolução de exercícios repetitivos (GUERRA et al., 1998) -, na presente dissertação, sugerimos um viés distinto, que valoriza, se adequadamente contemplado, a cultura científica: a história e filosofia da ciência (doravante HFC). Tendo em vista o ideal de uma visão mais ampla e rica acerca do empreendimento científico (HENRIQUE, 2011), escudamos, nesse trabalho, um ensino de física, acreditamos, mais valoroso - visto que busca equilibrar aspectos qualitativos e quantitativos -, reflexivo e crítico; e isso, através de tal viés, histórico-filosófico - caminho intrinsecamente interdisciplinar, isto é: que opta pela discussão da história da ciência (doravante HC); que contempla a filosofia - tanto a análise quanto a reflexão filosófica -, sem a qual não seria possível a atividade científica, assim como não poder-se-ia pensar sobre o referido empreendimento (científico) e seus produtos.

Já em 1855, a *British Association for the Advancement of Science* (BAAS) salientara a importância de um ensino de e sobre as ciências (ADÚRIZ-BRAVO, 2005; MARTINS, 2012; SANTOS, 2001) - o qual ensine "*aos jovens não 'apenas meros resultados, mas os métodos e, acima de tudo, a história da ciência'*" (JENKINS *apud* PRESTES; CALDEIRA, 2009, p.5). À HC soma-se, necessariamente, a filosofia da ciência (doravante FC); tais domínios (HC e FC) são complementares. A "*necessidade de incorporação de elementos históricos e filosóficos no ensino médio chega a ser praticamente consensual*" (MARTINS, 2007, p.112).

Tal incorporação exige tanto um objeto de estudo delimitado quanto certos objetivos aos quais destinar-se-á a mesma (MARTINS, 2001). Uma vez que "*queremos ir além da análise dos resultados*" - ou seja, dos produtos - "*da física*" (DION; LOURES, 2014, p.200), voltar-nos-emos para o contexto - circunstâncias histórico-sociais e filosófico-culturais - que, por diversos motivos, justifica a emergência do princípio de conservação da energia (em certo local e num período específico) e, por conseguinte, do conceito - o qual baseia-se em quatro ideias (de conservação, conversão, transferência e degradação) - atrelado à essa importante grandeza.

Cohen (*apud* ELKANA, 1975) reitera a necessidade de uma análise histórico-filosófica relativamente profunda, caso almeje-se atingir uma compreensão adequada acerca do construto energia e, em especial, do princípio de conservação do construto referido. Cohen (*apud* ELKANA, 1975) reafirma a - enorme - importância da dita doutrina da conservação, presente em muitos momentos da história do pensamento científico e, em particular, no contexto de nosso interesse.

A energia, grandeza que "*conserva-se na totalização das distintas formas e degrada-se porque uma de suas formas - o calor - é menos elástica ou reversível do que as outras*", é

um "*camaleão*" que se transforma "*na dinâmica mutável dos objetos, fenômenos e sistemas*" (DELIZOICOV et al., 2011, pp.279-280). Segundo Coelho (2009), pragmaticamente, a energia é uma metodologia - construída - que possibilita a superação de problemas relacionados com os fenômenos naturais; tal grandeza também é uma poderosa ferramenta pedagógica, adequada à implementação de discussões relevantes, interdisciplinares e concernentes à natureza da ciência (doravante NdC). Parte do legado cultural científico, historicamente e filosoficamente, a energia é: fruto, acreditamos, de uma vontade - de unir o todo - a qual nutriam os românticos; uma grandeza unificadora, promotora de sínteses entre domínios aparentemente isolados; um conceito unificador ou totalizador (ANGOTTI, 1991).

Acerca da educação, pode-se dizer que, já há algum tempo, vive-se um momento "romanticamente inspirado", o qual aponta para o viés sintético interdisciplinar (POMBO, 2003). Com a interdisciplinaridade retorna o ideal romântico de síntese do todo - no caso, do conhecimento humano organizado em disciplinas. O Romantismo, especificamente a *Naturphilosophie* romântica - certa visão de mundo e de natureza, solidificada por Schelling e, logo em seguida, pelos chamados *Naturphilosophen* -, relaciona-se intimamente - acreditamos, embora não o façamos sozinhos - com a grandeza em questão, a energia.

Ao longo da história, certos indivíduos - dentre os quais salientamos os *Naturphilosophen* - criticaram veementemente o *modus operandi* científico dito moderno; ao optarmos pelo estudo da *Naturphilosophie* schellinguiana, naturalmente voltamo-nos para a discussão da controvérsia histórico-filosófica "Ciência Moderna *versus* Ciência Romântica". De já, afirmamos que não estamos com isso tentando resgatar ou defender certa tendência ideológica, metodologia científica ultrapassada ou visão específica de ciência e natureza. Uma coisa, dentre tantas outras, é muito importante: nutrimos uma visão de educação em ciências e acreditamos que essa possa beneficiar demasiadamente os educandos. Portanto, não se trata de uma crítica destrutiva à ciência - cujas conquistas são incontáveis e louváveis; em especial, nos interessa muitíssimo que os estudantes assumam um posicionamento crítico frente à atividade científica. É provável que o estudo da *Naturphilosophie* fomente nos alunos uma postura similar àquela dos *Naturphilosophen*, igualmente reflexiva e crítica diante das questões sociocientíficas. A problematização da ciência e de suas construções - falíveis, sujeitas a crises, controvérsias, rupturas, interesses escusos etc.: não implica na assunção de um posicionamento anticientífico; também não conduz a um relativismo extremo ou depreciativo; tem como resultado a valorização sensata e honesta da ciência (AULER; DELIZOICOV, 2001; THUILLIER, 1994).

De um modo geral, a humanização da ciência torna-a passível de críticas. Todavia, tais críticas devem ser bem alicerçadas. Na presente dissertação, voltamo-nos para o ideal de uma reflexão profunda acerca de tal empreendimento-cultura. O processo de humanização da ciência - ou das ciências - aproxima os educandos e a atividade científica - torna-os mais

íntimos (LEDERMAN, 2007). Após concluir o processo de escolarização, boa parte desses educandos afastar-se-á permanentemente do estudo formal da ciência. Uma aula de física pode ser uma oportunidade ímpar: poder-se-ia, por exemplo, explorar o aperfeiçoamento do senso crítico dos educandos; dever-se-ia considerar tal oportunidade como um momento de discussão sobre a superioridade ou não de determinada teoria explicativa construída e relativa à certa parte do mundo, fenômeno artificial ou processo natural qualquer.

Ao longo do presente trabalho, serão salientados alguns elementos os quais, acreditamos, justificam a grande importância histórica do movimento romântico. As contribuições românticas para o desenvolvimento científico - principalmente novecentista - costumam ser ignoradas, desvalorizadas e certas vezes consideradas perniciosas (KLEINERT, 2002); por conseguinte, é comum que o ensino de ciências não discuta tais contribuições. Como bem salientado por Caneva (1997), no que tange às considerações históricas relativas aos saberes ditos físicos - e poderíamos estender aos científicos como um todo - construídos ao longo do século XIX, a omissão da *Naturphilosophie* empobrece a compreensão tanto do contexto, o qual favorecera a emergência de tais saberes, quanto dos próprios saberes referidos.

No tocante ao domínio científico - ou história do pensamento e dos construtos científicos -, a *Naturphilosophie* possivelmente provera um plano de fundo filosófico - ou, de maneira mais ampla, contexto - adequado ao estabelecimento da estrutura metafísico-qualitativa do princípio de conservação da energia; e esse é o mote central desse trabalho; por conseguinte, tal corrente possivelmente influenciara diversos indivíduos envolvidos nesse processo - seja essa influência alegada ou declarada (CANEVA, 1997; GOWER, 1973; KUHN, 2011).

Notadamente, certas noções metafísicas apregoadas pelos *Naturphilosophen* (filósofos ou cientistas da natureza românticos) provavelmente desempenharam um papel relevante no processo de emergência - desenvolvimento e estabelecimento - do construto energia (e de tantos outros) no âmbito científico; pode-se dizer (supor?) que tais elementos subjazeram à construção do princípio de conservação dessa importante grandeza. Segundo Queirós et al. (2009), no que tange ao processo de construção do princípio de conservação da energia, motivações metafísicas tiveram um papel mais determinante do que quaisquer outras.

Durante a presente dissertação: empreenderemos certos recortes históricos; salientaremos alguns aspectos referentes à NdC - convenientemente selecionados (ABD-EL-KHALICK & LEDERMAN, 2000; MCCOMAS, 2008). Guia tal percurso a seguinte questão: De que maneira pode ser relevante e útil ao ensino de física contemporâneo o conhecimento de certas concepções filosóficas - particularmente, da metafísica concernente à *Naturphilosophie*

ou ciência romântica - subjacentes ao processo de construção do princípio de conservação da energia e de estabelecimento do termo energia no âmbito científico?

Não temos por objetivo solucionar quaisquer questões filosóficas, e sim: estimular reflexões acerca das mesmas; fomentar discussões epistemológicas sobre a ciência e seus produtos. Embora alguns possam pensar que um estudo desse tipo conduziria a domínios externos àqueles formalmente considerados como pertencentes à física, afirmamos que não. Tais domínios não são exteriores - ao contrário, necessariamente pertencem ao processo de construção dos saberes físicos, ou seja, são inerentes.

Essa dissertação é um trabalho teórico, fruto de um extenso estudo bibliográfico relacionado com a temática proposta e que volta-se para a produção de um módulo de apoio - um suporte histórico-filosófico - destinado ao ensino do tema energia. Ao final do processo, apresentaremos tal módulo - o qual representa uma alternativa concreta, diferenciada e voltada para a promoção de reflexões acerca da NdC nas salas de aula de física (VITAL; GUERRA, 2014). Cabe salientar que o módulo referido dirige-se a professores de física os quais queiram tratar o tema energia de modo absolutamente desviado das tradicionais abordagens ditas formulescas - costumeiras. Através da HFC, pretende-se que os alunos adquiram uma visão de ciência bem fundamentada - e, por conseguinte, uma postura crítica constante perante o empreendimento científico.

I Sobre a ciência

A relevância da ciência no mundo em que vivemos não costuma ser negada. Notadamente, é frequente a valorização de tudo aquilo que carrega o rótulo “comprovado cientificamente”; contudo, a ideia de comprovação científica - para tantos indivíduos, imediata - requer certa prudência (CUPANI, 2009).

Grande parcela da sociedade ainda entende a ciência como um domínio produtor - ou pior, descobridor - de verdades últimas - elaboradas e acabadas (BRAGA et al., 2008; HACKING, 2012; MARTINS, 2006; QUEIRÓS & NARDI, 2009); como se as construções científicas fossem “descobertas” “*por seres superdotados*” - mediante um Método universal, rigoroso e infalível (MARTINS, 2006; SASSERON et al., 2013; SENRA & BRAGA, 2013, p.9) - , tal parcela da sociedade toma o discurso científico como algo inconteste - absoluto. Muitos indivíduos sacralizam a ciência, assim como fazem as instituições religiosas com a divindade - Deus ou quaisquer outras deidades similares (THUILLIER, 1989).

Não se deve mitificar a ciência - ou os cientistas (MARTINS, 1990). A “sacralização da ciência” compromete o entendimento de sua natureza (DIAS, 2001). Os produtos científicos não emergem milagrosamente; até onde se sabe, “*ninguém levou certo número de placas de pedra ao topo de uma montanha e retornou com as*” equações da mecânica quântica - por exemplo - “*inscritas nessas (...)*”. Embora não seja tarefa fácil, se um grupo distinto de grandezas ditas físicas for concebido, um conjunto de equações completamente diferente pode ser instituído (LEHRMAN, 1973, p.15). É preciso “dessacralizar” a ciência, diz Dias (2001). As construções científicas são invenções humanas e não de “*espíritos puros*” (BRASIL, 1998; THUILLIER, 1994, p.30). A ciência tem seus limites. Há diversas perguntas as quais a ciência não é capaz de responder. “*O trabalho científico deve ser respeitado*” - não deve ser desprezado -, “*mas não venerado*”; tal trabalho deve ser posto num patamar autêntico (MARTINS, 2006, p.XXI).

A ciência - e, portanto, também a física - é uma atividade sócio-cultural complexa e laboriosa (MENEZES, 2009). Grosso modo, ciência - ou física - é cultura (DELIZOICOV et al., 2011; ZANETIC, 1989); ao mesmo tempo, a ciência emerge da cultura (MENEZES, 2009). A cultura - certa dimensão da sociedade ou complexo - abarca tanto o conhecimento humano - já adquirido ou construído - quanto todas as expressões de tal conhecimento (SANTOS, 1987). As construções científicas - um conceito físico qualquer, por exemplo - são legados culturais singulares, informações preservadas, perpetuadas (CUSTÓDIO & PIETROCOLA, 2004; LOTMAN & USPENSKY *apud* GALILI, 2012) - marcos socioculturais (BARACCA, 2001). A própria concepção de ciência enquanto “*uma atividade humana sócio-historicamente determinada*” acena para a ideia de cultura (DELIZOICOV et al., 2011, p.35).

A ciência: é um empreendimento social ou um modo - complexo (ZIMAN *apud* GALILI, 2012) - de vida - através do qual, busca-se conhecer o mundo (CUSTÓDIO; PIETROCOLA, 2004; GALILI, 2012); pode ser considerada uma "*linguagem construída pelos homens (...) para explicar o nosso mundo natural*" (CHASSOT, 2008, p.63). A produção - sistemática e coletiva (CUPANI, 2009) - científica ocupa-se de problemas relacionados com o mundo - natural-fenomênico - que nos cerca (CORDERO, 2013). A ciência - esforço sistemático - almeja a resolução de tais problemas (CUPANI, 2009). A atividade científica é empreendida: através "*da relação que o homem estabelece com a natureza*" (BARRACA, 2001, p.287); por "*um grupo de pessoas com tradições compartilhadas, as quais são transmitidas e reforçadas pelos membros do grupo*"- os cientistas (ZIMAN *apud* GALILI, 2012, p.1287).

Os cientistas tentam - e diversas vezes conseguem - prever como a natureza comportara-se no passado, se comporta hoje ou comportar-se-á no futuro; tais indivíduos - os quais empreendem certas ações convecionais de um grupo particular (AIKENHEAD *apud* GALILI, 2012) - tentam explicar de modo coerente os fenômenos naturais (ARAÚJO & NONENMACHER, 2009; HOOYKAAS, 1988). O potencial explicativo, preditivo e transformador das construções científicas torna a ciência especial (CUPANI, 2009; DELIZOICOV et al., 2011). Os produtos científicos são muito valorosos; em razão do rigor característico do fazer científico, há boas razões para que tais produtos sejam bem aceitos pela sociedade (DELIZOICOV et al., 2011).

A atividade - humana - científica pode "*envolver controvérsia apaixonada, convicções religiosas, julgamentos estéticos e mesmo, por vezes, desenfreada especulação pessoal*" (RUTHERFORD et al., 1978, p.126); tal atividade - geralmente - racional é empreendida por homens - imersos em contextos específicos - que especulam filosoficamente, cada qual com sua respectiva bagagem cultural (ARAÚJO; BOFF, 2011; GUERRA et al., 1998). A especulação é cara à ciência (RUTHERFORD et al., 1978) - cultura especial que "*se move no domínio das conjecturas*" (VIDEIRA, 2009, p.382). De acordo com Kneller (1980, p.46), tal atividade "*é guiada pela pressuposição metafísica de que o universo é inteligível*"; para a ciência, ao Universo subjaz certa ordem natural - invisível - cognoscível. A tarefa da ciência consiste na elaboração de modelos - "*instrumentos provisórios*" (VIDEIRA, 2009, p.382) - representativos da ordem referida - ou seja: conceitos, leis e teorias acerca das coisas do mundo (ALVES, 2007; HACKING, 2012).

A atividade científica é dialética, dialógica e tentativa; o sucesso preditivo das teorias científicas não as exime de possíveis contestações ou falência futura. As construções científicas encontram-se sujeitas a um processo contínuo de melhoramento (GIL et al., 2001; MCCOMAS, 2008; VIDEIRA, 2009; ZILLES, 2005); tais construções são tão dinâmicas quanto o mundo - que transforma-se diariamente (ARAÚJO; BOFF, 2011).

O empreendimento científico não é neutro; por conseguinte, tal empreendimento "*não está imune às relações de poder da existência coletiva*" (CORTELLA, 2009, p.19); o próprio discurso científico é uma fonte de poder (GUERRA et al., 1998). A ciência e seus produtos são conquistas - algumas perigosas; e essas devem ser utilizadas com prudência. A ciência, diz Granger (1994, p.113): "*é uma das mais extraordinárias criações do homem*"; confere ao homem "*poderes e satisfação intelectual, até pela estética*" - ou beleza - atrelada às explicações científicas.

II Sobre o ensino de ciências

Até aqui, listamos uma série de características concernentes à atividade científica. Agora, voltar-nos-emos para o ensino de ciências, em especial, para o ensino de física. Se a ciência é tanta coisa, por que motivo, na grande maioria das escolas, o ensino de física - uma ciência - restringe-se - grosso modo - a números e fórmulas? De acordo com tal ensino - o qual chamaremos de tradicional ou formulesco -, para a física, o mundo "*nada mais é do que um conjunto de equações e leis que descrevem os fenômenos*" (BRASIL, 2002, p.22); Se há alguma beleza nessa física - escolar -, ela está muito bem escondida (ANGOTTI, 1991, p.136).

O ensino de física costuma enfatizar as fórmulas, as situações artificiais, os exercícios repetitivos e a memorização (BRASIL, 2002; CUSTÓDIO & PIETROCOLA, 2004; GUERRA et al., 1998; PIETROCOLA, 2002; ZANETIC, 1989). "*Conteúdos*" muito extensos, "*mortos, acabados e opacos*" - "*que não revelam nem representam o conhecimento crítico, atualizado e (...) estruturado*" da física - permeiam tal ensino - massante, penoso, restrito e acrítico (ANGOTTI, 1991, p.136; SASSERON et al., 2013). Para tantos educandos, a física é digna de horror; o ensino - exageradamente formulesco - afasta da disciplina em questão grande parcela dos estudantes (DELIZOICOV et al., 2011; HADZIGEORGIOU & SCHULZ, 2014). Notadamente, somente os alunos que gostam de fazer contas costumam simpatizar com a física (RICARDO; FREIRE, 2007).

A capacidade da linguagem matemática - de suportar o "*nosso pensamento sobre o mundo*" - é grandiosa e inquestionável (PIETROCOLA, 2002, p.104); todavia, por que não costuma-se optar, por exemplo, pela discussão do papel que desempenha a matemática no processo de construção dos saberes científicos? A matemática encontra-se - inegavelmente - "*alojada (...) no seio*" da física (PIETROCOLA, 2002, p.89); contudo, por que motivo poucos espaços são abertos nas salas de aula para discussões mais qualitativas (RIZAKI; KOKKOTAS, 2009)? Segundo Ricardo & Freire (2007), por conseguinte, diversos alunos não diferenciam a física da matemática.

Segundo os PCN (BRASIL, 2002, pp.22-23), o quadro supracitado expressa "*uma deformação estrutural, (...) introjetada pelos participantes do sistema escolar e que passou a ser tomada como coisa natural*"; a deformação mencionada decorre, em grande medida, da maneira como tantos professores abordam a física em sala de aula. A permanência nos exames vestibulares de questões de física as quais se voltam, em geral, para a perspectiva problematizada - formulesca - também pouco - ou nada - auxilia na reversão de tal quadro; o direcionamento excessivo ao vestibular aflora nas escolas o ensino: "*por macetes*" (RICARDO; FREIRE, 2007, p.254); por mnemônicos musicais - visto que os alunos precisam

memorizar as fórmulas (CUSTÓDIO; PIETROCOLA, 2004); pouco relevante - carente de significado.

De acordo com tantos manuais didáticos - dentre os quais podemos citar Ramalho et al. (2003), Guimarães & Boa (2006), Máximo & Alvarenga (2010) etc. - e professores de física, para que aprendam a disciplina em questão, os alunos precisam dominar tais fórmulas - sem as quais não conseguirão resolver os problemas cobrados nos exames vestibulares (BUCUSSI, 2005; ROSA & ROSA, 2005). É interessante notar a quantidade de responsáveis por alunos e gestores de colégios os quais apontam como principal indicativo de uma escolarização eficiente o sucesso dos estudantes nos exames vestibulares (ROSA; ROSA, 2005). Se o aluno for aprovado no vestibular, a escola cumpriu seu papel? Aparentemente, para muitos, sim.

Os professores costumam ser reféns dos manuais didáticos (DELIZOICOV et al., 2011). Tais indivíduos "*estão presos*" à formação que tiveram (ANGOTTI, 1991, p.140) - em tantos casos, carente em "*debates que dão sentido à (...) origem*" do conhecimento produzido através da ciência (VITAL; GUERRA, 2014, p.249); por conseguinte, diversos professores de física: são meros repetidores de equações; perpetuam um tipo de ensino - de física - pouco valoroso; propagam imagens - visões ou ideias - do empreendimento científico absolutamente distorcidas - ingênuas, restritas e repletas de esteriótipos falaciosos (ANGOTTI, 1991; FERNÁNDEZ et al., 2002; FORATO, 2009; GIL et al., 2001; MARTINS, 2006; MARTINS, 2009; OLIVEIRA, 2003); afastam os estudantes das carreiras científicas; contribuem para o insucesso do ensino da disciplina referida (CACHAPUZ et al., 2005); concentram suas aulas tão somente nos produtos científicos (MARTINS, 2009; PRAIA et al., 2007); não costumam problematizar o empreendimento científico e seus construtos durante as aulas que ministram (SASSERON et al., 2013); não promovem discussões sobre a física - ou, de maneira mais ampla, acerca da ciência como um todo (ANGOTTI, 1991; SENRA & BRAGA, 2014; VITAL; GUERRA, 2014).

O ensino de física tradicional ou formulesco - anistórico, pouco ou nada reflexivo - pode até ser profícuo em certos contextos (KUHN, 2011) bastante específicos - nos cursos universitários de física e engenharia, em alguns cursos técnicos -, entretanto, mesmo assim, não nos apetece o sacrifício do entendimento amplo da ciência em decorrência de uma demanda - uma necessidade de mão de obra técnica ou científica específica; é possível caminhar por vieses mais equilibrados - os quais não requeiram tal sacrifício.

O ensino meramente formulesco obstaculiza a formação: de indivíduos reflexivos e críticos (COSTA; PINHEIRO, 2013); de cidadãos participativos em uma sociedade como a nossa, onde ciência e tecnologia assumem um papel de suma importância - de enorme relevância.

Para "*uma educação geral e formativa do cidadão, os compromissos do ensino não se vinculam apenas com as necessidades intrínsecas da atividade profissional do físico*" - ou seja, o domínio pleno de "*funções, equações, gráficos, vetores, (...) inequações, geometrias*" etc. Que valor terá esse tipo de conhecimento para aqueles alunos que não serão matemáticos ou seguirão carreiras científicas? Responderemos aos senhores: nenhum; a ênfase no desenvolvimento de habilidades tão específicas somente é justificável caso esteja-se formando especialistas (RICARDO; FREIRE, 2007). A escola - salvo as escolas técnicas - não tem por objetivo formar especialistas - é propedêutica; tal ensino de física escolar deve, portanto, ser suplantado (FOUREZ, 2003; PIETROCOLA, 2002, p.104; RICARDO & FREIRE, 2007).

É preciso: "*rediscutir qual Física ensinar*" (BRASIL, 2002, p.23); "*que os professores percebam seu papel e (...) responsabilidade nesse processo*" (MARTINS, 2007, p.128).

Professores e alunos alicerçam suas visões de ciência através de informações - implícitas e explícitas - advindas: de jornais; de revistas; de comunicações midiáticas em geral; de livros didáticos; de materiais de divulgação científica; de educação formal (BUCUSSI, 2005; GUERRA-RAMOS, 2013).

Os discursos proferidos por certo professor carregam consigo - de forma implícita ou explícita (MATTHEWS, 1995) - sua visão (do professor) de ciência (GUERRA-RAMOS, 2013). Para que um professor possa auxilir seus alunos na construção de uma imagem de ciência apropriada, primeiramente, tal professor precisa nutrir uma imagem satisfatória de ciência - algo, de acordo com Höttecke & Silva (2011), bastante raro. A renovação da educação científica - como um todo - demanda, "*como requisito inquestionável, modificar*" as imagens de ciência "*que os professores têm e transmitem*" (FORATO, 2009; GIL et al., 2001; PRAIA et al., 2007, p.147); e isso deve ser considerado essencial.

Em sala de aula, o professor de ciências: é o tradutor - ou disseminador - da cultura científica (DELIZOICOV et al., 2011); medeia a interação entre os educandos e a cultura científica (MELLOUKI; GAUTHIER, 2004); é o "*porta-voz de um conteúdo escolar, que não é só um conjunto de fatos, nomes e equações, mas também uma forma de construir um conhecimento específico imbuído de sua produção histórica e procedimento próprios*" (DELIZOICOV et al., 2011, pp.151-152).

Ao professor de física cabe: provocar os educandos; estimular a curiosidade, "*a pergunta, a reflexão crítica sobre a*" mesma - "*em lugar da passividade em face das explicações discursivas do professor, (...) respostas a perguntas que não foram feitas*" (HÖTTECKE & SILVA, 2011; FREIRE, 1996, p.86); mostrar aos alunos o quão insatisfatórias - insuficientes - são as concepções que nutrem (os alunos) acerca do tema; instigar tais indivíduos - educandos - positivamente; promover uma imagem adequada do empreendimento científico - em especial, da física (GIL et al., 2001).

A escola deve ser um espaço: de realizações recíprocas - e dinâmicas; dialógico; no qual professores e alunos tornem-se parceiros (MENEZES, 2001); a educação - como um todo - deve ser "*dialógica, aberta, curiosa, indagadora*". A postura dos alunos não deve ser apassivada, seja enquanto os mesmos falam ou enquanto ouvem (FREIRE, 1996, p.86).

O ensino de física - geralmente, unilateral e bem hierarquizado - costuma valorizar a exposição em detrimento da discussão - "*impede o aprofundamento necessário e a instauração de um diálogo construtivo*" em sala de aula (BRASIL, 2002, p.22). "*A dialogicidade não nega a validade de momentos explicativos*" - momentos nos quais "*o professor expõe ou fala do objeto*" de estudo (FREIRE, 1996, p.86). A defesa de uma educação dialógica torna imprescindível que os professores conheçam algumas concepções frequentemente nutridas pelos educandos acerca do conceito sobressaltado - energia; portanto, no decorrer da dissertação, haverá um momento no qual algumas dessas concepções - as quais costumam ser chamadas de alternativas, espontâneas ou de senso comum - serão realçadas.

Ao professor cabe, inclusive, problematizar tais concepções - espontâneas - explicitamente em sala de aula. A dimensão dialética encontra-se naturalmente atrelada à - dimensão - dialógica; as dimensões supracitadas - juntas - voltam-se para a desestabilização do senso comum. Através das dimensões referidas - dialógica e dialética -, tornar-se-á possível o atingimento da dimensão transformadora - tão almejada pelo processo educativo (COSTA; PINHEIRO, 2013). Que fique claro o seguinte: não estamos nos referindo à chamada mudança conceitual; não há a intenção de tornar necessária a filiação dos educandos ao saber-cultura disseminado em sala de aula.

O ensino escolar não tem - ou não deveria ter - por objetivo doutrinar os educandos (BAGDONAS; SILVA, 2014). Se admitimos que a ciência é tentativa, não faz sentido exigirmos aos nossos alunos que aceitem as contruções científicas como verdades; um professor de ciências não deve portar-se como um "*apresentador de verdades*" (VITAL; GUERRA, 2014, p.228) - por mais que acredite na ciência e queira promover tal cultura, não deve fazê-lo (BAGDONAS; SILVA, 2014). Perante os conteúdos discutidos durante as aulas - relacionados com a ciência e seus produtos -, esperamos que os alunos assumam certa postura - reflexiva e crítica; ao desenvolverem tal postura, os educandos, acreditamos, poderão estendê-la naturalmente a outras questões - ou objetos - quaisquer. Queremos que os educandos reflitam sobre suas próprias concepções acerca de quaisquer conteúdos contemplados. Caberá ao aluno - autônomo - optar ou não pelo saber científico.

Em detrimento da "*indesejável ciência morta*" (DELIZOICOV et al., 2011, p.33), deve-se tanto investir na promoção de uma visão pragmática de ciência quanto na propagação de uma imagem estética e cultural de tal empreendimento - que aprecia a beleza da ciência e o valor cultural da mesma (HADZIGEORGIOU; SCHULZ, 2014). "*Vale a pena um esforço para*

substituir o árido, o feio, pelo belo e útil, tanto intelectualmente como para a vida, mesmo não sendo fácil e leve a empreitada" (ANGOTTI, 1991, p.138).

Queremos tornar o ensino de física: mais valoroso; avesso às doutrinações corriqueiras empreendidas nas salas de aula. Voltemo-nos para uma educação mais emancipatória - em detrimento daquela que meramente adestra os educandos, torna-os copistas, seres automatizados e não autônomos -, que atende aos anseios da sociedade hodierna. Privilegiemos a formação de indivíduos: veementes e racionais; capazes de promover mudanças positivas cuja repercussão recairá sobre as gerações vindouras (COSTA; PINHEIRO, 2013).

III HFC: Uma perspectiva mais valorosa

A presente situação do ensino de física deve - necessariamente - ser revertida (COSTA; PINHEIRO, 2013; DELIZOICOV et al., 2011; SILVA, 2006; ZANETIC, 1989). Certos obstáculos à referida reversão certamente exigirão "*um esforço consistente e prolongado*" (MENEZES, 2001, p.205). Dentre tais obstáculos, podemos citar, por exemplo, a permanência - em sala de aula: de práticas ditas tradicionais - meras transmissoras "*de informações desprovidas de contexto*"; do "*treinamento*" exclusivo "*em operações e algoritmos de significado pouco explicitado*"; de conteúdos "*frios*" (MENEZES, 2001, p.205) - os quais não fazem jus à ciência, segundo Zanetic (1989), um elemento cultural vivo, inquieto e inquietante.

A tradição costuma "pesar sobre os ombros" de muitos professores de física; e isso, pois: por gostar de resolver questões repletas de cálculos, grande parte desses professores optara pela disciplina referida; na universidade, tais indivíduos pouco viram que não fossem números; num processo cíclico, muitos professores costumam ensinar da mesma forma como aprenderam (HÖTTECKE & SILVA, 2011; REIS et al., 2013). A reversão do ciclo mencionado é imprescindível (PRAIA et al., 2007).

De acordo com Cortella (2009), a educação escolar, uma vez que tem por tarefa acompanhar a - e interferir na - dinâmica do mundo, deve ser sempre uma atividade subversiva e superadora. Tal subversão requer meios adequados; em detrimento da tradição, na presente dissertação, destacamos - em especial -, a HFC, viés: com grande potencial pedagógico; bastante proveitoso tanto para professores quanto alunos; favorável ao ideial de um ensino tanto de quanto sobre as ciências (TEIXEIRA et al., 2009); mais valoroso; culturalmente benéfico (MATTHEWS, 2009).

Segundo Prestes & Caldeira (2009, p.1), "*o interesse pelo ensino contextual das ciências consolidou um campo de pesquisa*" - chamado HFC - "*que*" investiga os componentes histórico-filosóficos e socioculturais das ciências, "*dando ênfase às potencialidades de*" utilização dos mesmos "*nas aulas de ciências do ensino básico e superior*". "*Por um lado*", diz Martins (2007, p.112), a HFC "*representa um vasto campo de estudos e pesquisas que vem construindo, ao longo dos anos, suas bases teóricas e suas especificidades. Por outro lado constitui-se em área do conhecimento com fortes e profundas implicações*" para o ensino de ciências. Dias (2001) reitera tais considerações.

Diz Martins (2007) que, se comparado ao ensino tradicional de física, tal viés - dito histórico-filosófico - representa uma intervenção muito mais qualificada. A HFC enriquece as aulas de ciências (MATTHEWS, 1995); e isso, uma vez que, através do estudo - indispensável, acreditamos - da mesma: a visão de ciência dos educandos torna-se mais apurada; combate-se tanto o dogmatismo quanto o cientificismo - tantas vezes presentes no ensino de ciências e nas divulgações científicas; torna-se possível um entendimento mais

amplo acerca da atividade científica (GIL et al., 2001; FORATO, 2009; MATTHEWS, 1995; METZ et al., 2007; SOLBES & TRAVER, 2001).

O viés histórico-filosófico não ignora a dinâmica constante dos conhecimentos científicos - ou seja, não despreza a natureza histórica e temporal de tais conhecimentos - e nem o contexto o qual rendera a produção dos mesmos (SILVA, 2006).

O contexto, as perguntas e as ideias - sem os quais não seria possível "fazer ciência" - , caros ao processo de elaboração das respostas, ou seja, à construção dos produtos científicos, costumam ser omitidos durante as aulas de física (GALILI, 2008). Todo conhecimento possui particularidades intrínsecas, relacionadas com a história de sua construção (CORTELLA, 2009). Cada período histórico é dominado por certas características - maneiras de estar no mundo, de pensar etc. (SANTOS, 2001); tais características - inevitavelmente - influenciam o fazer científico (HENRIQUE; SILVA, 2009). Koyré (2011, p.264) diz que "*as grandes revoluções científicas foram sempre determinadas por subversões ou mudanças de concepções filosóficas*"; a ciência necessita da filosofia, assim como da técnica experimental e da matemática (ZANETIC, 1989).

De acordo com Cortella, a importância da filosofia reside "*na contínua e processual colocação da pergunta pelo sentido*" de tudo (CORTELLA, 2009, p.21). A filosofia - "*necessária*" e "*perigosa*" - (p.17) costuma ser - quase consensualmente - considerada fundamental; entretanto, "*despontaria evidente a necessidade de*" rechaçá-la "*quando se deseja evitar*" - o "*pensar questionador crítico*", de um modo geral - "*a 'subversão dos valores sociais"* (CORTELLA, pp.17-19).

A história - ou o passado - não é sinônimo de atraso, assim como a filosofia não é sinônimo de delírio (CORTELLA, 2009). Tanto a história da ciência (HC) quanto a filosofia da ciência (FC) são instrumentos subversivos, favoráveis à formação de indivíduos críticos e disciplinadamente indisciplinados frente às questões sociocientíficas - portanto, demasiadamente úteis (DIAS, 2001). Contudo, "*a filosofia da ciência sem a história da ciência é vazia; a história da ciência sem a filosofia da ciência é cega*" (LAKATOS, 1987, p.11). Pode-se dizer que a HC é o laboratório da FC (DIJKSTERHUIS, 1986). Portanto, ambas devem ser consideradas inseparáveis - complementares (MATTHEWS, 1995; DION & LOURES, 2014).

No que concerne à atividade científica em si, de um modo geral, o contexto interfere, por exemplo: na escolha dos objetos que serão investigados pelos cientistas; nos métodos de investigação os quais serão empregados; na interpretação dos resultados obtidos (ABD-EL-KHALICK et al., 2008). Há um impacto - intenso e constante - recíproco entre o mundo e a ciência (VITAL; GUERRA, 2014).

De acordo com Hobsbawn (2012, p.436), "*mesmo o mais apaixonado crente na imaculada ciência pura é consciente*" - ao menos deveria sê-lo - "*de que o pensamento científico pode ser influenciado por questões*" supostamente "*alheias ao campo específico de*

uma disciplina" - aspectos contextuais os quais "*criam demandas para a ciência*" - portanto, devem ser considerados (VITAL; GUERRA, 2014, p.230).

A ciência "*sofre injunções*" ditas "*internas e externas no seu produzir-se, sendo historicamente situada, socialmente determinada*" (CORTELLA, 2009, p.19). Acerca das noções de história interna - abordagem conceitual ou internalista - e externa - abordagem não-conceitual ou externalista - (MARTINS, 2005), diz Kuhn (1987, p.85) que a interna "*centra-se primária ou exclusivamente sobre as atividades profissionais dos membros de uma comunidade científica particular*" e a externa "*considera as relações entre tais comunidades científicas e o resto da cultura*". Segundo Videira (2012, p.8), a ideia de olhar externo (ou história externa) - voltado para o fenômeno chamado ciência - relaciona-se com a de interdisciplinaridade.

O conhecimento da história externa pode ser muito vantajoso tanto para professores quanto para educandos (REIS et al., 2010). Dificilmente, todavia, poder-se-ia traçar uma linha divisória suficientemente precisa entre as histórias interna e externa da ciência (HALL *apud* KUHN, 1987, p.115) - ou simplesmente entre aquilo que é interno e externo à ciência. Tal exterioridade - de fato - existe?

De acordo com Boas et al. (2013, p.290), "*entender a ciência - sua dinâmica, seu desenvolvimento - é uma atividade intelectual que exige a presença de uma história da ciência*" - e, por conseguinte, também de certa análise filosófica acerca da ciência.

A HC não deve ser vista como: mera curiosidade (GALILI, 2008); um simples registro de fatos científicos; uma possível "*introdução aos assuntos e temas 'regulares do currículo'*". A HC: é naturalmente valiosa (MATTHEWS, 1994); é o lugar natural da cultura científica - legada pelos cientistas do passado; é um "*cemitério de erros*" (KOYRÉ, 2011, p.265) - no qual conceitos e teorias rechaçados podem ser revisitados para fins instrucionais (DELIZOICOV et al., 2011); demasiadamente útil para o ensino de ciências (GUISASOLA et al., 2008); mostra que, apesar de rigorosamente produzidos, os saberes científicos encontram-se sujeitos à falibilidade - a modificações (GUERRA et al., 1998); aproxima aqueles que a estudam do próprio ato intelectual de criação dos conceitos científicos (DIAS, 2001); explicita a complexidade do fazer científico (BOAS et al., 2013); torna a atividade científica familiar (GALILI, 2008); é um recurso que permite discutir criticamente a concepção lógico-positivista da ciência - suportada pela "*idéia de verdade absoluta estabelecida pelo método empírico*" (FORATO et al., 2007, p.5); revela uma ciência construída - paulatinamente - por indivíduos de carne e osso - através de métodos diversos, especulações, investigações empíricas, controvérsias e negociações (HÖTTECKE; SILVA, 2011); e a FC compõem certo domínio - legítimo de investigação - o qual ocupa-se dos fundamentos da própria ciência, a HFC (DIAS, 2001).

O entendimento crítico da física - ou da ciência, como um todo - depende de tais informações (CORTELLA, 2009). Segundo Guerra et al. (1998, pp.32-33) - e outros como Auler & Delizoicov (2001), Praia et al. (2007) e Vital & Guerra (2014) reiteram tais dizeres -, "*num mundo tecnocientífico*" - como o nosso -, "*conhecer*" - ao menos razoavelmente - como a ciência fora construída "*historicamente, bem como quais são seus pressupostos filosóficos, é fundamental para o estudante se tornar um cidadão participativo*"; o ensino de ciências deve contemplar de maneira equilibrada tanto os produtos científicos quanto certos aspectos importantes e concernentes à produção de tais saberes (ALLCHIN, 2011; CARVALHO & VANNUCHI, 2000; FERREIRA, 2013; MARTINS, 1990; MARTINS & SILVA, 2001; PEDUZZI, 2001; SENRA & BRAGA, 2014). Quanto a isso, a HFC pode ser de grande auxílio (GALILI, 2008).

A HFC: é útil ao ensino sobre as ciências (ABD-EL-KHALICK, 2012); embora não seja naturalmente motivadora - visto que o quesito motivação depende de diversos fatores subjetivos -, é transformadora (MORAIS; GUERRA, 2013); figura como um viés distinto daquele comumente presente nos livros didáticos de ciências; "*contribui para a formação de um espírito crítico*" diante da ciência e de suas construções - desmistifica-as, no entanto, sem negar o valor das mesmas (MARTINS, 2006, p.XVIII); permite um diálogo - mesmo que não minucioso ou, em certos casos demasiadamente complexos, aprofundado - entre os indivíduos comuns - que não são cientistas de fato - e as questões usuais que envolvem resultados de pesquisas científicas (ALLCHIN, 2011); se inserida adequadamente no contexto escolar, pode promover nos educandos uma compreensão mais profunda acerca de determinado assunto (GALILI, 2008; GALILI, 2012); clarifica porquê e como certo conceito científico fora criado - por conseguinte, pode facilitar o entendimento de algum conteúdo específico (DIAS, 2001); exibe a ciência enquanto um processo e não como um mero produto (DION; LOURES, 2014); torna possível a discussão acerca da provisoriedade do conhecimento científico; humaniza a ciência - atividade empreendida por indivíduos os quais nutrem certos dilemas, convicções, inclinações etc. (BOAS et al., 2013); evidencia o caráter integrativo do conhecimento humano - ou seja, conhecimentos construídos num momento anterior são, de alguma maneira, integrados (mesmo que considerados ultrapassados) aos de um momento seguinte (MATTHEWS, 1994); mostra como a ciência sempre esteve inserida em um contexto mais amplo - que a condiciona (BAGDONAS & SILVA, 2013; FORATO et al., 2007; MARTINS, 2009); aproxima os domínios que, por convenção, foram chamados de exatos e humanos - mostra que o abismo (supostamente) existente entre tais domínios culturais (SNOW, 1995) é tão somente aparente.

A inserção da HFC no ensino - apesar de amplamente incentivada - não é tarefa trivial. Como inserir a HC - ou, de maneira mais ampla, a HFC - no ensino de física? Como fazer

com que cumpra - a HFC - nas salas de aula o papel que lhe cabe? Tais perguntas são dignas de interesse crescente (FORATO et al., 2009; PRESTES; CALDEIRA, 2009).

Como todo conteúdo, estratégia didática (LEDERMAN, 2007; MARTINS, 2012) ou ferramenta pedagógica (BRASIL, 2002; FORATO, 2009) sofisticada que se preze, à implementação da HFC no ensino atrelam-se - naturalmente - alguns obstáculos (HÖTTECKE; SILVA, 2011): a formação dos professores - geralmente carente em tópicos histórico-filosóficos; o modelo de avaliação que determina o acesso dos estudantes às universidades; a falta de livros didáticos os quais suportem a implementação da abordagem referida (FORATO, 2009; HÖTTECKE; SILVA, 2011; MARTINS, 2006; MARTINS, 2007; REIS et al., 2013).

Seja nas salas de aula, em materiais instrucionais... ou em livros de divulgação científica, a inserção da HFC - para que não se torne prejudicial (MARTINS, 2007, p.128) - requer certas precauções: não se trata de acrescentar nos currículos de física narrativas históricas grosseiramente tendenciadas ou biografias extensas sobre cientistas do passado; também não se trata de contar aos alunos certas anedotas - como a da maçã que supostamente caíra na cabeça de Newton - as quais tão somente distorcem o fazer científico. O legado newtoniano fora erigido de modo muito mais complexo (MARTINS, 2006; SILVA, 2006).

A inserção da HFC no ensino de ciências deve ser planejada cuidadosamente (ABD-EL-KHALICK, 2012). Segundo Prestes & Caldeira (2009), em sala de aula, a HFC pode ser abordada de duas maneiras: uma delas, chamada de inclusiva, introduz episódios históricos ou estudos de caso pontuais em momentos específicos do ano letivo; a outra, dita integrada (MATTHEWS, 1994), utiliza a HFC como “espinha dorsal”, viés condutor de todo o conteúdo científico contemplado durante o ano letivo. Até que se consiga desenvolver suportes mais amplos para projetos de grande escala, a primeira abordagem persistirá sendo majoritária. Na presente dissertação, utilizamos a primeira abordagem, embora com certa insatisfação positiva - aquela que quer mais e melhor; e isso, visto que temos como ideal a segunda.

De acordo com Prestes & Caldeira (2009), desde a década de 1970, o interesse - por parte de pesquisadores e professores - pelo viés histórico-filosófico aumentara consideravelmente. Nos últimos cinquenta anos - aproximadamente -, os estudos de HFC desconstruíram certas ideias ingênuas sobre as ciências; entretanto, não houve uma adequada propagação desses estudos para a educação científica (MARTINS, 2006); interesse, efetiva implementação e implementação adequada são três coisas bem distintas. Nas salas de aula, é pouco frequente a efetiva inserção da HFC - seja como conteúdo pontual, seja como estratégia didática permanente. Segundo Martins (2007) e Martins (2012), os motivos para tal baixa frequência são muitos.

Para tantos professores e desenvolvedores de currículos, o potencial atribuído à HFC parece não importar. Muitos professores rejeitam o caminho referido; tais professores costumam: alegar que os currículos de ciências já estão abarrotados - logo, sem espaço para discussões histórico-filosóficas; reclamar a carência de materiais-didáticos - os quais orientem a implementação do tipo de abordagem sugerido; mostram-se inseguros - ou mesmo desinteressados - diante do diferente (HÖTTECKE & SILVA, 2011; SILVA, 2006).

Para Kuhn (2011) - e Brush (1974) idem -, os estudos relacionados com a HFC devem ser dirigidos tão somente aos especialistas - historiadores, filósofos e sociólogos da ciência; direcionar tais estudos para não-especialistas é perda tempo - visto que tão somente suscitam dúvidas quanto à confiabilidade do empreendimento e dos produtos científicos -, acreditam - Kuhn (2011) e Brush (1974). Acreditamos que tais questionamentos sempre sejam positivos.

Matthews (1994) discorda de Kuhn (2011) e Brush (1974). Matthews (1994) afirma que o estudo apropriado da HFC: promove um adequado entendimento acerca da NdC; melhora a compreensão dos estudantes sobre os conceitos e métodos científicos; enfatiza a importância intrínseca da HC; desmascara o dogmatismo e o cientificismo presente em boa parte dos manuais didáticos - algo ressaltado anteriormente; humaniza a ciência - por intermédio da HC; enfatiza a interdisciplinaridade. Tais argumentos - favoráveis à inclusão da HFC no ensino de ciências -, acreditamos, são bastante coerentes.

Mesmo com tantos opositores, a opção pela inserção da HFC no ensino de ciências continua sendo suportada por diversos documentos oficiais - nacionais e internacionais - de grande relevância para o ensino básico de ciências - tais como os PCN (BRASIL, 2002), o Currículo Mínimo do Estado do Rio de Janeiro (SEEDUC, 2012), o Currículo Nacional Britânico de Ciências (NC, 2007) e o *Project 2061* da *American Association for the Advancement of Science* (AAAS, 1990) -, especialistas e educadores de ciências (HÖTTECKE; SILVA, 2011).

A importância do viés histórico-filosófico - já há algum tempo - é muito mais do que uma suposição razoável (ABD-EL-KHALICK & LEDERMAN, 2000; BARACCA, 2001; BOAS et al., 2013; CLOUGH & OLSON, 2008; FORATO et al., 2010; FORATO et al., 2011; GUERRA et al., 2013; HENRIQUE et al., 2009). Diz Martins (2012, p.7) que, no tocante ao ensino de ciências, "*é inegável a importância atribuída*" à HFC (MARTINS, 2012, p.7).

III.1 HFC em prol do estudo da NdC

A HFC costuma ser apontada como um viés útil ao entendimento da NdC (GALILI, 2008). Segundo São Tiago (2011) e Videira (2012), o termo NdC reflete aquilo que diferencia a ciência de todas as outras construções humanas - as quais não recebem semelhante

denominação; entretanto, há diversas ciências - cada qual com suas especificidades. Para alguns autores - Bagdonas & Silva (2014, p.216) e Irzik & Nola (2011), por exemplo -, talvez a ciência seja "*um fenômeno cultural muito difuso para ser caracterizado por uma natureza única*"; contudo, há entre as ciências diversas similitudes, características gerais - dignas de consenso - as quais podem ser derivadas (BAGDONAS & SILVA, 2014; HENRIQUE et al., 2010; LEDERMAN, 2007; MCCOMAS, 2008; RODRÍGUEZ & ADÚRIZ-BRAVO, 2013; VASQUEZ-ALONSO et al., 2008).

A NdC se volta para questões - dentre tantas - do tipo: De que forma são construídos os saberes científicos? Que fatores comprometem tais saberes - ditos científicos? Como a ciência e os cientistas operam? Como a ciência influencia - ou sofre influências - de outras culturas? De que maneira ciência, tecnologia e sociedade interagem entre si (MARTINS, 2006; MCCOMAS, 2008; VITAL & GUERRA, 2014)? O que é a ciência - ou são as ciências (GUISASOLA; MORENTIN, 2007)?

O conceito de NdC é: impreciso (AKERSON et al., 2000); tentativo e dinâmico, assim como a própria ciência (ABD-EL-KHALICK & LEDERMAN, 1998); dialético - controverso - e bastante complexo (ACEVEDO et al., 2005; ACEVEDO-DÍAZ et al., 2007; RODRÍGUES & ADÚRIZ-BRAVO, 2013); marcado pelo dissenso. Tal dissenso decorre da complexidade intrínseca à ciência (AKERSON et al., 2000).

O conceito de NdC - embora não seja consensual - abarca: "*a visão de mundo científica, os métodos científicos de investigação, e a natureza do empreendimento científico*" (AAAS, 1989); certas características dos cientistas; os vínculos existentes entre a ciência e outros domínios do conhecimento humano; as conexões entre ciência, tecnologia e sociedade (VÁZQUEZ et al, 2007).

A NdC é um domínio - ou campo de estudo: híbrido - que

> "*mescla aspectos de diversos estudos sociais da ciência, incluindo a história, sociologia e filosofia da ciência, combinados com pesquisas oriundas das ciências cognitivas, tais como a psicologia, dentro de uma rica descrição de ciência*" (MCCOMAS, 2008, p.249-250);

composto por um conjunto de saberes relacionados com a epistemologia da ciência (LEDERMAN, 1992) - inclusive "*valores e crenças inerentes ao desenvolvimento do conhecimento científico*" (AKERSON et al., 2000, p.298); que surge de reflexões interdisciplinares (RODRÍGUEZ; ADÚRIZ-BRAVO, 2013); consolidado (GUISASOLA & MORENTIN, 2007; RODRÍGUEZ & ADÚRIZ-BRAVO, 2013).

Tal domínio - a NdC - abarca um conjunto de conteúdos metacientíficos de grande valor para a educação em ciências (ADÚRIZ-BRAVO, 2005). Senra & Braga (2014, p.8) também relacionam os termos metaciência e NdC - especificamente, identificam tais termos: "*metaciência, ou como tem sido denominado em diversos estudos da área de ensino, de Natureza da Ciência (NdC)*". Miguel (2012, p.19) afirma que a tarefa da metaciência - ou,

segundo Senra & Braga (2014), da NdC - consiste em "*se dedicar à síntese, à sistematização, à crítica, aos comentários, aos julgamentos, à defesa e à educação da atividade científica*".

Segundo Senra & Braga (2014), um curso de física - ou de qualquer outra ciência - adequado deve tanto contemplar conteúdos científicos oportunos quanto elementos concernentes à NdC pertinentes. É comum que as aulas de ciências - portanto, também as de física - não contemplem aspectos relativos à NdC (SASSERON et al., 2013). A inclusão de discussões acerca da NdC em sala de aula requer uma mudança radical de objetivos pedagógicos; os exames vestibulares, por exemplo, não cobram questões explicitamente relacionadas com a NdC (MARTINS, 2006). Teixeira et al. (2009) enfatizam a importância da NdC para a educação em ciências; de acordo com Matthews (1995, p.166), os educandos "*devem aprender não somente o conteúdo das ciências atuais mas também algo acerca da 'Natureza da ciência'*".

"*Obviamente, um docente não poderá ensinar aos estudantes concepções adequadas sobre a natureza da ciência se ele próprio possuir uma concepção inadequada*" (TEIXEIRA et al., 2009, p.534) - sem que esteja devidamente preparado (ABD-EL-KHALICK, 2012; ABD-EL-KHALICK & LEDERMAN, 2000); e isso, pois, dessa maneira, tal docente tão somente perpetuará uma imagem distorcida da ciência (GIL et al., 2001; PRAIA, 2007).

Uma "*visão mais adequada e bem fundamentada*" sobre a NdC "*certamente trará consequências importantes*" para aqueles que a nutrirem (MARTINS, 2006, p.XX). O entendimento da NdC: auxilia, por exemplo, na tomada consciente de decisões frente a assuntos tecnocientíficos; estimula a reflexão - e a crítica - consciente diante das questões sociocientíficas (ALLCHIN, 2011; FERREIRA, 2013; HODSON, 2009).

A inserção de discussões sobre a NdC em sala de aula não tem por objetivo formar especialistas no assunto (MATTHEWS, 1998; TEIXEIRA et al., 2009). Acreditamos na importância da inserção referida, uma vez que, após concluírem o processo formativo escolar, muitos educandos não mais voltar-se-ão formalmente para quaisquer conteúdos de cunho científico.

Tantos educandos que imaginam os cientistas como indivíduos especiais - por exemplo -, ao perceberem certos aspectos relativos à NdC, sentir-se-ão mais capazes de fazer ciência, aptos para trilhar carreiras científicas; tais educandos verão que o fazer científico depende muito mais de vontade, paixão e dedicação do que de genialidade (LEDERMAN, 2007). Galileu (1564-1642), I. Newton (1643-1727), A. Einstein (1879-1955)... não descobriram verdades imutáveis, inalcançáveis aos "homens comuns e ignorantes". O estudo da NdC - concomitante à inserção de certos episódios da HC em sala de aula: rechaça, dentre tantas coisas, "*a crença generalizada no mito dos 'grandes gênios'*" (SILVA, 2006, p.IX).

O estudo da NdC: deve ser reflexivo, explícito - e isso, pois abordagens explícitas costumam ser mais bem-sucedidas (BELL et al., 1998; LEDERMAN, 2007) - e contextualizado (CLOUGH & OLSON, 2008; MARTINS, 2012; TEIXEIRA et al., 2009); volta-se para a construção do conhecimento científico (SENRA; BRAGA, 2013). A HFC reserva contextos específicos - nos quais foram erigidas certas construções científicas selecionadas -, ideais para o estudo da NdC em sala de aula (ABD-EL-KHALICK, 2012); através do estudo da HFC é possível, por exemplo, averiguar como a ciência se desenvolveu - ou foi desenvolvida - até os dias de hoje (BARACCA, 2001; BOAS et al., 2013). A HFC torna possível a transmissão de uma visão mais adequada acerca da NdC (FORATO et al., 2011; GUERRA et al., 2013; HODSON, 2009; MARTINS, 2006; MATTHEWS, 1994; MCCOMAS et al., 1998).

A seguir, citamos alguns aspectos ditos consensuais - dignos de amplo consenso - relacionados com a NdC: o conhecimento científico é conjectural; a construção do conhecimento científico depende fortemente de argumentos racionais e, em graus variados, da observação, da evidência experimental e da ferramenta matemática; a construção dos saberes científicos ocorre de diversas maneiras - ou seja, não há um método único através do qual são atingidos os produtos científicos; os produtos científicos são provisórios, contudo, ao mesmo tempo, proposições valorosas e de longa duração, em razão da maneira através da qual são erigidas; a ciência é uma atividade tentativa e autocorretiva; as construções científicas não evoluem linearmente; a ciência é uma cultura especial; a ciência é uma atividade humana; a ciência tem seus limites - não responde a todas as perguntas possíveis; a ciência é um esforço coletivo; a ciência é uma atividade dialógica e dialética; conceitos, leis e teorias científicas são construções distintas; as observações científicas dependem de teorias prévias - ou seja, não há coleta de dados qualquer isenta de influências e expectativas anteriores; a ciência não é neutra; a ciência é uma cultura que interage com outras culturas; aquilo que distingue a ciência de outras atividades - tais como a filosofia e a religião - varia ao longo da história e de acordo com os interesses da comunidade científica; a atividade científica requer certa dose de imaginação e criatividade; ciência, tecnologia e sociedade interagem entre si (ABD-EL-KHALICK, 2012; ABD-EL-KHALICK et al., 1998; AKERSON et al., 2000; BRAGA et al., 2003; CACHAPUZ et al., 2005; CROWTHER et al., 2005; FERREIRA, 2013; FORATO, 2009; FORATO et al., 2011; GIL et al., 2001; GUERRA et al., 1998; HENRIQUE & SILVA, 2009; MARTINS, 2009; MCCOMAS, 2008; MCCOMAS et al., 1998; MCCOMAS & OLSON 1998; POSSEBON, 2011; PRAIA et al., 2007; PUMFREY, 1991; VITAL & GUERRA; ZANETIC, 1989).

À lista supracitada, acrescentaremos mais um item - o qual costuma ser pouco relevado: a metafísica é cara ao processo de construção dos saberes científicos, seja em fases iniciais - as quais requerem o uso da imaginação -, seja "*em fases intermediárias*" -

"*entre o momento da elaboração de um modelo explicativo*" (BRAGA et al., 2000, p.52) e a investigação experimental.

III.1.1 Sobre certo aspecto relativo à NdC pouco enfatizado: a metafísica

Afinal, cabe afirmar que ciência e metafísica são como dois domínios incompatíveis, discordantes ou "*magistérios não-interferentes*" (GOULD, 2002, p.12)? Como dito anteriormente, após a segunda metade do século XX, houve uma grande profusão de escritos - especializados - voltados para o estudo da HFC. Dentre os diversos aspectos abordados em tais escritos, nenhum teve uma significância intelectual tão grande quanto a legitimação da metafísica enquanto componente fundamental da pesquisa científica (AGASSI, 1996).

Apesar disso, "*a historiografia mais conhecida e divulgada ainda permanece aferrada à crença de que a metafísica sempre foi percebida como um problema ou um obstáculo*" (VIDEIRA, 2009, p.371) - algo absolutamente favorável ao tabu indutivista e, em especial, ao ideal positivista.

Os positivistas - dentre os quais podemos citar, por exemplo, E. Mach (1838-1916) - tentaram a todo custo distanciar a ciência da metafísica (SAMANIEGO, 1994; VIDEIRA, 2009); tais indivíduos - hostis com a metafísica: alegavam que as declarações metafísicas são naturalmente confusas; escudavam que, em princípio, qualquer especulação, mesmo a mais selvagem, se bem redigida, é passível de ser verificada ou refutada (AGASSI, 1996); queriam tornar a ciência um domínio exclusivo dos fatos - do dado sensível concreto (SAMANIEGO, 1994) -, todavia, como fazê-lo se, em certos momentos da atividade científica, os cientistas "*ignoram fatos que não se encaixam bem numa teoria proposta*" (KLOPFER, 1966, p.9)?

Tais ideais positivistas - os quais influenciaram e ainda influenciam fortemente o ensino de ciências (ALLCHIN, 2011; BRAGA et al., 2008) - remontam à França dos séculos XVIII e XIX: do movimento iluminista; de - dentre tantos - J. Lagrange (1736-1813), P. Laplace (1749-1827), A. Legendre (1752-1833), Condorcet (1743-1794) e G. Monge (1746-1818); do processo - que, durante o período da Revolução Francesa, estabelecera uma nova modelagem educacional, voltada para a construção de uma sociedade na qual a razão científica fosse exaltada -, cuja repercussão atingira contundentemente a geração de J. Duhamel (1797-1872) e G. Lamé (1795-1870); da Escola Politécnica de Paris; da criação de manuais didáticos os quais rechaçaram toda e qualquer menção às questões ditas metafísicas; dos enciclopedistas capitaneados por D. Diderot (1713-1784) e J. d'Alembert (1717-1783); dos tratados; de A. Comte (1798-1857) (BRAGA et al., 2008).

É curioso o comportamento ambíguo de muitos cientistas os quais chegam ao cúmulo de protestar "*solenemente contra*" a metafísica, afirma Kant (1990, p.18); "*até a matemática, na sua aplicação à ciência natural, inevitavelmente precisa*" da metafísica (KANT, 1990, p.24).

A metafísica - domínio filosófico "*que tem por verdadeira finalidade a resolução*" de certos "*problemas inevitáveis*" aos homens (KANT, 2003, p.15) - investiga os fundamentos, as causas e o ser íntimo de todas as coisas; à metafísica - que já fora considerada "*rainha de todas as ciências*" (KANT, 2003, p.15), cabem perguntas do tipo: Por que tais coisas existem? Por que alguma coisa é o que é? (CHAUI, 2000).

A metafísica difere da ontologia; ambas voltam-se para o conhecimento dos princípios e fundamentos - ou causas - últimos de toda a realidade - de todos os seres -, entretanto, há certa dissimilitude entre as mesmas. Grosso modo, enquanto a metafísica ocupa-se de tudo aquilo que é apriorístico, a ontologia dedica-se ao estudo do ser - dos entes ou das coisas, tais como são em si mesmas, real e verdadeiramente. Pode-se dizer que a ontologia pertence ao domínio - mais amplo - chamado de metafísica (CHAUI, 2000).

Segundo Braga et al. (2000, p.28), foi Andronico de Rodes quem cunhou o termo metafísica - em 50 a.C.; o fizera "*para classificar e denominar os escritos de Aristóteles posteriores aos seus estudos*" - também de Aristóteles - "*sobre física*". O prefixo *meta* refere-se ao que está além de - contudo, num sentido de superioridade, de estar acima de, de ser superior a ou de ser condição para. Assim, o termo metafísica designa o estudo de algo: que está acima e além das coisas físicas - ou naturais; que condiciona a existência e o conhecimento de tais coisas - físicas ou naturais.

A influência fecunda da metafísica sobre a física é inegável (AGASSI, 1957). As teorias científicas agregam uma série de elementos, dentre os quais há aqueles ditos metafísicos; de maneira geral, a criação de conceitos e teorias ocorre a partir de princípios metafísicos básicos - ou seja, que não podem ser empiricamente testados, princípios *a priori*. (CORDERO, 2013; ELKANA, 1975; GIL et al., 2001). Segundo Elkana (1975), a metafísica científica é o elemento central de um programa de pesquisa. A ciência contém *"puros princípios, que não são empíricos*" (KANT, 1990, p.15); a investigação científica é "*governada (...) por princípios a priori*" (GOWER, 1973, p.310) - ou seja, metafísicos (GIL et al., 2001). Dion & Loures (2013) afirmam que os cientistas são naturalmente guiados por certas concepções metafísicas - inclusive religiosas - as quais nutrem (DION; LOURES, 2013).

A "*genuína ciência natural pressupõe uma metafísica da natureza*" (KANT, 1990, p.15). "*Todos os filósofos da natureza*" - ou cientistas - "*sempre se serviram e tiveram de servir*" - embora em alguns momentos inconscientemente - "*de princípios metafísicos*" (KANT, 1990, p.18).

A metafísica é uma "*disposição natural*" (KANT, 2003, p.56) ao - espírito do (BACHELARD, 1991) - homem e, por conseguinte, inerente à ciência - um empreendimento humano. Diz Kant (2003, p.56) que "*a razão humana, impelida por exigências próprias, e não pela reles vaidade de demonstrar saber, prossegue irresistivelmente a sua marcha para*" as

questões metafísicas - que não podem ser solucionadas "*pelo uso empírico da razão nem por princípios extraídos da experiência*".

Sem as questões metafísicas, a ciência perde seu alicerce; a metafísica fornece uma base sobre a qual a física, por exemplo, alicerça seus estudos (WESTPHAL, 1995).

"*Qualquer ciência madura (...)*" guia-se "*por um esquema metafísico básico ou conjunto de pressupostos fundamentais, freqüentemente implícito*"; o que ocorre é que tais pressupostos são esquecidos com o tempo, assim "*como as regras de gramática que esquecemos à proporção que aprendemos uma língua, e que desaparecem da consciência no próprio momento em que mais a dominam*" (KOYRÉ, 2011, p.264).

O esquema metafísico aristotélico - amplamente aceito durante parte do medievo -, por exemplo, "*estabelece que os fenômenos ocorrem porque as coisas se esforçam por realizar seus potenciais*"; no esquema metafísico subjacente à chamada física clássica, por exemplo, há um espaço dito "*euclidiano tridimensional*" postulado, um tempo "*contínuo unidimensional e massas puntiformes interatuando através de forças centralmente dirigidas que variam continuamente com a distância*". O esquema metafísico "*básico einsteniano especifica um contínuo tetradimensional espaço-tempo, em que a massa-energia dá origem à gravitação como propriedade geométrica desse contínuo*"; o esquema metafísico quântico "*propõe que a natureza é, em última instância, não-determinista*". Assim, "*cada esquema básico* - construído, e não descoberto - "*especifica certas espécies de entidades fundamentais e suas propriedades*" (KNELLER, 1980, p.46).

A física - ou mesmo qualquer ciência - abarca "*proposições reconhecidas (...) se bem que independentes da experiência*"; tais proposições metafísicas: não são empíricas (KANT, 1988); não são evidentes ou pertencem ao "*campo de todas as experiências possíveis*" (KANT, 2003, p.47); são princípios "*absolutamente a priori*"; propõem, por exemplo, a permanência - ou conservação - da substância, da inércia, da igualdade da ação e reação, da quantidade de movimento (KANT, 1988, p.67), da energia.

III.1.2 Sobre a metafísica e o princípio de conservação da energia

Ao analisarmos o episódio da emergência do conceito de energia, facilmente percebemos a relevância que tem a metafísica na construção e no desenvolvimento dos saberes científico-culturais (ELKANA, 1975).

No que tange ao ensino do tema energia, ao voltarmo-nos excessivamente para o formalismo matemático, deixamos de lado aspectos deveras importantes atrelados à grandeza em questão. Na presente dissertação, salienta-se o quão relevantes foram para o desenvolvimento do conceito científico de energia e construção do princípio de conservação dessa mesma grandeza certas concepções metafísicas (ELKANA, 1975).

Quanto ao desenvolvimento do conceito de conservação da energia - processo favorável à doutrina da unidade e (inter)conversibilidade dessas que hoje consideramos como formas de energia (HARMAN, 1982) - pode-se dizer que certas crenças metafísicas foram determinantes (SILVA; MORADILLO, 2005), como a crença *a priori* em princípios de conservação na natureza (ELKANA, 1975).

No tocante à emergência do princípio de conservação da energia, acreditamos que a forte matematização da ciência à época não tenha sido o fator mais determinante, mas sim o uso de especulações filiadas à ideia de unidade da natureza. Notadamente, pode-se dizer que não houve uma conscientização voltada para a interrelação dos fenômenos causada por quaisquer dados adquiridos experimentalmente, mas, antes disso, o contrário, reforçando uma consciência que já existia (MAGALHÃES, 2005).

A ideia metafísica de conservação, segundo a qual, certa grandeza - ou alguma coisa - conserva-se em quantidade durante um processo qualquer de - suposta - interconversão fenomênica foi crucial para o estabelecimento do princípio de conservação da energia. Somente em consequência da emergência de tal quadro conceitual, o qual estabelece como características da energia - ou força, mais precisamente - a conservabilidade e a conversibilidade, houve condições plenas para o estabelecimento de uma relação quantitativa de cunho prático entre grandezas associadas a fenômenos distintos - por exemplo, trabalho e calor (SILVA; MORADILLO, 2005).

"*Muitos 'fios conceituais' foram unidos para formar uma 'corda', com a qual fosse possível 'amarrarmos' uma miscelânea de observações experimentais e de especulações filosóficas*" (LEHRMAN, 1973, p.15). Muitas dessas "cordas" foram cruciais para a formação, por exemplo, da teoria da energia, a qual, segundo Lehrman (1973, p.15), abarca "*a teorias da mecânica, a tecnologia das máquinas e motores, a teoria do calor e a teoria do eletromagnetismo*". Pode-se dizer que o último "nó para amarrar" o princípio de conservação da energia foi a quantificação de um fator de - suposta - interconversão entre calor e trabalho mecânico, o chamado equivalente mecânico do calor (KUHN, 2011).

A sofisticação técnica foi importante, visto que houve, em seguida, a necessidade de um ou mais aparatos experimentais adequados, mediante os quais fosse possível aferir a suposta invariabilidade da grandeza energia ao hipoteticamente converter-se ou ser convertida. Contudo, sem um quadro conceitual adequado não poder-se-ia interpretar os dados experimentais convenientemente ou fixar quaisquer correspondências entre os mesmos - nem ao menos poder-se-ia atribuir um significado à grandeza energia (GOWER, 1973). Antes ainda do cálculo de um equivalente mecânico do calor, o avanço técnico havia possibilitado a observação de novos fenômenos, os quais foram relacionados com a grandeza referida.

III.2 Interdisciplinaridade e ensino

Educar um indivíduo é algo muitíssimo amplo. À escola cabe certa parcela da educação, a escolarização; tal instituição ocupa-se - ou ao menos deveria ocupar-se - da preparação adequada dos educandos frente às necessidades do mundo contemporâneo. Assentamos tais dizeres sobre certas proposições presentes nas DCNEM (BRASIL, 1998) as quais: enfatizam a necessidade de uma formação mais geral, ou seja, menos específica; apregoam como finalidade do ensino médio o auxílio intermitente aos educandos, no que tange ao "*desenvolvimento (...) da autonomia intelectual e do pensamento crítico*" dos mesmos (BRASIL, 1998, p.2).

Acerca da física - das ciências da natureza como um todo -, as Diretrizes referidas ressaltam a importância de uma "*compreensão do significado das ciências (...) e do processo de transformação da sociedade e da cultura*" por parte dos educandos (BRASIL, 1998, p.2) - futuros cidadãos. Os domínios referidos - ciência, sociedade, cultura e outros mais - relacionam-se mutuamente; assim, em especial, que tais indivíduos: entendam a NdC; estejam cientes dos vínculos existentes entre a ciência, a tecnologia e a sociedade, por exemplo (ABD-EL-KHALICK, 1998). Para que sejam cumpridas as finalidades mencionadas, as DCNEM (BRASIL, 1998, p.2) defendem a utilização de "*metodologias de ensino diversificadas, que estimulem a reconstrução do conhecimento e mobilizem o raciocínio*"; em particular, tais diretrizes escudam a perspectiva interdisciplinar e a contextualização.

De acordo com Morin (2005), a reforma necessária do ensino é aquela que volta-se tanto para o contexto quanto para o complexo - que aponta para a inseparabilidade das partes do todo. É interessante notar como o processo de organização disciplinar do conhecimento não fora acidental; a "*fragmentação tem sua história*" (SILVA; PINTO, 2009, p.2). Tal processo teve - e ainda tem - enorme importância histórica: trouxe consigo indiscutíveis benefícios; fora condição, por exemplo, para diversos avanços científicos. Segundo Bursztyn (2005), - de um modo geral - a especialização torna-se necessária à medida que surgem problemas complexos; a análise volta-se para "as partes", visto que "o todo" é demasiadamente complexo. A cada domínio erigido pelos homens cabe certa parte do todo; tais domínios são responsáveis pela construção de certa gama de conhecimentos.

Mesmo que não haja um sentido exclusivo - ou estável - para o termo interdisciplinaridade (MOZENA & OSTERMANN, 2014; POMBO, 2003), de acordo com Morais & Guerra (2013), o mesmo refere-se a um modelo de ensino distinto daquele que compartimentaliza o conhecimento em disciplinas apartadas (MORAIS; GUERRA, 2013). Embora não haja uma definição consensual para o termo salientado, o mesmo persiste - indício de que seja importante; grosso modo, tal termo - demasiadamente amplo: relaciona-se com um conjunto bastante heterogêneo de projetos, hipóteses e experiências (POMBO,

2003); refere-se a "*um movimento que caminha para novas formas de organização do conhecimento ou para um novo sistema de sua produção, difusão e transferência*" (THIESEN, 2008, p. 545).

Diz Morin (2005, p.564) que é "*preciso separar (...), mas também é necessário reunir"*; senão perde-se de vista "o todo" (PAVIANI, 2008) - confina-se o saber despedaçado (MORIN, 2003).

> "*Digamos que estamos a entrar num terceiro momento da história das relações cognitivas do homem com o mundo. O primeiro seria o momento sincrético, correspondente à civilização oral, anterior à ciência, anterior à análise, fundado numa relação indistinta entre o homem e o cosmos, isto é, a totalidade orgânica e organizada que o cerca. Um segundo momento (...) seria o da especialização, da fragmentação disciplinar, do pensamento analítico governado pelo princípio, hoje insustentável na sua generalidade, de que o todo é igual à soma das partes. Estaríamos agora a entrar num terceiro momento: aquele que, justamente, reclama o contributo da interdisciplinaridade e integração dos saberes*" (POMBO, 2004, p.21).

O "*conhecimento das partes constituintes não basta para o conhecimento do todo*"; "*e o conhecimento do todo (...) não pode ser isolado do conhecimento das partes*" (MORIN, p.562). A "*especialização tem que ser complementada*" - em prol de uma compreensão capaz de lidar melhor com aquilo que é demasiadamente complexo, deve, em certos casos, no mínimo, ser ressignificada; dessa maneira, surgem domínios como a biofísica (POMBO, 2004, p.12).

A ideia de interdisciplinaridade relaciona-se com a de síntese; a opção pela interdisciplinaridade repercute tal fenômeno - a síntese - decisivo da ciência - e da educação - contemporânea. Em defesa da síntese, a ideia referida desencadeia uma ação a qual aproxima domínios do conhecimento geralmente tratados isoladamente; em prol de uma visão holística, a ideia de interdisciplinaridade estimula um processo que busca a diluição de tais barreiras - disciplinares - quiméricas (VAIDEANU, 2006) -, erigidas por convenção. Vivemos um momento "romanticamente inspirado", acreditamos - de busca por um viés orgânico; e tal momento exige um ensino mais romântico - menos cartesiano -, ou seja, que contemple "o todo disciplinar-orgânico". O termo interdisciplinaridade é fruto da - que emerge em oposição à - fragmentação; o termo energia também (POMBO, 2003). Tais termos exprimem o ideal de um saber unificado (POMBO, 2004).

O isolamento - fragmentador - disciplinar ainda impera em muitas escolas - quiçá na maioria delas. Segundo Angotti (1993), é imprescindível que os professores de ciências sejam capazes de seguir por vieses os quais privilegiem a interdisciplinaridade (ANGOTTI, 1993). Por falta de tempo ou desinteresse, diversos professores nem ao menos conhecem os conteúdos programáticos das disciplinas que não sejam as suas (BUCUSSI, 2005). A escola

é um espaço no qual os alunos encontram-se diariamente com físicos, químicos, historiadores, filósofos, sociólogos etc. Por que não aproveitar melhor tal espaço? Tendo em vista "*um desenvolvimento intelectual, social e afetivo mais completo e integrado*" dos estudantes, os professores devem perseguir a complementaridade interdisciplinar (BRASIL, 1998, p.4).

A compartimentalização do conhecimento em "ilhas" disciplinares transmite aos educandos uma "*falsa impressão de que o conhecimento e o próprio mundo são fragmentados* - algo que pode acometer a visão de mundo de tais estudantes (GUERRA et al., 1998, p.33). Os conteúdos disciplinares devem ser articulados, entretanto, não se deve execrar a especialização; a promoção das articulações referidas deve ocorrer em momentos convenientes (MENEZES, 2001) - todavia, a interdisciplinaridade não anula a especialização (VAIDEANU, 2006). Especialização e síntese não são tendências "*antagônicas, mas complementares*"; trata-se "*de uma relação dialética*" (BURSZTYN, 2005, p.44).

Os conhecimentos não devem ser "*apresentados como simples unidades isoladas*" - tais conhecimentos relacionam-se entre si: contrastam-se, complementam-se, "*ampliam e influem uns nos outros*" (BRASIL, 2002, p.30). Todo "*conhecimento mantém um diálogo permanente com outros conhecimentos*"; "*as disciplinas (...) são recortes (...) que carregam sempre um grau de arbitrariedade*", logo, deve-se buscar entre tais domínios, possíveis "*interações que permitam aos alunos a compreensão mais ampla da realidade*" (BRASIL, 1998, pp.3-4). Segundo Pombo (2003), tais disciplinas fertilizam-se entre si.

A interdisciplinaridade busca "*resgatar o caráter de totalidade do conhecimento*" - "*o caráter imbricado da maioria dos problemas concretos*" os quais a ciência se propõe a resolver; e "*quanto mais interdisciplinar for o trabalho docente, quanto maiores forem as relações conceituais estabelecidas (...), quanto mais problematizantes, estimuladores, desafiantes e dialéticos forem os métodos de ensino, maior será a possibilidade de apreensão do mundo*" pelos alunos (THIESEN, 2008, p. 552). A interdisciplinaridade ocupa-se da disceminação de "*uma visão mais clara da unidade do mundo, da vida e das ciências*" (VAIDEANU, 2006, p.169).

A interdisciplinaridade, se compreendida

> "*como formulação teórica e assumida enquanto atitude, tem a potencialidade de auxiliar os educadores e as escolas na ressignificação do trabalho pedagógico em termos de currículo, de métodos, de conteúdos, de avaliação e nas formas de organização dos ambientes para a aprendizagem*" (THIESEN, 2008, p. 553).

Ao articularmos história, filosofia e ciência - domínios específicos, contudo inter-relacionáveis -, tentamos efetivar o ideal de um ensino interdisciplinar. Assim, justificamos nossa opção por um viés histórico-filosófico (pela HFC) - intrinsecamente interdisciplinar. Outro fator - o qual já fora discutido - ainda fortalece tal opção: não estamos formando

especialistas. A ideia de interdisciplinaridade permeia todo o presente trabalho; e isso, pois relaciona-se: com a perspectiva histórico-filosófica; com a NdC; com o conceito de tema gerador; com a noção de conceito unificador e, por conseguinte, com a grandeza energia; com o ideal romântico de síntese do todo - no caso, do conhecimento humano organizado em disciplinas.

IV Energia: tema gerador e conceito unificador

No presente trabalho, estamos particularmente interessados no ensino do tema - o qual abarca a grandeza - energia. Duit (2012) aponta quatro perguntas importantes - as quais nos servirão como ponto de partida - relacionadas com o ensino do conceito salientado - de energia:

1. Qual é o papel do conceito de energia na ciência?
2. Historicamente, como foi desenvolvido o conceito de energia?
3. Para que haja uma compreensão plena dos problemas ambientais, econômicos e sociais atrelados ao conceito analisado, os educandos precisam atingir certas competências. Quais competências?
4. Quais são as concepções alternativas relacionadas com o conceito de energia nutridas pelos educandos?

Adiante, buscaremos respondê-las parcialmente.

Certos conceitos científicos - dentre os quais sobressaltamos o de energia: "*podem constituir balizas ou âncoras tanto para as aquisições do saber nessa área*" - na ciência - "*como para minimizar excessos de fragmentação do pensamento dos estudantes*" (DELIZOICOV, 2011, p.278); servem como elementos minimizadores da notória - e excessiva - fragmentação do conhecimento humano (ANGOTTI, 1993) - ou "*esquizofrenia cultural*", como chama Posseibon (2011, p.40); figuram como "pontes" as quais - possivelmente - conectam "ilhas de conhecimentos" - ditas exatas e humanas (ANGOTTI, 1991); favorecem a criação de "*vínculos e estreitamentos entre cientistas, professores e currículos*" (DELIZOICOV et al., 2011, p.281); beneficiam o ideal de um ensino interdisciplinar - e isso, pois perpassam diversos contextos ou domínios; podem - e devem "*balizar as tendências de ensino*" atuais (DELIZOICOV et al., 2011, p.280).

Angotti (1991) chama tais conceitos de unificadores. Segundo Angotti (1991, p.136), o conceito de energia é um conceito unificador - talvez o "*mais adequado e mais potente*" propiciador de "*totalizações entre fragmentos*"; Kurnaz e Calik (2009, p.2) chamam o conceito discutido de "*interdisciplinar*". No âmbito escolar, tal grandeza - mais do que qualquer outra (DELIZOICOV et al., 2011) - pode ser utilizada em prol de um ensino: mais orgânico - que aproxima domínios do conhecimento, currículos e professores; mais valoroso - que não mais reduza os conhecimentos-cultura científicos a meras ferramentas úteis para a resolução de exercícios de vestibular.

As ideias de interdisciplinaridade, conceito unificador e tema gerador são compatíveis entre si. Delizoicov et al. (2011) afirmam que os conceitos unificadores são complementares aos chamados temas geradores. De acordo com Costa & Pinheiro (2013), os temas geradores - estopins motivadores - têm por objetivo: promover a interdisciplinaridade - em

detrimento do viés (ensino) dito tradicional; auxiliar o processo de desenvolvimento do senso crítico dos educandos - e, por conseguinte, da autonomia dos mesmos; favorecer uma aproximação entre professores e alunos.

Um tema gerador abarca "*uma rede de assuntos mais ou menos extensa, assuntos que vêm à tona ou não, segundo a dinâmica de sala de aula*" (CITELLI, 1993, p.95). Segundo Delizoicov et al. (2011), a escolha de um tema gerador deve basear-se em benefícios pedagógicos. É fundamental, diz Gadotti (1991), que tal tema seja de grande relevância para aqueles aos quais será dirigido - abarque algo que impacte diretamente na vida de tais indivíduos. Na presente dissertação, elegemos o tema gerador energia. O termo energia faz parte do cotidiano dos educandos - "*está lá, nos jornais, na TV, nas revistas, nas decisões políticas*" (ANGOTTI, 1991, p.137). Além disso, tal tema - cujo impacto repercute não somente no âmbito científico - relaciona-se diretamente com as questões ambientais e de sustentabilidade atuais (ARAÚJO; BOFF, 2011). Entretanto, é como se aquela energia - dos meios de comunicação - não fosse a mesma veiculada nas escolas (ANGOTTI, 1991; KURNAZ & CALIK, 2009).

Na escola, o termo energia costuma ser contemplado tanto no ensino de física quanto de química e biologia (ARAÚJO & NONENMACHER, 2009; DELIZOICOV et al., 2011). A grandeza "*não é algo 'da Física', pois é igualmente 'da Química', sendo também essencial à Biologia*" (BRASIL, 2002, p.8) - e isso naturalmente correlaciona tal grandeza à ideia de interdisciplinaridade (DREYFUS, 2011). Tal construto encontra-se destacado: na mecânica; na termodinâmica; na eletricidade; nas discussões relacionadas com as reações químicas, com os processos biológicos e geológicos etc. (DOMÉNECH; TORREGROSA, 2010).

Segundo Lindsay (1971), pode-se dizer que o conceito de energia é: o principal construto presente no domínio científico; a ferramenta mais útil e poderosa construída pelo homem. De acordo com Doménech & Torregrosa (2010), tal relevância decorre do caráter unificador e explanatório do construto. Tamanha a importância atribuída ao conceito de energia, diz Maxwell (*apud* SMITH, 1998, p.126) que "*no estudo de qualquer fenômeno novo nosso primeiro questionamento deve ser: Como pode esse fenômeno ser explicado como uma transformação de energia?*"

Não temos como aferir se - de fato - tal conceito é o mais importante de todos aqueles os quais compõem o quadro atual de construtos científicos. Uma vez que são muitos os produtos científicos existentes - e tantos deles são absolutamente relevantes -, mais comedidamente, acreditamos - como Solomon (1983) e Trumper (1993) - que a grandeza em questão ocupa um lugar de grande - e especial - importância dentre tais construções; trata-se de um importante conceito que somente adquire algum sentido se vinculado a outros conceitos - de massa e velocidade, por exemplo - (PIETROCOLA, 2002).

O conceito de energia - assim como outros conceitos unificadores - perpassa diversas áreas; a presença de tal grandeza pode ser notada em diversos âmbitos existentes - estruturados pelos homens: os neurocientistas querem mensurar o custo metabólico - em calorias - de certa quantidade de informação transmitida através de uma sinapse; os antropólogos, os sociólogos e os economistas estão interessados no consumo energético *per capita* ou mesmo se as pessoas trabalham em busca da optimização de suas próprias eficiências etc. (BUNGE, 2000; KURNAZ & CALIK, 2009; MILLAR, 2005; SOLBES et al., 2009)

A HC aponta para o caráter unificador do conceito de energia - o qual "*reuniu o interesse de vários pesquisadores que (...) empreenderam esforços de unificação*" (ANGOTTI, 1991, p.136). Através do conceito referido, vínculos puderam ser estabelecidos - "pontes" entre conhecimentos até então demarcados pelas fronteiras disciplinares (QUEIRÓS; NARDI, 2009); dessa maneira, fora viabilizada uma "grande síntese" entre domínios antes isolados. Tal conquista teórica representara uma verdadeira revolução (ANGOTTI, 2009; LIU & PARK, 2012).

Todavia - como bem sobressaltam Araújo & Nonenmacher (2009) - é interessante perceber que muitos professores não valorizam tal poder de síntese. Custódio & Pietrocola (2004) afirmam que o construto é mal utilizado pelos professores - como se a grandeza fosse algo na física, na química outra coisa e na biologia ainda outra distinta; a energia ultrapassa os limites disciplinares, porém, o caráter unificador do construto não é - na maioria das vezes - enfatizado. Os educandos dificilmente atingirão - ou entenderão - a síntese mencionada sem algum auxílio (BUCUSSI, 2005).

Notadamente, algumas grandezas as quais costumam ser admitidas como formas de energia - energia cinética, energia potencial, calor etc. -, até o fim do século XVIII, ainda encontravam-se apartadas - inexistiam ou eram tão somente pouco relacionadas. Com a ideia de conservação da energia - mais especificamente, da força - avança um movimento favorável à unificação de tais grandezas (SILVA; MORADILLO, 2005).

Desde que o princípio de conservação da energia emergira e fora aceito - no século XIX -, temos com o auxílio dessa grandeza interpretado e resolvido diversas questões relativas aos fenômenos - de interesse tanto teórico quanto prático. Sem qualquer dúvida, a construção desse princípio foi uma vitória do intelecto humano e está longe de ter sido fruto de um processo indutivo novecentista; há uma "*fascinante trajetória*" atrelada à história do construto analisado - repleta de "*implicações e vinculações sociais com a Europa da época, enfim sua relação externalista do Tecnológico ao Filosófico*" (ANGOTTI, 1991, p.136).

"*Talvez*", dizem Rutherford et al. (1978, p.8), "*as leis mais importantes no mundo da física*" sejam "*as leis de conservação*". Segundo Lewin (1999, p.6), a conservação da energia é "*a mais sagrada de todas as leis da física*". Contudo, trata-se de algo ainda mais primordial

do que uma lei - algo basilar. Uma lei científica é um enunciado que descreve um padrão - uma regularidade ou norma; uma lei pode ser expressa quantitativamente, ou seja, "*redigida como um enunciado matemático*" - como uma "*relação funcional*" entre grandezas estabelecidas (KNELLER, 1980).

Os princípios são caros às teorias físicas - encontram-se numa posição privilegiada no interior da ciência. Nas salas de aula - escolares -, tais discussões não costumam ser empreendidas; por conseguinte, os princípios são tomados como meros instrumentos voltados para a resolução de questões idealizadas - e muito repetitivas (PIETROCOLA; ZYLBERZSTAJN, 1999).

Um princípio físico é sempre um axioma - algo assumido como hipótese auto-evidente ou necessariamente verdadeira -, grosso modo, algo apriorístico e do qual deve-se partir. Os "*princípios não são (...) verificáveis ou demonstráveis*" (CUSTÓDIO; PIETROCOLA, 2004, p.387) - são conhecimentos *a priori*, filosóficos puros, "*de entendimento puro*" e "*de razão pura*" (KANT, 1988, pp.23-24); tais conhecimentos ultrapassam os limites da experiência (KANT, 2003). O "*pensamento científico*", diz Koyré (2011, p.264), "*está sempre dentro de um quadro de ideias, de princípios fundamentais, de evidências axiomáticas*".

Sobre a natureza da energia, não há consenso; é interessante perceber que não existe uma definição consensual para a grandeza mencionada (DOMÉNECH et al., 2003; SOUZA et al., 2012). Para uma ciência que supostamente lida tão somente com fatos - com dados efetivamente concretos -, tais afirmativas são bastante curiosas. Não sabemos o que é energia (FEYNMAN, 1998).

Poincaré (1984) sobressalta algo muito pertinente - relacionado tanto com essa carência de uma definição consensual para a grandeza supracitada quanto com o princípio de conservação da mesma: o princípio de conservação da energia afirma que num sistema isolado o qual evolui, composto por certo contingente de pontos materias, determinada - ou determinável - quantidade acessível à experimentação deve permanecer constante - a energia total do sistema (E). Tal quantidade equivale numericamente à soma entre certa grandeza - possivelmente aferida [como ressalta Lehrman (1973), calculada indiretamente] num instante t e de natureza idêntica à da energia - tão somente dependente da posição dos pontos materias - componentes do sistema - analisados (chamada de energia cinética) e outra - também possivelmente aferida (especificamente, calculada indiretamente) no mesmo instante t e de natureza idêntica à da energia - tão somente dependente do quadrado das velocidades desses mesmos pontos analisados (chamada de energia potencial); e isso se considerarmos que a massa dos pontos e a aceleração da gravidade permanecem constantes.

Imaginemos que:

- Energia cinética no instante $t_1 \rightarrow E_{c1}$

- Energia cinética no instante $t_2 \rightarrow E_{c2}$
- Energia cinética no instante $t_n \rightarrow E_{cn}$
- Energia potencial no instante $t_1 \rightarrow E_{P1}$
- Energia potencial no instante $t_2 \rightarrow E_{P2}$
- Energia potencial no instante $t_n \rightarrow E_{Pn}$
- Energia total do sistema num instante t qualquer → E

De acordo com o princípio de conservação da energia: E = E_{c1} + E_{p2} = E_{c2} + E_{p2} = ... = E_{cn} + E_{pn} = constante.

Mas, isso não é tudo. Nessa equação, salienta Poincaré (1984), devem ser consideradas todas as formas de energia presentes no sistema (E_x) - não somente a chamada energia mecânica (E_c + E_p).

Logo, E = E_c + E_p + E_x = constante.

Todavia - indaga Poincaré (1984) -, como divisaremos “todas as formas de energia” as quais devem ser consideradas como “presentes no sistema”? Não temos, prossegue Poincaré (1984), o que nos guiar nesse sentido. O princípio de conservação da energia - ou qualquer outro - é axiomático - ou seja, encontra-se fora do alcance da experiência (POINCARÉ, 1984): instaura que a soma das energias de um sistema é constante, contudo, não se sabe nem ao menos o que é energia. Assim, como falar dos possíveis tipos de algo desconhecido - que não se sabe nem ao certo o que é - supostamente presentes em um sistema? Como distinguir a força da energia? Como falar de um tipo qualquer de energia? Por que acreditar no princípio referido? Costuma-se acreditar na conservação por conveniência - utilidade e adequação - e só; tais assunções - as quais respaldam o princípio de conservação da energia: ajustam-se, por exemplo, à crenças - religiosas - antigas; propiciam soluções para uma série de problemas naturais, tecnológicos e sociais (DUIT, 2012).

Os “*princípios que se estendem para lá de toda a experiência*” podem - e devem - ser chamados de “*princípios metafísicos*” propriamente ditos (SCHELLING, 2001, p.27). O princípio considerado - de conservação da energia - estabelece tão somente que alguma coisa deve sempre permanecer constante no Universo - ou num sistema isolado qualquer; tal ideia representa um ponto de partida. Já há algum tempo, chama-se tal coisa de energia (POINCARÉ, 1984).

Como discutir - de modo claro - com os alunos o conteúdo referente à grandeza supracitada - visto que não há uma definição sólida (consensual) para o termo científico analisado? Uma vez que existe uma dificuldade inerente - e indiscutível - atrelada ao assunto, é adequado discuti-lo em sala de aula (DREYFUS, 2011)? Angotti (1991) pergunta se é mesmo preciso definir a grandeza. Acreditamos que não.

No que concerne à energia, não existe uma definição consensual para o termo; todavia, há: um conceito de energia - ou seja, certas características relacionadas com a

grandeza em questão as quais foram impostas à mesma; uma história - ou mesmo mais de uma - por trás do conceito destacado; uma filosofia - ou mais de uma - subjacente ao conceito considerado.

É comum que boa parte do ensino de física volte-se para a exposição de conceitos desenvolvidos no interior do domínio físico. Dever-se-ia trocar a exposição pela discussão, acreditamos.

Um conceito - algo concebido ou formado na mente, uma ideia - "*resume e generaliza as características*" - quaisquer que sejam - de alguma coisa. Através dos conceitos - criados pelos homens -, temos condições de distinguir uma coisa de outra - um gato de um cachorro, de um pássaro, de um móvel, da energia etc. Os conceitos ditos científicos não são intuitivos - ou imediatos; por trás de tais conceitos - científicos - há certa sofisticação - a qual acomete e compromete o senso usual ou comum (REGO, 1996, p.77).

Mas, o "*conceito não é a coisa*" - assim como "*a Ciência não é a Natureza*" (ANGOTTI, 1991, p.107). Segundo Horkheimer & Adorno (*apud* ANGOTTI, 1991, p.105), um conceito é "*produto do pensamento dialético*" - do conflito, da controvérsia. Antes que fosse possível um conceito de energia, muito aconteceu. Pode-se dizer que "*conceitos são invenções*" (DOMÉNECH et al., 2003, p.296) - são construtos "*de caráter relativamente permanente*" (ANGOTTI, 1991, p.105).

De acordo com Einstein & Infeld (s.d., p.37):

> "*Os conceitos da física são criações do espírito humano, e não, como possam parecer, coisas determinadas pelo mundo externo. No nosso esforço para compreender a realidade a nossa posição lembra a de um homem que procura adivinhar o mecanismo de um relógio fechado. Esse homem vê o mostrador e os ponteiros, ouve o tiquetaque, mas não tem meios de abrir a caixa que esconde o maquinismo. Se é um homem engenhoso, pode fazer ideia de um maquinismo responsável por tudo o que observa exteriormente, mas não poderá nunca ter a certeza de que o maquinismo que imagina seja o único que possa explicar os movimentos exteriores"*.

IV.1 Concepções de energia

Segundo Duit (2012), professores e educandos costumam nutrir concepções variadas acerca da grandeza energia. Tais concepções refletem aspectos dos discursos diários os quais envolvem o termo em questão - energia; o vocábulo energia "*está presente em situações tão diversas como um papo de economistas ou entre jogadores de futebol*" (PIETROCOLA et al., 2010, p.17; TATAR & OKTAY, 2007). No dia a dia, é comum que termos apropriados pelo discurso científico, tais como energia, trabalho e calor - dentre tantos outros - sejam utilizados de maneira, se comparada ao que afirma a ciência acerca dos

mesmos, inadequada (BESSON; AMBROSIS, 2013). Vez por outra, até mesmo nós professores acabamos incorrendo em tais equívocos (QUADROS; SANTOS, 2007).

Todos já ouviram, por exemplo, alguém dizer que algo - certo equipamento, eletrodoméstico... - "gasta ou consome muita energia"; discursos como esse dificilmente - quiçá raramente - relacionam o termo energia com as ideias de conservação e transformação. Entretanto, associações do vocábulo salientado à ideia de degradação são mais frequentes; e isso, pois diversos veículos midiáticos enfatizam tal característica da grandeza - mesmo que de forma implícita (DUIT, 2012).

Obviamente, para o aluno recém informado acerca daquilo que diz a ciência sobre a grandeza analisada, influenciado por - e, provavelmente, portador de - concepções alternativas - ou espontâneas - concernentes ao termo discutido, apresentar-se-á uma enorme confusão. Além disso, alguns livros didáticos discorrem de modo incongruente sobre o construto e mesmo certos professores (ARAÚJO; NONENMACHER, 2009); por conseguinte, diz Watts (1983), é comum que tais concepções - equivocadas - persistam.

Segundo Doménech & Torregrosa (2010), a grande maioria dos educandos conclui o período escolar com um entendimento pífio tanto acerca do conceito de energia quanto sobre os de calor e trabalho; e isso, apesar da importância - evidente - atribuída aos conceitos referidos. No máximo, tais indivíduos terminam o ensino médio com uma série de fórmulas, através das quais, resolvem certos exercícios tradicionais - frequentemente presentes nos manuais didáticos e ordinariamente cobrados nos exames vestibulares.

O que é energia? Tal questionamento, se feito por um aluno, certamente será "*(...) motivo de tergiversação para quase todos os professores*" (PASSOS, 2009, p.3603-2). A energia é uma "*propriedade (...) que se manifesta de muitas maneiras*" (SEGURA, 1986, p.250)? "*algo quase-material*" (DUIT, 1987, p.139)? "*Um tipo de 'coisa"* (SCHERR et al., 2012, p.4)? A energia é a propriedade universal da matéria - a qual dota-a (a matéria), tornando-a capaz de mudar em algum aspecto (BUNGE, 2000)?

Geralmente, os manuais didáticos - e, por conseguinte, tantos professores de física - discutem o conceito de energia logo após a discussão da grandeza trabalho; o fazem pensando numa possível definição para o termo energia. Tais veículos - manuais - costumam: apresentar o construto a partir do "teorema trabalho-energia cinética"; informar - equivocadamente - aos estudantes que a energia é a capacidade - ou a habilidade - de realizar trabalho. Contudo, a definição mencionada fora comprometida pela enunciação da 2ª lei da termodinâmica (LEHRMAN, 1973); tal definição - ultrapassada - desconsidera a - suposta - impossibilidade de um movimento perpétuo, ignora a - hipotética - existência de certas porções de "energia inútil", ou seja, no que tange à referida capacidade de realização de trabalho, ineptas.

Ainda sobre a definição supracitada, certos autores - dentre eles Arons (1999) e Bunge (2000) - sugerem que o trecho “realizar trabalho” seja trocado por “produzir mudanças” - ou talvez por “produzir calor” (DOMÉNECH et al., 2003); assim, a energia seria a capacidade - ou a habilidade - de produzir ou causar mudanças - algo demasiadamente genérico, acreditamos. Que mudanças? Quaisquer mudanças? Além disso, tal definição também desconsidera a 2ª lei da termodinâmica. Segundo Duit (2012), toda definição que relacione a ideia de capacidade com aquela de energia é problemática; e isso, pelo mesmo motivo explicitado anteriormente: a 2ª lei da termodinâmica não pode - ao menos por enquanto - ser desconsiderada.

Kaper & Goedhart (2002) e Swackhamer (2005) rejeitam a ideia de tipos - ou formas - de energia; ambos discutem a existência de tão somente uma energia; portanto, não haveria razão para que fosse mantida a ideia - basilar, acreditamos - de (inter)conversão entre tipos de energia.

Falk et al. (1983, p.1076) defendem a ideia de “*energia como um tipo de ‘coisa’ que pode fluir de um local a outro somente quando ‘carregada’ por outro tipo de coisa chamada de portadora de energia*”.

No tocante às concepções - espontâneas - nutridas pelos alunos acerca do construto energia, Goldring & Osbourne (1994), Papadouris et al. (2008), Watts (1983) e Watts & Gilbert (1983) evidenciam que muitos estudantes utilizam de maneira indiferenciada - e isso, pois costumam confundir - os conceitos de força e energia - um dos equívocos mais comuns, identificado por boa parte dos professores.

O processo de construção do conceito - científico - de energia requereu certas etapas; uma delas consistiu na diferenciação entre os conceitos de força e energia (ELKANA, 1975; LIU; PARK, 2012). De acordo com Elkana (1975, p.132), durante um período considerável, o termo força - persistira em “*estado de fluxo*” - fora utilizado para descrever aquilo que já há algum tempo - desde a segunda metade do século XIX - entende-se como energia. Tal ambiguidade perdurou por um bom tempo. Aparentemente, a atribuição de uma acepção estritamente newtoniana ao termo força não era digna de consenso.

Bryce & MacMillan (2009) afirmam que os educandos não compreendem a diferença qualitativa entre as grandezas quantidade de movimento e energia cinética. Tais estudantes, prosseguem Bryce & MacMillan (2009), entendem somente a diferença entre a equação para o cálculo do valor da quantidade de movimento e a fórmula para o cálculo da grandeza energia cinética. Historicamente, as grandezas quantidade de movimento e *vis viva* estiveram em evidência numa discussão que originou uma interessante controvérsia: afinal, qual é a medida do movimento - ou da força que origina o movimento - de um corpo? A discussão dessa controvérsia em sala de aula e a diferenciação adequada - concomitante - das referidas

grandezas com certeza sanaria tais dúvidas; e isso, uma vez que o construto energia cinética relaciona-se diretamente com a *vis viva* leibniziana.

A "*forte tendência (...) de substancializar*" a energia acomete boa parte dos estudantes (BARBOSA; BORGES, 2006, p.203). Costuma-se dizer, por exemplo, que a "*energia não pode ser destruída*" (COELHO, 2013, pp.1-2); segundo Coelho (2013, pp.1-2), tal afirmativa sugere que a grandeza em questão "*deve ser algo que existe de fato, algo real, pois não faz o menor sentido afirmar-se que não podemos destruir algo que não existe*". Para muitos estudantes, a energia é algum tipo geral de combustível material; para outros, a energia é uma substância quase-material ou uma quantidade tipo-substância (DUIT, 2012).

Nesses casos - nos quais tende-se à substancializar a energia - impera uma visão materialista. Tais suposições - materialistas - acerca da natureza do construto sofrem com o seguinte argumento: nunca fora possível observar - ou detectar - uma substância - ou fluido - com características especiais de conversibilidade e indestrutível a qual pudesse ser associada ao conceito de energia - ou de calor (COELHO, 2009). Contudo, a ideia de energia como um fluido transferível é - implicitamente ou explicitamente - constantemente sugerida (BREWE, 2011; WARREN, 1982).

Diz Warren (1982) que a visão materialista concebe a energia como um fluido - que existe objetivamente - pervasivo; a energia supostamente flui através do espaço e armazena-se nos corpos ou sistemas. Harbola (2010), por exemplo, num típico tratamento materialista associado à grandeza, discute sobre o fluxo de energia oriundo de uma bateria - o qual dirige-se para outros elementos de um circuito. A própria ideia de transformação - ou seja, de mudança de forma - conduz à considerações materialistas; notadamente, a forma é uma característica distintiva dos corpos ou substâncias materiais.

Oposta à ótica materialista, a visão conceitualista costuma ser bastante pragmática; para os conceitualistas, a energia é tão somente uma entidade imaginária útil. Tal controvérsia entre materialistas e conceitualistas relaciona-se com o embate entre realistas e antirrealistas. Segundo Boo (1998), o ensino de ciências frequentemente perpetua um posicionamente filosófico demasiadamente realista. Em sala de aula, raras vezes são estimuladas discussões sobre realismo e antirrealismo - seja de entidades ou de teorias (BRAGA; TOLEDO, 2013; HACKING, 2012). Os manuais didáticos também não costumam contemplar tais embates.

Boo (1998) aponta que, para alguns alunos, ao ser - supostamente - "quebrada" uma ligação química, "liberta-se" certa quantidade de energia - ou seja, os termos são tomados literalmente; os educandos, salienta Boo (1998), salvo raras exceções, acreditam que tais ligações sejam, de fato, entidades físicas. Segundo Solomon (1985), os alunos costumam confundir as fontes energéticas com a própria energia. Kaper & Goedhart (2002) salientam

que alguns educandos acreditam numa possível interconversão entre matéria - um fluido qualquer, por exemplo - e energia.

Segundo Arons (*apud* WATTS, 1983, p.216): a grandeza energia propicia a preservação de certa conexão entre os "*mais diversos fenômenos*"; a "*energia não é uma substância, líquido (...) ou combustível (...) espalhado nos corpos*"; o termo energia é utilizado "*para denotar um construto - números calculados de uma certa forma prescrita*".

De acordo com Watts (1983, p.214) e Trumper (1990), certos alunos nutrem concepções acerca da grandeza supracitada "*muito antropocêntricas e antropomórficas*" - ou seja, tais estudantes costumam relacionar a ideia de energia com os seres humanos (WATTS, 1983). Para alguns educandos, objetos dotados de certa quantidade de energia cinética, por exemplo, são portadores de atributos humanos: são capazes de locomover-se.

Em alguns momentos, os estudantes relacionam o construto energia com as ideias de depósito, fonte ou armazenamento; tais indivíduos costumam pensar da seguinte maneira: determinados objetos possuem dentro de si certa quantidade de energia - são, portanto, fontes de energia - enquanto outros precisam de energia. Outros educandos associam a grandeza referida à ideia de ingrediente: a energia "*é um ingrediente dormente dentro dos objetos*" - que "*precisa de algum 'gatilho'*" para ser ativado ou "*liberado*" (WATTS, 1983, p.214; TRUMPER, 1990). Boo (1998) salienta a presença constante desse tipo de associação quando os estudantes falam sobre os alimentos.

Para alguns alunos, a energia "*é uma atividade 'óbvia'*"; há também aqueles - educandos -, para os quais, a energia "*é um produto*" (WATTS, 1983, p.214). Watts (1983) ainda discute mais uma concepção, segundo o mesmo, frequente nos discursos dos estudantes; de acordo com Watts (1983), para certos alunos, a energia "*é funcional*", um tipo de fluido utilizado em aplicações tecnológicas ou associado aos processos que tornam a vida dos seres humanos mais confortável - logo, caso não existissem os dispositivos tecnológicos, aparentemente seria inútil o conceito de energia (DUIT, 1981).

Resumidamente, pode-se dizer que a energia é "*um construto*" - abstrato, criado por conveniência - quantificável, "*não estruturável, não modelável, muito menos coisificável*" - portanto, inobservável; o conceito de energia - unificador ou totalizador - "*acopla muito bem o qualitativo e o quantitativo*" (ANGOTTI, 1991, p.140); tal conceito (de energia) mescla - de maneira harmônica - quatro ideias: de transformação - ou conversão; de conservação; de transferência; de degradação (DUIT, 2012; MORAIS & GUERRA, 2013).

IV.2 Por um ensino de energia mais valoroso

O ensino do tema energia costuma - infelizmente - ser muito restrito. No que tange ao ensino referido, boa parte dos professores - grosso modo - têm por hábito: falar - geralmente,

de modo bastante resumido - da importância da energia em domínios específicos; dizer que tal grandeza - quando em uma forma específica - pode converter-se ou ser convertida em outras diferentes formas - tipos ou títulos - de energia; informar que, durante os processos de conversão - supracitados -, a grandeza analisada conserva-se em quantidade; fazer com que os estudantes memorizem uma série de relações matemáticas; exigir que os alunos resolvam uma infinidade de problemas repetitivos. Em certos casos, tal ensino limita-se às últimas etapas sobressaltadas - ou seja, inícia-se imediatamente a "enxurrada" de equações matemáticas (BUCUSSI, 2005).

As equações mencionadas têm, de fato, muito valor, contudo, por que insistir numa abordagem meramente operacional-formulesca, uma vez que (tanto historicamente quanto filosoficamente) é bastante rico o episódio concernente à construção do princípio de conservação da energia? É muito pouco para um ensino o qual aspira à formação (BRASIL, 2002): de indivíduos autônomos, reflexivos e críticos - diante, por exemplo, de questões sociocientíficas; de cidadãos participativos em uma sociedade como a nossa - na qual tanto a ciência quanto a tecnologia assumem papéis de suma importância. Portanto, tais simplificações - vieses estreitos e pouco aprazíveis - não são suficientes (BESSON; AMBROSIS, 2013).

Tantos professores, por vezes - diversas delas -, se esquivam dos problemas - em geral, filosóficos - atrelados à grandeza, sendo que o enfrentamento dos mesmos renderia - possivelmente - bons frutos; e isso, uma vez que poderia incitar, por exemplo, reflexões importantes acerca da natureza dos construtos científicos - e, por conseguinte, sobre a NdC. No tocante à compreensão da grandeza eleita - seu significado difuso (tanto para a ciência quanto social etc.) e relevância consentida -, segundo Cohen (*apud* ELKANA, 1975), torna-se necessária uma análise filosófica - e, para nós, também histórica - razoavelmente (no mínimo) profunda, caso queira-se "chegar a algum lugar efetivamente" - por exemplo, à compreensão do motivo que levara alguns cientistas do passado à assunção da conservação da força ou mesmo à subsequente ampla aceitação do princípio de conservação da energia. No que concerne ao ensino do construto referido, tais considerações devem - acreditamos - ser levadas em conta.

É interessante notar que certos autores se opõem à discussão do construto energia nas escolas. Warren (1982) argumenta que tal grandeza deveria ser tão somente estudada em cursos mais avançados - sugere, portanto, a eliminação da mesma do ensino inicial de ciências. De acordo com Barbosa & Borges (2006) e Warren (1986), o assunto em questão é muito abstrato, logo, nada trivial. Barbosa & Borges (2006) e Dreyfus (2011) também salientam a complexidade do tema energia.

Os PCN defendem um ensino o qual contemple "*o desenvolvimento de conhecimentos mais amplos e abstratos, que correspondam a uma cultura geral e a uma visão de mundo*"

(BRASIL, 2002, p.6). De um modo geral, a física é *"não-trivial"* (DIAS, 2001, p.226; VITAL; GUERRA, 2014) - é complexa. Os conceitos científicos não costumam ser óbvios - não são espontâneos. Embora o conceito de energia seja abstrato, através do mesmo, diversos fenômenos naturais puderam ser - de modo consistente - interpretados (RIZAKI; KOKKOTAS, 2009). Segundo Kramers (*apud* ELKANA, 1975), os conceitos mais fecundos são aqueles aos quais dificilmente conseguir-se-ia atribuir um significado muito claro.

V Sobre o contexto no qual fora erigido o princípio de conservação da energia

Determinado saber científico é construído num contexto específico. O conhecimento desse contexto é basilar para que sejam compreendidas as respostas dadas pelos filósofos naturais ou cientistas aos problemas os quais tiveram que solucionar em seu tempo - ou ao menos tentaram solucionar (CANEVA, 1997). De fato, não alcançaremos uma adequada compreensão histórica acerca de algo produzido por determinado indivíduo ou grupo de indivíduos, se ignorarmos o contexto cultural específico que rendeu significado a esse algo. Ao não falarmos do Romantismo e de seu reflexo no âmbito científico ou filosófico-natural - ou seja, da *Naturphilosophie* -, omitimos um relevante movimento histórico - que causara diversos impactos durante e após o período mencionado - e com isso transmitimos uma imagem incompleta dos cenários - cultural, artístico, literário, religioso, político, filosófico, científico e, por conseguinte, social - próprios do final do século XVIII e início do século XIX. Na presente dissertação, voltamo-nos para o contexto específico no qual emergira o construto energia. Discutiremos, especificamente, certa parte do fenômeno romântico - em especial, a *Naturphilosophie* romântica de Schelling. Através dessa, dirigir-nos-emos ao conceito unificador energia.

Almejamos um ensino contextualizado, articulado e interdisciplinar. Enfatizamos os vínculos existentes entre a ciência e outros domínios do conhecimento humano, tais como a filosofia, a religião e a arte, por exemplo. Mediante a utilização da HFC - viés contextualista e intrinsecamente interdisciplinar -, temos por objetivo proporcionar aos estudantes uma compreensão mais adequada acerca do construto referido. Dificilmente definir-se-á o termo consensualmente. Queremos que os alunos tenham plenas condições de relacionar o mesmo com as ideias de transformação, transferência, conservação e degradação, por exemplo - ou seja, que conheçam o conceito científico de energia. Ao mesmo tempo, queremos que os mesmos conheçam um pouco sobre a NdC.

V.1 Iluminismo

A sociedade européia do século XVII atribuiu tanto à matemática quanto à técnica uma grande importância. Nesse ínterim, ambas foram tornadas vieses convenientes através dos quais poder-se-ia obter objetivamente todo e qualquer conhecimento - supostamente seguro e adequado - relacionado com a natureza - concernente aos fenômenos naturais. Progressivamente, as máquinas adquiriam um enorme valor para os homens daquela sociedade; diversos indivíduos associavam o mundo a um grande relógio. À medida que a ciência - dita moderna - avançava, o pensamento escolástico - típico do medievo - perdia um

pouco de sua força. A razão fora exaltada. Tomados por esse espírito, surgiram os iluministas (BRAGA et al., 2004).

Em certa medida, podemos dizer que o Iluminismo dominou o pensamento Europeu do século XVIII; e essa dominação é nítida, uma vez que é comum chamar-se o referido século de "Século das Luzes" (BRAGA et al., 2004; ROUANET, 1987) - período marcado por uma intensa crítica às "*instituições religiosas, sociais e políticas*" até então dominantes (GUINSBURG, 2008, p.14). As tendências, ideias, conceitos e valores apregoados por aqueles que participaram de tal movimento foram amplamente propagados à época - bem aceitos por diversas correntes filosóficas. Pode-se dizer que certos preceitos propostos por aqueles os quais costuma-se chamar de iluministas - tais como o liberalismo social, político e econômico - fomentaram outros movimentos de extrema relevância histórica, dentre os quais podemos citar a Revolução Francesa e a Revolução Industrial (HOBSBAWN, 2012).

Já de início é importante frisar, contudo, que boa parte da grande massa popular

> "*permanecia totalmente fora do alcance de qualquer linguagem ideológica que não se expressasse em termos da Virgem, dos Santos e da Sagrada Escritura, para não mencionarmos os deuses e os espíritos mais antigos que ainda se escondiam debaixo de uma fachada levemente cristã*" (HOBSBAWN, 2012, p.347).

Assim, num primeiro momento, a ideologia do Iluminismo restringira-se às elites. Os iluministas questionavam quaisquer privilégios sociais - desejavam a uniformização ou abolição desses; tais indivíduos defendiam um ideal libertário (SOLÉ, 1989). O Iluminismo marca a preponderância da razão - assinala certa empolgação com a ideia de progresso intelectual (CASSIRER, 1992); mas, não mais uma razão repleta de considerações metafísico-teológicas - tal qual aquela que dominara até então o pensamento europeu. E isso é o que mais nos interessa no movimento. Pode-se dizer que com os iluministas emergiu um novo modo de pensar o mundo; aflorara uma nova razão (BRAGA et al., 2000) - a qual esteve presente inclusive no âmbito artístico, com o classicismo (BRAGA et al., 1999). "*O primeiro passo a ser dado na direção de uma nova cultura onde a metafísica fosse totalmente banida seria reescrever todo o saber acumulado no passado à luz desse novo olhar*" (BRAGA et al., 2008, p.510).

Os iluministas rechaçaram o conhecimento oriundo do período denominado Idade Média; tais indivíduos chamaram o medievo de "Idade das Trevas". Os iluministas avivaram a ideia de um Universo-máquina. A visão de ciência mecanicista tornara-se dominante. A mecânica newtoniana - a qual possibilitara uma explicação universal tanto para os fenômenos celestes quanto para aqueles ditos terrestres - exerceu um enorme e importante papel nesse ínterim. Segundo tal visão, todos os fenômenos naturais deveriam ser remetidos ao domínio mecânico - ou seja, estudados através dos conceitos mecânicos (BRAGA et al., 2004, p.15). Newton foi venerado pelos iluministas. Newton estabeleceu alguns princípios matemáticos os

quais relacionou com certas regularidades da natureza; além disso, Newton defendera um caminho investigativo específico para a física. Segundo o caminho mencionado, dever-se-ia partir da observação direta dos fatos explícitos - dos fenômenos - para que então pudesse-se seguir rumo aos princípios ou leis matemáticas representativas e empiricamente testáveis, num processo indutivo e teoricamente livre de hipóteses (CASSIRER, 1992).

Naturalmente, após a emergência da física newtoniana, diversos indivíduos buscaram entendê-la, aplicá-la e acrescê-la (RUTHERFORD et al., 1978). Tamanho sucesso de tal construção, logo Newton foi por muitos exaltado; tamanha confiança depositada no empreendimento científico - uma vez que o mesmo trouxera ao mundo grandiosas benesses - , tal atividade passara a ser escudada pelos iluministas e dirigida ao seguinte intento: "*a construção de uma sociedade justa e livre*" (BRAGA et al., 2004). Provavelmente, poder-se-ia atingir um sucesso equivalente em outros âmbitos, pensavam os iluministas (BERLIN, 2013, The first attack on Enlightenment, 9/61); por conseguinte, o método newtoniano fora considerado universalmente válido. Os iluministas consideraram-no adequado ao atingimento de todo e qualquer saber (CASSIRER, 1992).

A influência da obra científica de Newton foi evidentemente sentida em domínios ditos exteriores à ciência (RUTHERFORD et al., 1978). No que tange à economia, por exemplo, os iluministas tomaram-na como semelhante à natureza e, consequentemente, também sujeita às leis naturais. Dessa maneira, aos economistas cabia construírem leis as quais pudessem descrever os processos mercantis e representar as regularidades desses processos (BRAGA et al., 2000).

Sabemos que o método proposto por Newton não é cabível; nem mesmo Newton conseguiu segui-lo rigorosamente. Diversas pressuposições metafísico-teológicas podem ser encontradas nos escritos de Newton - "*tão bom metafísico quanto (...) físico*" (KOYRÉ, 2011, p.271). A ideia de uma força que atua à distância - a gravidade -, por exemplo, é absolutamente hipotética - apriorística, metafísica; aquela - ideia - de um espaço absoluto também (KOYRÉ, 2011). Segundo Newton, o espaço relaciona-se com os sentidos de Deus - ou *sensorium Dei* (BRAGA et. al., 1999) - e é necessariamente absoluto - assim como o próprio suposto criador, para os que nele creem. Tal espaço é, de acordo com Newton, um órgão de Deus - o responsável pela onisciência, onipresença e onipotência divinas (CONNOLLY, 2014; DUCHEYNE, 2001).

Não há como fazer ciência sem certa dose de elementos metafísicos; todavia, os cientistas iluministas defendiam um conhecimento livre de influências metafísico-teológicas - livre de ditas superstições (BRAGA et al., 2000). Metaforicamente, à brigada iluminista coube assaltar "*a antiga ordem teológico/metafísica*", ou seja, derrubar "*velhos altares e instituições, (...) superstições e medos ancestrais para por em seu lugar a Razão ou a Humanidade*" (CEREZA, 2003 *apud* MAYOS, 2004, p.51).

Em suma, almejava-se um ideal de ciência sem metafísica (MAYOS, 2004); essa foi, segundo Braga et al. (2008, p.509), "*a grande bandeira do movimento*" referido "*no campo filosófico*", "*a negação à metafísica*". E isso como se tais coisas não fossem inerentes - naturais - aos homens. Para os iluministas, a física tão somente deveria preocupar-se com os fenômenos e com a busca por fórmulas representativas dos mesmos.

Como dito anteriormente, os iluministas veneravam Newton; tendo em vista a concretização do ideal supracitado, tendenciosamente, os iluministas omitiam certos aspectos metafísicos disseminados por toda a obra de Newton. Para os cientistas iluministas, não mais dever-se-ia explicar a natureza; assim, voltar-se-ia tão somente para a descrição supostamente exata dos fenômenos. Nesse ínterim, a análise quantitativa torna-se valorosa. Ainda no que concerne à gravitação - à gravidade -, por exemplo, os iluministas pragmaticamente diziam não importar a metafísica subjacente ao fenômeno. Tal domínio, acreditavam os iluministas, encontra-se além dos limites físicos - distante das explicações físicas. Para os iluministas, é vã a ideia, segundo a qual, algum dia tornar-se-á decifrável o âmago, os segredos por trás, a natureza ou essência das coisas (CASSIRER, 1992).

No contexto referido, emergiu o projeto enciclopedista. Liderados por D. Diderot (1713-1784) e J. d'Alembert (1717-1783), tais indivíduos reuniram num grande livro, divido em diversos volumes - a Enciclopédia (*Encyclopédie*) -, todo conhecimento dito científico até então produzido. Os escritos enciclopédicos refletiam uma visão específica acerca dos saberes cientificamente construídos. Tratava-se de uma tentativa iluminista voltada para a reorganização e divulgação dos produtos científicos à época considerados válidos; e isso sob uma nova visão, sob novas bases filosóficas. Na Enciclopédia francesa não eram discutidos quaisquer aspectos ontológicos ou metafísicos, caros à estruturação - ao atingimento - dos referidos saberes. Os Tratados (*Traités*) também foram escritos nesse contexto. Em tais escritos eram reproduzidas as colaborações científicas, contudo, sem considerações ditas supersticiosas (BRAGA et al., 2000).

"*Costuma-se considerar a conversão ao 'mecanicismo', ao 'materialismo', como o traço mais significativo da filosofia da natureza*" iluminista "*e acredita-se com frequência que basta isso para caracterizar (...) a orientação geral do espírito francês nessa época*" (CASSIRER, 1992, p.87). E isso graças aos discípulos franceses de Newton: Voltaire (1694-1778), P. Maupertuis (1698-1759), d'Alembert etc. Basicamente, a tarefa da filosofia iluminista consistiu em tentar emancipar a física - a ciência de um modo geral - da teologia (CASSIRER, 1992).

"*O materialismo do século XVII e XVIII, radicado maioritariamente nas Ciências da Natureza, em particular na física, contribuiu em grande medida para o começo da crítica da religião. Separando-se a ciência de uma metafísica de peso que determinasse o campo e leis de acção daquela, afinca-se a convicção de que o plano transcendente e imaterial de nada*

serve", por exemplo, para "*o estudo e explicação do movimento natural dos corpos*" (TOTTA, 2012, p.2).

Segundo Totta (2012, p.3 e p.8), pode-se dizer que: "*o materialismo mecânico devém de*" R. Descartes (1596-1650) - para quem a materialidade é fruto da vontade divina, tese absolutamente metafísica - e avança progressivamente ao seu estado "*de cariz anti-metafísico*" setecentista e oitocentista; "*paralelamente*", a "*metodologia científica*" proposta por F. Bacon (1561-1626), "*baseada na experiência sensível*" e fortemente subordinada à razão, pode também ser vista como precursora do materialismo.

Ainda de acordo com Totta (2012, pp.6-7), resulta do avanço ao materialismo setecentista e oitocentista o reconhecimento: de que tudo advém exclusivamente da realidade material; do homem enquanto um produto da natureza, por essa determinado durante a experiência sensível.

É interessante notar que talvez o problema fosse muito mais o conformismo à época disseminado pela religião do que, de fato, certos argumentos teológicos - metafísicos - presentes nos escritos científicos. A religião fornecia certa estabilidade social para as monarquias e aristocracias. A Igreja amparava grandemente o trono, uma vez que disseminava tal conformismo. Aos analfabetos e religiosos cabia, segundo o pensamento religioso então amplamente difundido, viverem "*contentes na pobreza para a qual Deus os havia conclamado, sob a liderança de governantes que lhes foram dados pela Divina Providência*" (HOBSBAWN, 2012, p.364).

Omitir - ou mesmo rechaçar abertamente - quaisquer considerações teológicas presentes nos escritos científicos, separar definitivamente a religião da ciência, exaltar a razão em detrimento da fé, exaltar a ciência... Assim, "cortar-se-ia o mal pela raíz", supunham os iluministas. O crítico pensamento iluminista aventara uma reforma social - um novo projeto social. Tal pensamento voltou-se para o Antigo Regime (*Ancien Régime*), para o estado das coisas à época vigente e, por conseguinte, fomentou a Revolução Francesa (FLORENZANO, 1981). A Escola Politécnica de Paris (*École Polytechnique*) - uma escola de engenharia - foi fruto da Revolução Francesa, assim como o sistema métrico e a Enciclopédia, por exemplo (HOBSBAWN, 2012). Um dos objetivos nutridos pelos revolucionários fora a construção de "*uma sociedade onde a razão, e em especial a razão científica, fosse o grande princípio educativo*". A Escola Politécnica foi erigida tendo em vista tal intuito. Numa sociedade onde a visão mecanicista de mundo impera, "*nada melhor que um engenheiro (...) para gerenciá-la*" (BRAGA et al., 2008, pp.511-512).

V.2 Revolução Francesa

A Revolução Francesa foi uma revolução "*incomensuravelmente mais radical do que qualquer levante comparável*" (HOBSBAWN, 2012, p.99). Tal movimento - revolucionário e político - antecedeu um profundo processo econômico e social (FALBEL, 2008). Notadamente, a Revolução Francesa impulsionou grandemente a Alemanha (SAFRANSKI, 2010). O sentimento nacionalista pré-romântico certamente representara esse impulso.

A França era ainda agrária e feudal às vésperas da Revolução Francesa. Estamental, a sociedade francesa era rigidamente hierarquizada. Nesse tipo de estrutura sócio-econômica, ao clero e à nobreza eram concedidos todos os privilégios possíveis. Camponeses e a grande maioria burguesa eram explorados - sustentavam as classes pertencentes ao topo da pirâmide social. A burguesia almejava integrar a classe aristocrática - intentava elevar-se socialmente; paulatinamente os burgueses aderiam aos ideais reformistas iluministas. Pouco a pouco a burguesia voltava-se contra os monarcas absolutistas. Crescia progressivamente o descontentamento daqueles que pertenciam à classe burguesa (FLORENZANO, 1981).

Em decorrência das constantes explorações, na numerosa classe campesina também existia uma grande insatisfação. Os camponeses "*pagavam impostos ao Estado, dízimos à Igreja e direitos feudais à nobreza*" (FLORENZANO, 1981, p.25); tais indivíduos - camponeses - "*eram atingidos pela carestia, fome e alta dos preços dos gêneros de primeira necessidade*" (FLORENZANO, 1981, p.28). De modo consequente, o campesinato encontrava-se à beira da revolta.

Nesse ínterim, uma grave crise já acometia a economia francesa. A monarquia absolutista encontrava-se decadente. Pouca antes da Revolução Francesa houve um agravamento das situações sociais - uma profunda crise econômica. Um inverno demasiadamente rigoroso agravara ainda mais tal situação econômica periclitante. A grande insatisfação popular, as exigências dos camponeses, dos pequenos burgueses e dos artesãos culminaram "no início do fim" do absolutismo (MELLO; DONATO, 2011). Os monarcas propuseram "*uma reforma urgente do sistema fiscal do reino*" - reforma a qual "*implicava tocar nas imunidades fiscais das ordens privilegiadas*".

A reforma mencionada "*dependia da 'boa vontade' da aristocracia, a classe no poder*" (FLORENZANO, 1981, p.32). Justifiquemos tal dependência: os aristocratas pouco a pouco atingiram o controle parlamentar. Dessa maneira, quaisquer decisões políticas somente poderiam ser empreendidas mediante a total aprovação da aristocracia. No que concerne à reforma solicitada pelos monarcas, os aristocratas a negaram. A aristocracia queria dominar plenamente o Estado, contudo, com isso favorecia o processo revolucionário. A crise política interna francesa culminara na Revolução (HOBSBAWN, 2012).

O quadro era extremamente favorável aos burgueses. Era a oportunidade tão esperada pela burguesia - que logo difundiu suas ideias, ou seja, seu programa de reforma baseado em uma nova ordem. A burguesia levara otimismo à grande massa - oprimida - formada pelo campesinato e pelos ”*sans-culottes*“ - como eram chamados os trabalhadores pobres, pequenos artesãos, lojistas, artífices, pequenos empresários etc.; esperançosos e juntos, tais indivíduos desejaram fortemente dias de liberdade, igualdade e fraternidade.

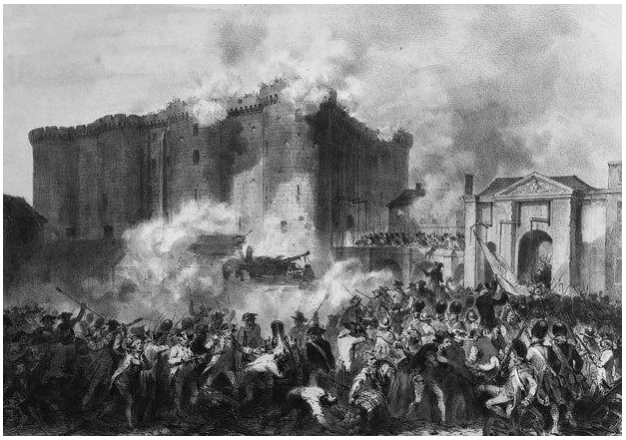


Figura V.1 - Tomada da Bastilha.

“*Em tempos de revolução nada é mais poderoso do que a queda de símbolos*” (HOBSBAWN, 2012, p.110); e um grande símbolo - do Antigo Regime francês - da monarquia francesa fora acometido. A Bastilha foi tomada em 14 de julho de 1789. A tomada da Bastilha teve tanto uma motivação prática - a de resgatar as armas então presentes em seu interior - quanto simbólica - a de ocupar um dos expoentes máximos do Absolutismo. A queda da bastilha, uma antiga prisão política, simbolizava a libertação. Menos de um mês depois, a Assembléia Constituinte promulgou a Declaração dos Direitos do Homem e do Cidadão (MELLO; DONATO, 2011).

Do interior da Revolução Francesa sobressaltou-se o jacobino M. Robespierre (1758-1794). O Estado francês esteve sob o domínio dos jacobinos durante o período conhecido como República Jacobina ou “O Terror”. Durante tal período - que teve início em 1792 - houve uma evidente radicalização - intensificação da violência - no seio da Revolução Francesa. Aqueles ditos inimigos da Revolução eram conduzidos à guilhotina. O rei Luís XVI foi guilhotinado em 1793. Em 1794, o então deputado G. Danton (1759-1794), que propunha um rumo mais moderado para a Revolução, também - literalmente - perdeu a cabeça. Em decorrência do claro extremismo - da violência excessiva -, com o passar do tempo, Robespierre e os jacobinos se isolaram no poder - perderam boa parte do apoio da grande massa popular. Vulnerável, ainda em 1974, Robespierre fora decapitado por seus inimigos políticos. A Revolução Francesa perdia aos poucos suas razões iniciais (MELLO; DONATO, 2011).

Os girondinos - ou seja, a oposição aos jacobinos - retornaram ao poder. E assim mantiveram-se durante todo o período conhecido como Diretório. Em tal período, diversas foram as agitações sociais. Os girondinos encontravam-se impotentes frente à grande profusão de episódios os quais eclodiam em pontos variados do território francês. Napoleão (1769-1821) - já à época um conhecido general militar - foi eleito aquele que, acreditava-se, conteria os ânimos da grande massa desajustada - daria fim à agitação referida. Primeiramente, Napoleão tornara-se cônsul. Dentre seus feitos, Napoleão criara o Banco da França - um significativo símbolo da estabilidade burguesa -, o franco e o liceu - uma espécie de escola técnica pública, destinada à formação de mão-de-obra especializada. Pouco adiante, Napoleão tornara-se imperador da França. Napoleão surgiu como grande herói para terminar como enorme opressor (FALBEL, 2008).

Napoleão almejava uma disputa econômica com os ingleses industriais. Em meados do século XVIII, a Inglaterra já havia iniciado sua Revolução Industrial; à época, era o Estado europeu mais bem sucedido economicamente - de grande poderio econômico (HOBSBAWN, 2012). Para cumprir com seu intento, militarmente, Napoleão promovera uma expansão territorial; Napoleão implementou o chamado Bloqueio Continental. Tal bloqueio proibia a comercialização dos diversos países europeus dominados pela França com a Inglaterra. Napoleão queria expandir seu domínio, translar o eixo comercial hegemônico, voltar o processo comercial predominante para a França. Alguns países, como Portugal, não romperam os laços comerciais com os ingleses. Esse episódio relaciona-se diretamente com a transferência da corte real portuguesa para o Brasil. A partir de então inicia-se a decadência napoleônica, a qual finda em 1815.

V.3 O Romantismo

O que foi o Romantismo? Um movimento literário "*vasto e complexo*" (VOLOBUEF, 1999, p.12)? "*Uma escola, uma tendência, uma forma, um fenômeno histórico, um estado de espírito*"? Uma época, um movimento intelectual e cultural (HADZIGEORGIOU; SCHULZ, 2014)? Certa visão de mundo? "*Provavelmente tudo isto junto e cada item separado*" (GUINSBURG, 2008, p.13). O movimento referido não se restringira ao âmbito literário. Tratava-se de algo muito mais abrangente: um movimento amplo que transformara o "*pensamento do mundo ocidental*" (BERLIN, 2013, In search of a definition, 3/54); uma revolução do pensamento humano (BERETTA, 2014). De acordo com Berlin (2013, Foreword, 7-8/22), o Romantismo "*foi a maior transformação da consciência ocidental*". Dificilmente poder-se-ia definir o movimento romântico com poucas palavras. Tanto a postura quanto as ideias daqueles - intelectuais - os quais compuseram tal movimento refletem as características do mesmo. Richards (2002, pp.6-7) afirma que qualquer tentativa de definição

ofusca a riqueza, a "*diversidade de um movimento que envolveu indivíduos extraordinários (...) e a prodigalidade de suas idéias*".

Segundo Fedeli (2004), é possível iniciar o estudo do Romantismo dizendo que tal fenômeno buscara definir o indefinível. Os românticos - para além do óbvio - pretendiam conhecer o incognoscível - mais do que tão somente conhecer o cognoscível, desejaram atingir o aparentemente inatingível; e tal conhecimento do incognoscível, supunham os românticos, traria ao homem um saber supremo - quiçá mais do que isso, o conhecimento absoluto; os românticos não acreditavam que tal saber pudesse ser atingido através de um processo indutivo - por meio de um simples acúmulo progressivo de fatos. Para o atingimento de tal saber, conjucturaram, é necessário um aprofundamento do homem em si mesmo; como Rousseau - talvez "*o grande percursor do Romantismo*" (BORNHEIM, 2008, p.80) -, nisso acreditavam. Tendo em vista aquilo que apregoara Rousseau, "*na subjetividade se encontra o absoluto. Não é necessário sair de si para descobrir os segredos da natureza*" (BARBOZA, 2001, p.266); o homem deve empreender uma busca pelo divino que nele mesmo habita, criam os românticos (BORNHEIM, 2008). Alguns historiadores - tais como H. Read (1893-1968) e K. Clark (1903-1983) - consideram o Romantismo um estado de espírito ou disposição mental permanente; e tal estado ou disposição pode aflorar-se a qualquer momento, em qualquer época - não restringindo-se a um período específico (BERLIN, 2013, In search of a definition, 13/54). Não concordamos com a visão sobressaltada anteriormente. Preferimos conceber o Romantismo convencionalmente, como um fenômeno exclusivo e respectivo a um determinado momento histórico.

Pode-se dizer que o Romantismo "*surgiu num dado momento, em condições concretas*" e como resposta a algo - durante o período de sua ascensão, vigente (GUINSBURG, 2008, p.14). O período correspondente ao final do século XVIII e às primeiras décadas do século XIX abarcara tanto a ascensão quanto a propagação de certa escola européia - bastante influente - de pensamento, o Romantismo. Esse amplo movimento emergiu na Alemanha e espalhou-se pela Europa no final do século XVIII. Tal "*fato histórico*" ou "*evento sócio-cultural*" (GINSBURG, 2008, p.14) fora mais intenso na Alemanha. Os primeiros românticos estabeleceram-se em Jena (SILVEIRA, 2012); Berlim, Dresden, Munique e também a região da Suábia foram relevantes centros românticos (SAFRANSKI, 2010). O Romantismo iniciara sua "escalada" com a publicação da revista *Athenäum* - embora, para Pupi (2002), tal momento já fosse o ápice do movimento discutido -, entre 1798 e 1800 - ou seja, na mesma época em que Napoleão chegara ao poder na França (FEDELI, 2004).

De acordo com Berlin (1996, p.168), durante tal período - que abarca o final do século XVIII e início do século XIX -, ocorrera uma revolução "*na história do pensamento político ocidental, na história do pensamento e comportamento humano*" - relacionada com a própria

emergência do movimento romântico. Segundo Hadzigeorgiou & Schulz (2014, p.3), "*não seria um exagero dizer que este movimento iniciou uma revolução cognitiva*". O Romantismo promovera grandes mudanças nas artes, na literatura e em diversos outros domínios - tais como ciência e filosofia, por exemplo. O Romantismo estendeu sua influência a diversos domínios do pensamento novecentista - artístico, filosófico, religioso, científico, político, econômico etc. (D'ANGELO, 1998; FEDELI, 2004).

O discurso romântico é muitíssimo simbólico (HOBSBAWN, 2012). Guinsburg (2008, p.16) diz que o Romantismo "*se apresenta envolto (...) em nebulosas mitopoéticas*". De acordo com Berlin (2013), houve nesse contexto uma revalorização dos mitos; através dos mitos, acreditavam os românticos, os seres humanos poderiam representar os mistérios inefáveis, divinos e naturais. Os escritos românticos são repletos de alegorias, metáforas e analogias. Para os românticos, a natureza é uma poesia codificada em forma de secretos e símbolos misteriosos - mais do que isso, a natureza comunica-se através de tais formas e símbolos. Por conseguinte, admitiam os românticos que certas idealizações necessitam de um tratamento velado, ou seja, precisam ser expressas numa linguagem igualmente simbólica - metafórica (FETZ, 2012).

A revelação dos sigilos da natureza - da essência natural, por exemplo - requer, segundo os românticos, certos mecanismos adequados, capazes de promover tal revelação sem deturpação alguma. A poesia e a pintura foram muitíssimo valorizadas pelos românticos; e isso, pois foram tomadas como expressões apropriadas ao desvelamento supracitado. Para os românticos, ambas conectam a natureza à alma; e dessa relação - natureza-alma -, acreditavam, é possível a emergência de um conhecimento universal. As artes eram consideradas expressões elevadíssimas da sensibilidade (TOLLE, 2011). Diz Berlin (*apud* HARDY, 2013, Editor's preface, 7/25) que o período romântico foi aquele no qual "*as artes dominaram outros aspectos da vida, quando houve certa tirania da arte sobre a vida*". Segundo Schlegel (*apud* ZAMMITO, 2004, p.427) - ícone e um dos pioneiros do movimento -, toda "*arte deve tornar-se ciência e toda ciência, arte; poesia e filosofia devem ser tornadas uma*". De certo modo, tal hegemonia das artes representa a essência do movimento romântico. Tanto a poesia quanto a pintura eram tidas como potencialmente efetivas, capazes de revelar o íntimo do espírito natural, ou seja, de desvendar as forças subjacentes ao todo (FETZ, 2012). Para Schelling, a melhor via de acesso ao absoluto - Deus e tudo - é a arte (TORRES FILHO, 1979). Numa visão aristotélica, a poesia é um discurso filosófico, cujo objeto elementar é a verdade - e nisso acreditavam os românticos.

De maneira ampla, o Romantismo foi um movimento: intelectual; cultural; "*crítico, rebelde, inquisitivo, revelador*" (VOLOBUEF, 1999, p.12); reativo; controverso; de oposição; que abrangera o cenário científico das principais nações européias do período supracitado. Segundo Baumer (1990), talvez o Romantismo tenha sido o primeiro grande movimento de

oposição ao dito mundo moderno - contrário à civilização científico-racional pós-século XVII. Tal movimento reagiu à tendência analítica - ou fragmentadora do todo - moderna. A reação fora um traço marcante do Romantismo - movimento contrário à visão de mundo racionalista-iluminista do "Século das Luzes".

O fenômeno romântico acometera a crença iluminista, segundo a qual, quaisquer questões - fossem essas éticas, morais, políticas, teológicas etc. - poderiam ser solucionadas, mesmo que com relativa dificuldade. Contudo, pensemos no seguinte: Quais devem ser os direitos e deveres comuns a todos os homens? Deve ou deveria um homem obedecer a outro homem qualquer? Se sim, por quê? O que é liberdade? Devemos perseguir ou reivindicar tal liberdade? Se sim, de que maneira? De que maneira podemos relacionar a segunda pergunta, a quarta e a quinta? Deus existe? Dificilmente encontrar-se-ia um consenso nas respostas às perguntas anteriores. O que é bom ou certo para alguém, é possível que não seja bom ou certo para outrem. Assim, os românticos opuseram-se à crença iluminista supracitada. Com o Romantismo, emerge um novo conjunto de valores os quais permanecem até os dias de hoje vívidos (BERLIN, 1996).

Segundo Falbel (2008), o Romantismo foi - também - fruto das Revoluções Francesa e Industrial; e isso, uma vez que tais revoluções provocaram e geraram novos processos. Ainda de acordo com Falbel (2008), tais processos resultaram na formação de uma nova sociedade, com novos ideais, organizada - hierarquicamente, culturalmente, politicamente e economicamente - de maneira distinta de tudo aquilo até então conhecido. O período que abarca as Revoluções Industrial e Francesa foi repleto: de agitações intelectuais - aparentemente - positivas; de avanços científico-tecnológicos. Apesar disso, Rousseau enchergara em tais avanços - por exemplo - um "combustível" para a corrupção - em detrimento da moral. O ideal - libertário, igualitário e fraterno - revolucionário francês cativara os românticos (SAFRANSKI, 2010); a tirania - os "*massacres, as imagens da prepotência*" - napoleônica, imediatamente conseguinte, causou-lhes - nos românticos - enorme repulsa, acompanhada por certo sentimento de desencanto (PUPI, 2002, p.624). Diz Mayos (2004, p.5) que os românticos efetivaram "*no mundo das idéias e da cultura*" aquilo que os franceses revolucionários empreenderam "*no campo político*". Os românticos - "que viveram a experiência universitária e o início de sua militância cultural entre os *slogans* da revolução da França" (PUPI, 2002, p.624) - almejavam a efetivação do ideal revolucionário referido, contudo, apregoaram a impossibilidade temporária de tal realização - e isso, pois consideravam incompleta a Revolução promovida em solo francês: o "*advento do primado da justiça e da liberdade*" fora adiado. A Revolução não conduzira à libertação plena; Fichte - entusiasta da Revolução Francesa - apontara "*Napoleão como traidor dos ideais de liberdade e (...) instaurador do primado da autoridade*" (TORRES FILHO, 1980, p.VI). Não houve igualdade e nem fraternidade entre todos os franceses.

Primeiramente, o homem deve libertar-se internamente - de suas amarras internas -, acreditavam os românticos. Somente em seguida poder-se-ia concretizar - plenamente - a desejada libertação exterior, o atingimento de certo estado absolutamente ético e, por conseguinte, ideal. Rousseau defendera que o sentimento é o fator fundamental à vida individual - algo que aponta tanto para uma supremacia do sentimento quanto para uma relativa inferioridade da razão; essa (razão) depende daquele (sentimento), afirmara Rousseau. Ainda segundo Rousseau, somente através dos sentimentos podem ter algum sentido as ideias e o mundo racional (BORNHEIM, 2008). Rousseau também pressupôs a existência de uma conexão - uma relação intrínseca - entre o sentimento interior humano e a natureza; a natureza - para Rousseau, uma espécie de genitora ou matriz hominal - ocupa um lugar central na obra de Rousseau (MORIN, 2005).

Ao defender que a compreensão da natureza somente seria possível mediante o caminho da interioridade - através do voltar-se para dentro, da interiorização -, Rousseau promovera uma ideia absolutamente oposta àquela defendida por Descartes, assim como bastante distinta daquela apregoada pelos enciclopedistas. Tanto Descartes quanto esses últimos (enciclopedistas) concebem a natureza como algo exterior, objetivo, possivelmente racionalizado e matematizado (BORNHEIM, 2008). Descartes pode ser considerado o fundador do racionalismo moderno - alguém que defendera a razão como via através da qual poder-se-ia atingir de maneira segura certo conhecimento (SILVEIRA, 2002).

Segundo F. Schiller (1759-1805) (2006), a libertação interna dos homens dar-se-ia através da arte, do belo, do estético. Para Schiller, a arte "*se apresenta com uma missão pedagógica, redentora do homem*" (BORNHEIM, 2008, p.93). Schiller influenciara grandemente os românticos. De acordo com Hadzigeorgiou & Schulz (2014), Schiller fora um dos que mais influenciaram a fundação de uma ciência romântica. Já em Schiller pode ser percebida uma visão de natureza distinta daquela dos cientistas modernos. Para Schiller, "*a natureza nos inspira com uma espécie de amor e emoção respeitosa*" - "*o objeto que nos inspira com esse sentimento deve ser realmente a natureza*" (SCHILLER, 2006, p.1). Há forte carga emotiva nas obras românticas Os românticos: sobrevalorizavam as emoções - os sentimentos lhes eram caros; tentavam exprimir por meio de palavras aquilo que sentiam quando em contato com a natureza (FETZ, 2012); opuseram-se à soberania - supremacia - da razão (NUNES, 2004); exaltaram o sentimento e as emoções em detrimento da razão e dos frios cálculos (BORNHEIM, 2008; BRAGA et al., 1999; FETZ, 2012); abandonaram "*as severas armas da reflexão metódica*" em prol da imaginação artístico-poética - da genialidade (PUPI, 2002, p.622); opuseram-se às "*secas realidades racionais do universo físico-matemático*" - originadas pela visão moderna de natureza e de ciência (GUINSBURG, 2008, p.16); opuseram-se ao "*resoluto raciocínio mecânico e materialista do século XVIII*" (HOBSBAWN, 2012, p.413); combateram os valores característicos de seu tempo

(BORNHEIM, 2008); buscaram edificar uma nova forma de viver a vida, de pensar e encarar o mundo (SILVEIRA, 2012).

O Romantismo denunciara os excessos do materialismo, as ilusões do objetivismo ingênuo; mas, não rechaçaram completamente a razão. O "*descaso completo à razão é incompatível com o (...) sentido de totalidade, de integração harmonizadora*" próprio do movimento romântico (BORNHEIM, 2008, p.95). Os românticos concebiam o caminho estritamente racional como uma espécie de confinamento - algo absolutamente oposto aquilo que apregoavam os iluministas. Afirma Morin (2005, p.25) que o Romantismo era

> "*o jorro daquilo que foi rejeitado pelo Iluminismo. O espírito de comunidade, a relação mística com a natureza, as virtudes do fenômeno religioso, enfim, coisas que realmente aparecem como uma espécie de reabilitação da Idade Média*".

Os escritos românticos evidenciam certa nostalgia - algo que está no âmago da atitude romântica. Os românticos mencionaram em suas obras diversas sociedades e povos de tempos remotos, anteriores ao movimento - como se em algum momento pretérito as características nefastas da modernidade ainda não existissem e os valores humanos sufocados na modernidade prevalecessem -, épocas passadas, tais como: a Idade Média - privilegiada pelos primeiros românticos alemães, os quais inclusive tomaram a palavra Romantismo em decorrência do romance cortês medieval; a Antiguidade grega e romana; a Renascença inglesa; o Antigo Regime francês; algumas sociedades primitivas, como o povo hebreu dos tempos bíblicos etc. (LÖWY; SAYRE, 1995)

O Romantismo, mais que "*um impulso de nova vitalidade, parece uma espécie de beleza de decadência*" (PUPI, 2002, p.622). Muitos românticos nutriam certo sentimento de perda - aparentemente, buscavam algo perdido, tentavam reencontrar ou recriar um estado dito ideal e do passado, uma espécie de "paraíso perdido" no qual imperava a plenitude do todo, a harmonia entre os humanos e a natureza (LÖWY; SAYRE, 1995). Para o romântico, importava recuperar a unidade perdida entre os homens e a natureza. Para Mayos (2004), há no ideário romântico uma forte tendência harmonizadora - assim, busca-se incessantemente uma conciliação, uma síntese. Os românticos respeitavam e veneravam a natureza (MAYOS, 2004). Para os românticos, os cientistas modernos promoviam tão somente a desarmonia, visto que dessacralizavam a natureza - tornavam o mundo um objeto de análise. A análise extrema, ou seja, a fragmentação do todo ocasionara a perda de tal unidade, acreditavam os românticos. Tal retorno ao passado relaciona-se com a crítica romântica à modernidade - à razão dominante iluminista (BRÜSEKE, 2004).

Os românticos - dentre os quais podemos citar F. Schlegel (1771-1829), quiçá o iniciador do movimento (BORNHEIM, 2008), A. Schlegel (1767-1845), Novalis (1772-1801), F. Schleiermacher (1768-1834) e F. Schelling (1775-1854) - formavam "*um grupo extremamente seleto*" de indivíduos os quais defendiam a liberdade individual - algo que reflete-se

naturalmente na heterogeneidade evidente do movimento (SILVEIRA, 2012, p.115). Assim, talvez seja possível elencar um romantismo para cada autor romântico. Sem dúvida, dentre tantas inclinações, existem características marcantes - distintivas e gritantes -, ideias compartilhadas, certo sentido comum e que perpassa as obras originadas pelos românticos. Tal sentido representa um eixo principal em torno do qual encontram-se os fundamentos constitutivos daquele que poderia ser chamado de saber filosófico sistemático romântico. F. Schelling (1775-1854) foi um dos principais responsáveis pela organização do referido saber.

O fenômeno romântico foi anticapitalista (HOBSBAWN, 2012). De acordo com Hobsbawn (2012, p.414), para os românticos, o mundo burguês havia dissolvido grandemente os vínculos entre os homens. Entre esses permanecia tão somente um laço frágil, mantido pelo "*puro interesse pessoal*" - pelo "*insensível 'pagamento em espécie"*". De acordo com Bornheim (2008), uma característica fundamental - talvez a principal - do movimento romântico fora a preocupação com a questão da unidade - dos homens, da nação, da ciência, do todo... Essa questão motivara tanto os *Stürmer* quanto os românticos. J. Herder (1744-1803) costuma ser apontado como um dos que mais fortemente incitaram a concretização do movimento romântico. Foi um crítico ferrenho do Iluminismo e da ciência dita moderna - os quais, segundo o próprio Herder, privilegiavam a razão em detrimento das paixões, das sensações, do homem integral, do todo (TOLLE, 2011). A obsessão pela ideia de totalidade também foi um traço característico do movimento referido. Nessa busca pela totalidade - pelo universal, pela integração total e plena -, filosofia, arte, religião e ciência se misturam - e até mesmo se confundem - no discurso romântico. Os termos totalidade e unidade são muitíssimo importantes nesse contexto. Os românticos atribuíram um grande valor à ideia de totalidade, ou seja, de unidade do todo; e isso refletiu-se na visão de natureza - e, por conseguinte, dos fenômenos naturais - nutrida pelos mesmos.

A Alemanha ainda não era um país unificado à época da eclosão do *Sturm und Drang*; dividia-se em pequenos reinos, principados, ducados etc. Não havia uma capital. Tudo encontrava-se fragmentado (SAFRANSKI, 2010). Somente de príncipes, a Alemanha tinha em torno de trezentos (BERLIN, 2013, The first attack on Enlightenment, 35/61). O *Sturm und Drang* foi crucial, no que tange ao despertar de uma consciência nacional alemã. Foi uma reação nacionalista (HOBSBAWN, 2012). Com o *Sturm und Drang* iniciou-se um processo de valorização da cultura nacional alemã e com o Romantismo a Alemanha atingiu sua máxima maturidade cultural.

"*O Sturm und Drang foi, sem dúvida, um grande precursor do Romantismo*" (BORNHEIM, 2008, p.82). Os românticos continuaram aquilo que pela geração - pré-romântica - do *Sturm und Drang* havia sido iniciado (SAFRANSKI, 2010). O *Sturm und Drang* fora oficialmente despertado a partir de algumas propostas do jovem Herder (BORNHEIM, 2008). Os *Stürmer* - aqueles que integravam o movimento - valorizavam "*especialmente o*

efeito da emoção, imediato e poderoso" (SAFRANSKI, 2010, p.15); os *Stürmer* atribuíam ao sentimento um enorme valor e, por isso, o elevaram, puseram-no acima da razão (BORNHEIM, 2008; SOLÉ, 1989). Com o *Sturm und Drang* foram proclamados os direitos do sentimento e combatidas as frias regras da razão (BEISER, 1987). Herder foi muito influente na Alemanha do final do século XVIII, sobretudo no que tange às questões de língua - através da qual, segundo Herder, os homens se uniram e as leis puderam ser formadas (ROVIGHI, 2002) - e de arte. Dentre diversas coisas, Herder propusera uma ruptura com o classicismo francês - ainda amplamente em voga à época. Com Herder avançava um movimento de reação - ou revolução - intelectual com intensas implicações sociais e políticas (DUARTE, 2004).

No interior do movimento *Sturm und Drang* - "*num momento em que*" o avanço industrial "*e o modo de vida urbano envolviam cada vez mais rapidamente as populações européias*" (DUARTE, 2004, p.7) - Herder defendera um retorno à natureza - ao natural, algo próximo daquilo que apregoara Rousseau na França (BECKENKAMP, 2006). Herder fomentou, dentre outras coisas, uma reflexão crítica e direcionada à presença de traços culturais latinos - majoritariamente franceses - em solo alemão, numa tentativa evidente de marginalizar todo e qualquer possível elemento de entrave ao surgimento de um pensamento característico - distintivo - alemão (HOBSBAWN, 2012). Tais elementos culturais predominavam à época na Alemanha; e, para Herder, envultavam aquilo que poder-se-ia considerar como próprio da raíz cultural alemã (BORNHEIM, 2008). Herder elevou o cenário intelectual alemão - conduziu-o a outro patamar. Junto a J. Fichte (1762-1814), Herder integrara o contexto primitivo do nacionalismo alemão - de transição progressiva rumo à valorização cultural e consolidação de uma identidade nacional, propriamente alemã; no contexto mencionado floresceu grandemente - e em especial - a filosofia alemã (PAULA, 2008).

De acordo com Berlin (*apud* HARDY, 2013, Editor's preface, 7/25), a importância do movimento romântico é devida à grande quantidade de fenômenos atuais os quais evidenciam a permanência de certas características do movimento referido: "*nacionalismo, existencialismo, admiração por homens notáveis, admiração por instituições impessoais, democracia, totalitarismo*" etc.; no que tange à educação, salientamos, por exemplo, a interdisciplinaridade. Os românticos escudavam as manifestações - individuais ou coletivas - apaixonadas. A exposição transparente e fervorosa daquilo que certo indivíduo nutre dentro de si - valores, pensamentos, ideologia, por exemplo - era dignificada pelos românticos; através de tal postura, surgira um culto de admiração à autenticidade - o qual enxergava virtude no fanatismo, uma prática humana então considerada sincera, decorrente de um comprometimento extremo, de uma entrega máxima. Obviamente, esse aspecto do movimento discutido é bastante perigoso (GRAY, 2013) - e isso, pois pode ser

demasiadamente danoso. Segundo Gray (2013, Preface, 8/16), para alguns - dentre os quais podemos citar F. Havek (1899-1992), K. Popper (1902-1994) e J. Talmon (1916-1980) - "*os românticos foram os progenitores do irracionalismo político moderno*". Para os românticos, a irracionalidade - onde encontra-se a salvação, de acordo com J. Hamann (1730-1788) - é uma força positiva (BORNHEIM, 2008). Berlin (2013) afirma que a ordem racional era incapaz de corresponder aos anseios mais íntimos da alma romântica.

Algumas ideias românticas "alimentaram" certos movimentos antiliberais - como o fascismo e o nazismo (BERLIN, 2013). Para os românticos, a moderação jamais foi uma opção. Tais indivíduos lutavam desmedidamente pelas crenças que nutriam (MAYOS, 2004). Curiosamente, segundo Berlin (2013), o Romantismo - movimento naturalmente dual - também nutriu o pensamento liberal - o renovou. A tolerância é um traço marcante romântico; e isso, uma vez que são tão diversos os ideais humanos. A ideia de todo orgânico implica numa coexistência pacífica e necessária frente às diferenças aparentes. Pensemos no corpo de um humano normal - um organismo com um cérebro, um coração, dois pulmões, dois braços etc., cada qual com sua especificidade. Pensemos agora num continente ou em parte desse habitada pela espécie *Homo sapiens*. Num continente existem diversos países; tais países possuem diferenças territoriais e climáticas, traços étnicos peculiares, línguas, hábitos, tradições, culturas e crenças particulares... Todavia, apesar das diferenças relacionadas, todo o território é habitado por homens e mulheres os quais, grosso modo, possuem diversas similitudes; ou seja, em meio à tanta diversidade, pode-se identificar certa unidade, algo que inter-relaciona os indivíduos considerados.

Dentre aqueles que inspiraram grandemente o pensamento de Herder, destacamos I. Kant (1724-1804) e Hamann (ROVIGHI, 2002) - o qual citamos brevemente num momento anterior. "*Enquanto Kant, na sua fase anterior à crítica, escrevia especulações cosmológicas sobre o surgimento do universo, dos sistemas solares e da Terra (...), Herder sentia-se intelectualmente ligado a ele*" (SAFRANSKI, 2010, p.24). Kant foi professor de Herder, assim como Hamann. Foi Kant quem apresentou a obra de Rousseau a Herder (CLARK, 1955), por exemplo. As ideias de Rousseau influenciaram consideravelmente os participantes do *Sturm und Drang* - e, por conseguinte, os românticos (HOBSBAWN, 2012). Mas, segundo Bénac (1963), em Rousseau, a razão ainda equilibrava o sentimento.

Hamann foi um dos fomentadores do *Sturm und Drang*. Segundo Berlin (2013), Hamann foi fundamental para a emergência do movimento romântico; diversos temas caros tanto aos *Stürmer* quanto aos românticos foram primeiramente esboçados por Hamann. Pode-se dizer que certas ideias de Hamann influenciaram os românticos consideravelmente - tais como aquelas as quais se opunham ao classicismo, que defendiam uma suposta fragilidade da razão, "*a apoteose da arte, intuição e gênio*" (BEISER, 1987, p.34). De acordo com Rosenfeld & Guinsburg (2008), o Romantismo também foi um movimento anticlassicista.

Os românticos escudaram a passagem de uma visão dita clássica - racionalmente dirigida ao mundo natural e social - para uma romântica - mais passional e também dirigida ao mundo natural e social. Dentre tantos românticos que opuseram-se - veementemente - ao classicismo, podemos citar, por exemplo, o pintor espanhol F. Goya (1764-1828). Goya criticara fortemente a razão - a qual, à época, instaurara um "*despotismo laico*" (GUERRA et al., 1998, p.38):



Figura V.2 - *El suenõ de la razón produce monstruos* (GOYA, 1799).

Ainda no que concerne a Hamann, para esse, o gênio - mencionado anteriormente - "*é indefinível e a sua força é a força da própria natureza*" (BORNHEIM, 2008, p.82). De um modo geral, o gênio é como: "*uma capacidade criativa*" (SÜSSEKIND, 2009, p.6); um "*talento*" (MOURA, 2011, p.117) ou "*faculdade produtiva que pertence à natureza do artista*" (SÜSSEKIND, 2009, p.6); certo impulso inerente à própria personalidade - fantasiosa, sensível, intuitiva, imaginativa, imprevisível... de alta complexidade psicológica - do artista - "*investido de missão por lance do destino*" (GUINSBURG, 2008, p.15). Para Kant, o gênio é: um "*dom natural*"; "*inata disposição de ânimo*" (*apud* SÜSSEKKIND, 2009, p.5); "*uma 'dádiva da natureza' (...) independente da vontade do homem*" (MOURA, 2011, p.117). O gênio opõe-se à imitação - "*nunca adota as regras ou as formas prontas da tradição*" -, tem como característica a originalidade (*apud* SÜSSEKKIND, 2009, p.5). Segundo Hamann, a razão jamais conseguiria alcançar o gênio - somente o inconsciente pode atingi-lo (BORNHEIM, 2008).

De acordo com Süssekind (2009, p.6), não há uma definição precisa - consensual - para o termo referido; o mesmo é bastante geral. Diversas vezes foi - e ainda é - utilizado "*não apenas a propósito de artistas*". A ideia de gênio relaciona-se com as "*grandes realizações individuais que têm como marca a inventividade*" - como se o artista "genial" fosse conduzido por um "impulso" ou "força estranha", algo que o move ao longo de um processo que resulta num produto artístico: numa apreciável obra de arte, por exemplo. Tanto o artista como o poeta genial são como sacerdotes; e isso, pois comunicam - ou seja, estabelecem uma ponte entre - o finito e o infinito (BORNHEIM, 2008). Através da intuição

artística - algo como uma experiência mística - emerge a obra de arte (FEDELI, 2004). G. Hegel (1770-1831) (*apud* SÜSSEKIND, 2009, p.3) afirma que, se o artista "*pensa de modo filosófico realiza uma atividade justamente oposta à arte*". Segundo Kant, com a ideia de gênio artístico relaciona(m)-se: o talento; a originalidade; os produtos exemplares; as criações inexplicáveis; e a restrição à arte (SÜSSEKIND, 2009). Só "*podemos compreender o gênio a partir daquilo que, em última análise, é incompreensível*", acreditara Hamann (BORNHEIM, 2008, p.82). No contexto em questão, o artista adquiriu "*uma eminência ímpar dentro da hierarquia social*" (BORNHEIM, 2008, p.93).

Hamann exaltou a arte - colocou-a acima da lógica e da matemática, segundo o mesmo, "*pálidas abstrações da razão*" (BEISER, 1987, p.35). Hamann foi um pietista e, por conseguinte, um grande defensor das doutrinas de Lutero. Segundo Berlin (2013, The true fathers of romanticism, 1/54), foi "*o primeiro a declarar guerra contra o Iluminismo (...) abertamente e violentamente*". Hamann atacara violentamente a razão; e isso, pois queria diminuir a autoridade da mesma (BEISER, 1987). Hamann opôs-se ao Iluminismo em defesa do protestantismo luterano - de Deus, da Bíblia e da fé. Para Hamann, a Bíblia - "*documento por excelência do nascimento do humano*" (ROVIGHI, 2002, p.604) - é a revelação imediata tanto de Deus quanto da natureza (ABBAGNANO, 1982).

Para Hulme (1911, p.118), o Romantismo foi - em si - uma "*religião difusa*" - uma espécie de suplente para a religião tradicional ou pelo menos uma garantia ou suporte racional para uma nova e mais elevada fase da consciência religiosa e moral. O Romantismo "*faz parte do movimento de busca que se estendeu sem pausa durante duzentos anos, que queria colocar algo diante do mundo desencantado pela secularização*" (SAFRANSKI, 2010, p.17). É possível notar nos escritos românticos uma forte tendência religiosa. A religião inflamara o romantismo. Diz Bornheim (2008, p.95) que a "*atitude básica do romântico é sentimental e religiosa*".

Segundo Bornheim (2004, p.6), à época de Lutero e da Reforma Protestante, o irracionalismo - citado anteriormente como característica distintiva romântica - tornara-se um traço designativo do homem alemão - algo que perdurará, no mínimo, até o período romântico. A vida religiosa e a fé tornaram-se requisitos indispensáveis para os alemães. Ao homem alemão cabia ser educado - ou condicionado - "*a fim de melhor atender*" à sua "*profissão, vocação, chamado divino*", assim como "*aprender a submeter-se às ordens de Deus*". Os românticos tendiam a um certo misticismo. E não "*'foi um acaso, porque em nenhum país o misticismo reinava tanto. Ele anima o luteranismo'*", assim como o pietismo (LEFÈBVRE, 1951 *apud* FEDELI, 2004, p.6). Os românticos - de maneira um tanto mística - criam numa total integração entre a natureza e os homens; de acordo com os românticos, por conta dessa - suposta - integração, os homens poderiam intuir certas coisas aparentemente veladas àqueles que excediam-se em razão (FETZ, 2012).

Lefèbvre relaciona o Romantismo com o pietismo (FEDELI, 2004). De acordo com Bornheim (2008, p.84), o pietismo - uma corrente irracional-religiosa - "*preparou um solo propício*" para que então eclodisse o *Sturm und Drang*. Segundo Berlin (2013, The first attack on Enlightenment, 38/61), o pietismo fora "*a raíz do Romantismo*". Brüseke (2004) afirma que o pietismo "preparou a alma" dos alemães pré-românticos e nessa "cultivou" largamente o sentimento; tal sentimento, por conseguinte, no Romantismo "floresceu" grandemente. Podemos notar uma clara influência do pietismo tanto sobre os *Stürmer* quanto sobre os românticos, entretanto, de maneira alguma poderíamos sustentar - um determinismo - uma relação direta de causalidade entre o pietismo e tais movimentos. Segundo Mayos (2004, p.5), é importante frisar o seguinte: os *Stürmer* e os românticos, "*sem exceção, estavam marcados pela fé voltada para a própria subjetividade interior do Pietismo e pela confiança na 'livre análise' que Lutero havia reclamado frente às Escrituras*". Acerca dessa última afirmativa, Mayos (2004, p.5) enfatiza que a Reforma antecipara uma das grandes aspirações iluministas: "*a autonomia do pensar*".

O pietismo foi fundado em 1670. P. Spener (1635-1705) fundara-o em Frankfurt. O pietismo representou uma "*posição dialética face ao intelectualismo e ao clericalismo*" (MENDONÇA, 1984, p.67) presentes no seio da Igreja Protestante. O pietismo surgiu como uma reação - uma oposição às práticas clericais mundanas, corruptas e dissociadas da dita doutrina bíblica genuína - à ortodoxia protestante. Os pietistas recusavam o dogmatismo - inclusive no que tange à suposta divindade de Jesus. Além disso, tais indivíduos enfatizavam o sentimento religioso, a fé emotiva e o ardor missionário. O pietismo ocupara-se da ampla divulgação do Evangelho e da prática piedosa - social socorrista (FEDELI, 2004).

Tal movimento promoveu "*um grande reavivamento espiritual na Alemanha*" (COSTA, 1999, p.6). É interessante notar que as ideias de Spinoza foram amplamente aceitas pelos pietistas. Esses encontravam-se desiludidos com a Igreja Luterana de então. O pietismo não opunha-se às doutrinas de Lutero; ao contrário, opôs-se às distorções daquilo que havia sido estabelecido tempos atrás por Lutero. Tratava-se de uma espécie de "*reforma dentro da Reforma*" (BATALHA, 2011, p.154). O protestantismo havia se desviado de sua proposta inicial. Enfraquecia paulatinamente o impulso inicial da Reforma empreendida por Lutero. Parte considerável dos spinozistas alemães do período romântico eram - ou mesmo haviam sido formados em seios familiares - pietistas; tais indivíduos presenciaram em maior ou menor grau a tentativa de reforma da Reforma Protestante. Com o pietismo relaciona-se a busca por um contato mais estreito - e direto - com a divindade. Aquilo que apregoara Spinoza - uma postura crítica perante as escrituras sagradas, uma aproximação entre Deus e o homem, a separação entre a Igreja e o Estado, dentre outras coisas mais - suportava certas posições pietistas (BEISER, 1987). Além disso, para os pietistas, o mundo é uma emanação da divindade e o espírito de Deus está espalhado em todos os seres do universo. Os pietistas

criam num Deus imanente ao mundo - à natureza e às criaturas (FEDELI, 2004). Tal imanentismo - similar ao de Spinoza - levara os pietistas à veneração da natureza; através da natureza, poder-se-ia atingir a divindade, acreditavam os pietistas. Numa visão pietista, a natureza é um grande ser vivo, cuja alma é a própria divindade - com a qual almejavam (os pietistas) fundir-se.

O Romantismo, assim como o pietismo, valorizou a subjetividade, a sensibilidade e o sentimento. Segundo Batalha (2011, p.154), foi através do pietismo que "*a sensibilidade se desenvolveu e, diante dos dogmas esclerosados da Igreja, este remetia o indivíduo a seu sentimento mais íntimo e pessoal*". Os pietistas apregoaram um certo subjetivismo religioso. Acerca de tal subjetivismo, alguns pietistas defendiam: uma "religião do coração"; uma "religião do sentimento" (FEDELI, 2004); uma experiência mística individual; uma compreensão religiosa própria - particular - de cada indivíduo (COSTA, 1999). Para os pietistas, no íntimo do coração dos homens encontra-se Deus e, através dos sentimentos, a Divindade comunica-se com os homens (FEDELI, 2004).

V.3.1 Goethe e Spinoza: um pré-spinozismo da física

J. Goethe (1749-1832) - nascido em Frankfurt, local onde Spener fundara o pietismo - compunha um movimento pré-romântico - e igualmente reacionário -, o *Sturm und Drang* - anterior ao Romantismo e também contrário aos excessos da racionalidade e do Iluminismo. Herder influenciara Goethe consideravelmente; certas ideias de Herder atraíram Goethe imensamente. Em 1771, tais indivíduos se encontraram pela primeira vez. Por certo tempo, Herder e Goethe foram, respectivamente, mentor e aprendiz (SAFRANSKI, 2010).

Miller (2009) afirma que Goethe promovera uma verdadeira revolução no pensamento científico novecentista. Goethe desenvolveu uma série de trabalhos científicos - sobre botânica, zoologia, osteologia, mineralogia, metereologia, luz, cores etc. (MARQUES, 2012; POSSEBON, 2011) - e, de acordo com Fetz (2012), influenciou consideravelmente o cenário científico formal da época. Nesse ínterim, pronunciamentos acerca da obra científica de Goethe eram comuns - "*etapa obrigatória para todo aquele que pretendesse desenvolver um pensamento filosófico sobre a ciência*" (VIDEIRA, 2011, p.29). Em seu tempo, Goethe "*era mais aceito pelas classes cultas da Alemanha do que as teorias e os resultados*" da "*ciência experimental*" (VIDEIRA, 2011, p.32). Helmholtz foi um daqueles que admiraram a obra científica de Goethe - principalmente no que tange à teoria da metamorfose das plantas e dos animais (MILLER, 2009). Segundo Possebon (2011, p.63), a teoria das cores de Goethe, por exemplo, é uma construção científica "*do mais alto nível*". Apesar disso, atualmente, a obra científica de Goethe "*não desfruta nem do conhecimento nem da merecida consideração por apresentar-se como um caminho diferenciado de ciência*" (POSSEBON, 2011, p.10).

De acordo com Miller (2009, p.XXV), aquilo que defendera Goethe "*parecia muito científico para ser poesia, mas talvez também muito poético para ser ciência*". A linguagem utilizada por Goethe, mesmo em seus escritos científicos, "*por vezes beira o poético*" (POSSEBON, 2011, p.14) - "*não se assemelha aos paradigmas (...) que hoje estamos acostumados a reconhecer como*" científicos (POSSEBON, 2011, p.20). Para Goethe, o artista, ao unir a razão e o instinto, realiza uma síntese superior (BORNHEIM, 2008). O projeto goetheano - a obra de Goethe - envolvia arte, poesia, religião, ciência etc. Goethe concebera tais domínios como mutuamente benéficos - a "*esquizofrenia cultural*" parecia-lhe "*sem alcance e limitada, (...) absurda*" (POSSEBON, 2011, p.40) - e isso norteava sua pesquisa; tais concepções direcionaram suas investigações para uma direção peculiar - por um caminho sintético. Em especial, Goethe almejara demonstrar - "*a afinidade de sua pesquisa com os diversos domínios do conhecimento humano*".

Goethe nutria uma visão de natureza bastante específica, assim como de ciência (BORNHEIM, 2008). Contrariamente aos mecanicistas - para os quais, a natureza é um mero sistema de forças mecânicas -, segundo Goethe, dever-se-ia reconhecer a natureza como um organismo vivo - em detrimento da visão mecanicista de uma "*natureza morta*" (ou máquina) (SPENGLER, 1973, p.43).

Uma "*abordagem mecanicista, materialista*" poderia "*enfrentar o desafio explicativo do organismo vivo ou a vida da natureza como um todo*" (MILLER, 2009, p.XXIII)? - Questionara Goethe. Poder-se-ia compreender a complexidade do mundo através das meras noções de matéria e movimento? De acordo com Goethe, não. Goethe quisera reformular "*os métodos e propósitos da argumentação científica*" (POSSEBON, 2011, p.19). Para as concepções de ciência e de natureza goetheanas, tanto a metafísica quanto a religião são importantíssimas (COELHO, 2009).

Goethe almejara o atingimento de um conhecimento mais profundo - essencial - acerca do todo natural. Através de Goethe, prosperava um estilo de pensamento científico singular - específico e dirigido aos fenômenos naturais -, um viés revolucionário e fundamental para o desenvolvimento da ciência novecentista. Em oposição ao método cartesiano - fragmentador -, dever-se-ia combater a análise em benefício de uma visão holística - integral - da natureza; e isso, pois, segundo Goethe (*apud* STEINER, 2004, p.30), a "*teoria em si e por si nada serve senão para fazer-nos crer na conexão dos fenômenos*". Goethe rechaçara a tendência mecanicista de então - "*renegou Newton*" (POSSEBON, 2011, p.10); as críticas de Goethe dirigidas à física - principalmente à óptica - newtoniana foram intensas. Newton defendera "*a luz e a formação das cores como processos objetivos, universais, independentes da percepção humana*"; Goethe rejeitou veementemente tais ideias - dispusera-se "*a oferecer uma consideração sistemática dos modos como a experiência humana da luz e das cores se estruturava*" (DUARTE, 2004, p.11).

Goethe não aceitava nem o caminho analítico nem o frio tratamento matemático dirigido aos fenômenos naturais; diz Spengler (1973, p.43) - numa afirmativa talvez um tanto exagerada - que Goethe "*odiava a matemática*". Goethe queria uma ciência mais qualitativa - ou seja, que valorizasse a qualidade em detrimento da quantidade (BORNHEIM, 2008; RUTHERFORD et al., 1978). Goethe - trilhou por um caminho alternativo (POSSEBON, 2011) - escudara uma ciência distinta daquela dita moderna (BECKENKAMP, 2006). Segundo Goethe (*apud* COELHO, 2009, p.96): na natureza não há fatos ou dados isolados; todos os fenômenos dependem uns dos outros e todos dependem do todo natural; a atitude analítica é prejudicial, visto que toma um fenômeno como algo isolado; a ciência dita moderna "*sabe separar elementos mas não reuni-los, sabe dissecar objetos mas não montá-los, nem mesmo entendê-los montados*".

O método empírico de Goethe é acurado e rigoroso (POSSEBON, 2011); tal método pressupõe uma harmonia intrínseca - ou substancial - entre sujeito e objeto - uma comunhão e completa similitude entre o indivíduo cognoscente e a natureza cognoscível. A atividade filosófica de Goethe fora animada por tal ideia - a qual serviu como ponto de partida para as investigações, observações e hipóteses acerca da natureza promovidas pelo mesmo (ABBAGNANO, 1982). Goethe "*não estava interessado em forçar a natureza a responder suas perguntas*" - ao invés disso, "*procurou deixar a natureza falar com 'sua própria voz'*", por si mesma. Tratava-se de um "*empirismo delicado*" (HADZIGEORGIOU; SCHULZ, 2014, p.14), segundo o qual, dever-se-ia "*empregar tanto os olhos do corpo quanto os 'olhos da mente', tanto a percepção sensorial quanto a intuitiva*" (MILLER, 2009, p.XVIII).

A investigação da essência das coisas despertara o interesse de Goethe - que buscara "*o 'elo' entre os seres, a 'ideia' (...) por detrás de todo organismo vivo*" (MARQUES, 2012, p.9). Segundo Goethe, a pluralidade é tão somente aparente, visto que o objeto particular é meramente uma modificação de um princípio essencial - ou vital - que reina na natureza (STEINER, 1988). O "*princípio vital (...) contém a possibilidade de multiplicar as mais simples origens dos fenômenos, por meio do crescimento, rumo ao infinito e à mais extrema diversificação*" (GOETHE, 2012, p.78). Para Goethe, "*'o princípio vital da natureza é, ao mesmo tempo, o da própria alma humana'*" (*apud* GIANNOTTI, 1993, p.14).

"*No ideário de Rousseau, Goethe encontra (...) a ideia de natureza em íntima proximidade com o homem*" (MOURA, 2011, p.117). Para Goethe, "*a natureza é uma representação da alma humana*" e, no homem, "*o mundo se reflete*" (GIANNOTTI, 1993, p.15); em Goethe, o homem, a natureza e Deus encontram-se estreitamente unidos - formam um só todo (ABBAGNANO, 1982; GIANNOTTI, 1993). Na natureza, Goethe perseguira o divino (BECKENKAMP, 2009) - buscara elucidar o fenômeno originário, aquele no qual se manifesta e concretiza, num determinado tipo ou forma, a força divina que a tudo rege (ABBAGNANO, 1982). Alguém que "*deseja o Ser supremo deve desejar o todo; quem trata do*

espírito deve pressupor a natureza; quem fala da natureza deve pressupor o espírito", afirma Goethe (*apud* ABBAGNANO, 1982, p.21). A existência é a própria divindade, acreditava Goethe - e não poder-se-ia chegar a Deus senão pela natureza, assim como não chegar-se-ia à alma senão pelo corpo. Tais concepções panteístas inspiraram as investigações e hipóteses naturalistas de Goethe.

Goethe interessou-se logo cedo pelo panteísmo spinozano - pela hipotética identidade entre Deus e a natureza (BECKENKAMP, 2006). Segundo Spinoza, falamos das leis da natureza ao nos referirmos às leis de Deus - as primeiras são decretos eternos da divindade (EZCURDIA, 2008). De acordo com Spinoza, para uma experiência íntima e harmônica com Deus, basta ao homem estar em comunhão com a natureza, ou seja, com o todo; e isso, pois - para Spinoza - a divindade fora causa imanente da natureza. Num sentido mais corrente, imanente é aquilo que faz parte de ou substancialmente compõe algo - também pode ser aquilo que sustenta essencialmente alguma coisa. Em Spinoza, "*Deus é concebido como o criador indeterminado e a natureza como a criação determinada*" (GOWER, 1973, p.316). Segundo Spinoza, Deus (a causa), de alguma forma tornou-se seu próprio efeito - a natureza. O mundo natural é Deus manifesto, supunha Spinoza - ou seja, a divindade e o mundo são indistinguíveis entre si (BEISER, 1987). A "*frase que melhor caracteriza a metafísica*" spinozana é "*Deus sive natura*", ou seja, Deus ou a natureza, tanto faz (PONCZEK, 2000, p.339; PONCZEK, 2009).

Diz Spinoza que

> "*Deus é causa imanente de todas as coisas, e não causa transitiva. Tudo o que existe, existe em Deus e deve ser concebio por Deus; pelo que Deus é causa das coisas que nele existem (...), fora de Deus não pode dar-se nenhuma substância*" (*apud* EZCURDIA, 2008, p.14).

Para aqueles que crêem com veemência numa divindade transcendente, o panteísmo spinozano pode representar uma grande heresia. Spinoza (1997) foi um defensor da democracia e da liberdade de expressão. Spinoza defendera, dentre tantas coisas, a separação entre a Igreja e o Estado. Além disso, para Spinoza, a Bíblia - por exemplo - é um livro influenciado por diversos fatores históricos e culturais - "*tal qual quaisquer outros documentos humanos*" -, portanto, não fora fruto de uma inspiração divina (BEISER, 1987, p.51). Assim, por diversas razões - políticas e religiosas, principalmente - era conveniente rechaçá-lo (Spinoza) (BEISER, 1987).

Até a metade do século XVIII, Spinoza fora por muitos considerado: um herege; alguém contrário à moralidade, à religião; um fomentador do ateísmo, ou seja, da inexistência ou irrelevância de Deus. Os *Stürmer* foram defensores ferrenhos das ideias de Spinoza, assim como - mais adiante - os românticos. Após o referido período, "*a opinião pública acerca de Spinoza passou de desprezo quase universal para admiração quase universal*" (BEISER, 1987, p.59) - e o panteísmo tornou-se "*a religião não-oficial da Alemanha*" (BEISER, 1987,

p.45). De acordo com Beiser (1987), durante o final do século XVIII e início do século XIX, as ideias de Spinoza foram tão relevantes - amplamente admiradas e aceitas - quanto aquelas de Kant. A ampla aceitação de Spinoza deveu-se - em parte - às ideias panteístas apregoadas pelo mesmo; o panteísmo tornara efervescentes diversos sistemas filosóficos de então. Schelling foi um spinozista; com esse, o panteísmo tomou a forma de uma filosofia da natureza consistente, a *Naturphilosophie* (BECKENKAMP, 2006).

V.3.2 Sobre Schelling e sua *Naturphilosophie* romântica: em defesa da importância de ambos

Ao falarmos de Schelling, de acordo com Gonçalves (2010, p.8), nos referimos a um filósofo "*ainda tão pouco estudado*". Schelling - que fora filho de um pastor protestante - nasceu em Leonberg, na Alemanha. Aos quinze anos de idade, Schelling ingressou na fundação teológica protestante da Universidade de Tubinga, onde estudou - ao lado de Hegel e F. Hölderlin (1770-1843) - teologia e filosofia. Schelling deixou Tubinga em 1796 - seguiu para Leipzig, onde estabeleceu-se e debruçou-se sobre as questões filosófico-científicas em discussão no final do século XVIII e início do século XIX. Schelling fora um profundo estudioso da ciência natural de seu tempo como um todo - estudara medicina e também matemática (GONÇALVES, 2005). Em sua obra *Ideen zu einer philosophie der natur* (Ideias para uma filosofia da natureza), de 1797, foram sobressaltadas certas questões as quais vinham pela física e pela química de então sendo discutidas; destacam-se, por exemplo, suas discussões "*acerca da natureza do calor e dos fenómenos da combustão*" (SCHELLING, 2001, p.29). Schelling opôs-se à ideia de uma matéria-prima oculta nos corpos, livre de possíveis investigações experimentais - tal qual o flogisto ou mesmo o calórico. Os estudos de A. Lavoisier (1743-1794) e de L. Galvani (1737-1798) também inspiraram-no muitíssimo. Schelling dialogara: com "*as teorias de Lavoisier*" concernentes à composição do ar e da água; também com aquelas - ainda de Lavoisier - relativas aos "*processos de combustão, fermentação e oxidação da matéria*"; com os estudos de Galvani sobre a eletricidade animal - acerca do efeito dos fenômenos elétricos "*sobre o movimento dos corpos orgânicos*", sobre um "*princípio vital*" possivelmente relacionado com tais fenômenos elétricos (GONÇALVES, 2010, pp.9-10).

No ano de 1798, à Schelling fora oferecida uma cadeira como professor na Universidade de Jena. A oferta supracitada para o cargo referido deveu-se graças a Goethe, um daqueles que à época muito admiravam seu trabalho. Segundo Beckenkamp (2006), após retornar da Itália - onde permanecera por dois anos (1786-1788) -, Goethe ampliara sua influência sobre as diretrizes então seguidas pela Universidade de Jena. Goethe contribuiu, por exemplo, para a nomeação de alguns docentes e criação de uma sociedade de

pesquisadores. Goethe entusiasmou-se tanto com a obra de Schelling que chegou a chamá-lo para uma cooperação em seus estudos concernentes à óptica. Ambos influenciaram-se mutuamente (BECKENKAMP, 2006) - e, assim, crescia progressivamente o interesse de Schelling não só pelas ciências naturais, mas, também pela arte (BAUSOLA, 2002). É interessante notar que, segundo Selow (2007), ao tornar-se professor em Jena, num primeiro momento, Schelling lecionara tanto sobre o idealismo transcendental de Kant quanto sobre a doutrina fichteana da ciência, de 1794; e isso, pois ainda estava desenvolvendo - aprimorando, para que sejamos mais específicos - sua *Naturphilosophie*. Tal fato salienta o quão bem conhecia Schelling tanto a obra de Kant quanto a de Fichte. Aquele chegara a lecionar por um curto período em Wurtzburgo - logo após tornar-se complicado seu relacionamento com o círculo romântico de Jena (BAUSOLA, 2002) -, em Munique - onde aprofundara as discussões místico-religiosas (mitológicas, cristãs e teosóficas) presentes em sua obra (BAUSOLA, 2002) - e também em Berlim - onde ocupara a cátedra vaga após o falecimento de Hegel -, já em 1841 (BAUSOLA, 2002; SELOW, 2007). Somente a título de curiosidade - embora atrele-se ao motivo da dissolução do círculo romântico de Jena, um fato bastante relevante -, segundo Gonçalves (2005), o romance de Schelling com C. Schlegel - nascida C. Michaelis (1763-1809) -, então ainda esposa de A. Schlegel, desencadeou a crise que culminou na desestruturação do círculo romântico de Jena - e, por conseguinte, do próprio Romantismo enquanto um movimento coeso.

São bastante comuns considerações depreciativas - demeritórias - voltadas para Schelling (GARE, 2011); e isso, principalmente no que tange à *Naturphilosophie* schellinguiana ou romântica. Segundo Magalhães (2005), as contribuições da *Naturphilosophie* romântica para o desenvolvimento da ciência - principalmente - novecentista têm sido subvalorizadas - costumam ser ignoradas, desvalorizadas ou mesmo consideradas perniciosas; por conseguinte, é comum que o ensino de ciências não discuta tais contribuições (HADZIGEORGIOU; SCHULZ, 2014). Os românticos pagaram um alto preço pela adoção de uma forma de pensamento específica e repleta de misticismo (BARBOZA, 2001). É provável que

> "*devido à imersão em que vivemos na tradição científica, nos seus pressupostos, processos e também nos seus dogmas e preconceitos, a dificuldade maior seja mesmo admitirmos (...) a possibilidade de uma outra visão do mundo que mereça também ser chamada de científica*" (POSSEBON, 2011, p.10).

Costuma-se chamar a *Naturphilosophie* de "*excessivamente abstrata*" (GOWER, 1973, p.315), contudo, somente não são tão absurdos para nós o *modus operandi*, as contruções ou a linguagem da ciência moderna, pois nos acostumamos com tal modelo de ciência; para os leigos - não-iniciados - as dificuldades são muitas, seja para um dos tipos referidos de modelagem - a *Naturphilosophie*, por exemplo - ou para o outro.

Segundo W. Ostwald (1853-1932), a ciência romântica "*é caracterizada pelas teorias não-empíricas e imprudentemente especulativas, e pelo entusiasmo criativo de seus expositores*" (GOWER, 1973, p.350). Para H. Oersted (1777-1851), os cientistas românticos buscavam "*por princípios*" - metafísicos (*apud* Gower, 1973, p.350); diz Gower (1973, p.302) que tal "*preocupação com a metafísica fornece uma razão para o ceticismo acerca do impacto da Naturphilosophie sobre a ciência do início do século XIX*". De acordo com Hartmann (*apud* BARBOZA, 2001, pp.283-284), "*Schelling é um daqueles pensadores sem aprumo próprio, que, como uma planta trepadeira, apóia-se em outros e com eles prossegue o seu pensamento*". Contudo, prossegue Hartmann, faz isso "*não tanto mediante uma transformação crítica, mas por fecundação fantasiosa, remodelação e fusão*". A crítica de Hartmann não faz jus à grandiosa contribuição de Schelling tanto para a filosofia quanto para a ciência.

Em uma carta de 1807, L. Gilbert (1769-1824) relatara - para Volta - a então crescente influência da *Naturphilosophie* romântica:

> "*um deplorável espírito de especulação e misticismo se espalhou pela física, e mesmo aqueles homens que costumavam empreender sólidos e hábeis trabalhos experimentais tornaram-se vítimas dessa nova tendência. Munique agora parece ser o centro dessas fantasias, após o declínio da Universidade de Würzburg (...). No sul da Alemanha, especialmente médicos aderiram nesse coro de fantasia, misticismo, e especulação*" (*apud* KLEINERT, 2002, p.31).

É provável que tal maior adesão por parte de médicos fosse decorrente do impulso vitalista - grosso modo, da crença num princípio ou força vital subjacente à matéria animada (BRAGA et al., 2011) - proeminente na Europa do final do século XVIII. Contudo, não aprofundaremos tais estudos acerca do vitalismo na presente dissertação.

Pode-se dizer que Schelling - enquanto filósofo da natureza - promovera "*uma das mais interessantes revoluções no pensamento filosófico não apenas do século XIX*" (GONÇALVES, 2010, p.11). Para Bornheim (2008, p.97), Schelling foi "*o maior pensador do movimento*" romântico. A *Naturphilosophie* de Schelling "*floresceu na Alemanha durante as primeiras duas ou três décadas do século XIX*" (GOWER, 1973, p.301). A visão de ciência aludida - a *Naturphilosophie* romântica - nasceu no interior de um movimento mais amplo, demasiadamente influente durante o período por nós analisado e extremamente significativo, o Romantismo. Algumas ideias românticas podem ter estimulado diversos indivíduos. Segundo Peterson (2004), a *Naturphilosophie* de Schelling representara um importante momento na história da filosofia e da ciência; tal movimento - fomentado e difundido pelos *Naturphilosophen* - atingiu seu apogeu nas duas primeiras décadas do século XIX (KUHN, 2011). A *Naturphilosophie* se alastrou por diversos países como tendência filosófica - ou visão de ciência específica -, sendo bastante provável que tenha exercido uma maior influência no

pensamento científico de então do que usualmente costuma-se reconhecer (CUNNINGHAM & JARDINE, 1990; HADZIGEORGIOU & SCHULZ, 2014; MAGALHÃES, 2005).

Determinados elementos os quais evidenciam uma provável influência de certas ideias respectivas à *Naturphilosophie* nas obras de diversos cientistas do século XIX foram convenientemente omitidos por muitos comentadores e historiadores da ciência (AGASSI, 1996). A rejeição do movimento referido reflete - basicamente - um preconceito positivista; têm-se subestimado tal movimento. Como dito anteriormente, a *Naturphilosophie* de Schelling distancia-se consideravelmente - epistemologicamente - daquilo que costuma-se entender como - ou considerar - ciência; antes que propriamente epistemológicas ou metodológicas, tais preconceitos relacionam-se com um momento histórico particular marcado por tendências ético-políticas específicas (VIDEIRA, 2012).

Pode-se dizer que a *Naturphilosophie* de Schelling "*teve uma importância histórica fundamental para a evolução da ciência e do pensamento do século XIX*" (GONÇALVES, 2005, p.75). De um modo geral, o pensamento alemão teve uma crescente influência intelectual durante o século XIX (HOBSBAWN, 2012). De acordo com Selow (2007, p.2405), durante o período referido, o *"impacto da Naturphilosophie schellinguiana foi enorme (...). As ideias fundamentais*" desse movimento contagiaram o "*pensamento da época e se tornaram propriedade comum dos homens cultos*"; longe de ter sido um movimento estéril, a *Naturphilosophie* contribuíra para o avanço científico.

De acordo com Hadzigeorgiou & Schulz (2014), ao longo do período considerado, as ideias românticas propagaram-se - influenciaram diversos cientistas por toda a Europa. Tal corrente influenciara vividamente o curso científico do século XIX (DUARTE, 2004; GUSDORF, 1985). Segundo Kleinert (2002), as ideias apregoadas pelos *Naturphilosophen* não acometiam somente um grupo específico e homogêneo de pessoas; também não se tratava de uma influência restrita ao solo alemão - ou seja, contida num espaço relativamente pequeno e bem definido. Tais ideias - de fato - espalharam-se.

De acordo com Caneva (1997), durante as considerações históricas concernentes aos saberes ditos físicos - e poderíamos estender aos científicos como um todo - construídos ao longo do século XIX, a omissão da *Naturphilosophie* empobrece a compreensão tanto do contexto o qual favorecera a emergência de tais saberes quanto dos próprios conhecimentos referidos. Segundo Gower (1973), alguns historiadores da ciência - Stauffer (1957), Kuhn (2011), dentre outros - alegam que a *Naturphilosophie* influenciara consideravelmente o desenvolvimento científico durante o período referido; tal visão de ciência deixara marcas nítidas as quais até hoje podem ser notadas.

Hobsbawn (2012, pp.461-462) afirma que muito se fez tomando-se como ponto de partida certas concepções românticas - o trabalho de Oersted relativo aos fenômenos elétricos e magnéticos, a teoria celular biológica, "*muito da morfologia, embriologia, filologia e*

muito do elemento histórico e evolutivo em todas as ciências foram primordialmente de inspiração 'romântica'", dentre tantas outras coisas. No presente trabalho, nos interessamos especificamente pela grandeza energia; tal grandeza, segundo Fetz (2012), é também uma nítida marca impressa, deixada pela *Naturphilosophie* no seio da ciência moderna. Rutherford et al. (1978) - para os quais o princípio de conservação da energia fora uma valorosa contribuição romântica ao desenvolvimento científico - fortalecem tal ideia. Mas, de que maneira poderíamos relacionar a especulativa *Naturphilosophie* de Schelling com o princípio de conservação da energia? Acreditamos numa possível influência do movimento referido e explicaremos o motivo.

Kuhn (2011) diz que, ao longo do período de aproximadamente 1830 a 1850, certos elementos importantes encontravam-se presentes na atmosfera do pensamento científico europeu - um deles era a própria *Naturphilosophie*. Segundo Duit (2012, p.4), a influência romântica sobre as pesquisas científicas empreendidas durante o início do século XIX foi muito grande, principalmente no que tange à ideia de força - contudo, não num sentido newtoniano. De acordo com Braga et al. (2011), os *Naturphilosophen* procuraram certa grandeza a qual pudesse ser associada a um princípio unificador do todo - "*fundamento de todo saber e de todo ser*", "*de toda ciência*" (BAUSOLA, 2002, p. 661). Nesse processo, os *Naturphilosophen* perseguiram algo absolutamente profundo, tipos ideais - além dos limites daquilo que é aparente ou passível de ser sentido -, supostas verdades essenciais e relativas ao todo natural-fenomênico; mais do que isso, concernentes ao todo natural-espiritual.

Duit (2012, p.4) afirma que o "*conceito de energia pode ser visto como aquele que exprime cientificamente a ideia de uma unificadora e abrangente romântica 'força da natureza'*". Com a especulativa *Naturphilosophie* avançara a discussão acerca de uma possível correlação entre os fenômenos naturais - especificamente, tal movimento estimulou a crença na unidade de tais fenômenos (RUTHERFORD, 1978). De acordo com Gower (1973) e Kuhn (2011), a *Naturphilosophie* - possivelmente - proveu um plano de fundo filosófico adequado ao estabelecimento da estrutura metafísico-qualitativa do princípio de conservação da energia, influenciando diversos indivíduos envolvidos nesse processo - seja essa influência alegada ou declarada (CANEVA, 1997). De acordo com Kuhn (2011), tal suposta influência pode ser percebida pela presença nos trabalhos de certos indivíduos - participantes do processo de construção do princípio referido - daquilo que chama de "saltos mentais" - de algo que sugere uma predisposição à percepção de uma única e indestrutível força subjacente a todos os fenômenos da natureza. Kuhn (2011) ainda sobressalta o seguinte:

> "*Sem nenhum comentário, Mohr passou da defesa da teoria dinâmica do calor para a afirmação de que há apenas uma força na natureza e ela é quantitativamente inalterável. Liebig deu um salto similar com o 'rendimento' dos motores elétricos quando afirmou que os equivalentes químicos dos elementos determinam o trabalho passível de ser extraído dos processos*

> *químicos, seja por meios elétricos ou térmicos. Colding diz que a ideia de conservação lhe ocorreu em 1839, quando ainda era um estudante, mas só fez o anúncio em 1843, para poder reunir evidências. A biografia de Helmholtz traz uma históra semelhante. Séguin aplicou com total confiança seu conceito de conversibilidade do calor e do movimento aos cálculos das máquinas a vapor, ainda que sua única tentativa de confirmar a ideia tenha sido inteiramente vã*" (KUHN, 2011, pp.117-118).

Reforça a ideia de uma possível influência da *Naturphilosophie* romântica na construção do princípio de conservação da energia: a formação universitária disponível na Alemanha à época, de grande motivação filosófico-romântica - pela qual passaram alguns indivíduos envolvidos no processo de elaboração e estabelecimento do princípio de conservação da energia (ELKANA, 1975); L. Colding (1815-1888) ter sido protegido de Oersted, cujas ideias acerca dos fenômenos eletromagnéticos foram consentidamente influenciadas pela *Naturphilosophie* romântica de Schelling; Liebig ter estudado por dois anos com Schelling; Hirn ter lido obras relacionadas com a *Naturphilosophie* e ter citado L. Oken (1779-1851) - um conhecido *Naturphilosoph* - e Kant - alguém cujas ideias foram basilares para os *Naturphilosophen*, principalmente no que tange à ontologia dinâmica apregoada pelos mesmos - em alguns de seus trabalhos; o pai de Helmholtz ter sido adepto da *Naturphilosophie*, amigo íntimo do filho de Fichte (KUHN, 2011) e o próprio Helmholtz ter afirmado que tanto Fichte - cujas ideias exerceram forte influência sobre a filosofia de Schelling - quanto Kant o influenciaram profundamente (SOUZA FILHO, 1995); H. Davy (1778-1829) ter sido amigo íntimo de S. Coleridge (1772-1834), além de professor e mentor de M. Faraday (1791-1867). Talvez - como conjectura Ostwald - Davy tenha sido um *Naturphilosoph* (ELKANA, 1975); P. Williams (1927-) soergue relevantes considerações acerca disso em seus escritos - discute, especificamente, a influência da *Naturphilosophie* sobre a ciência inglesa. Segundo Williams, foi Coleridge quem introduzira tal movimento na Inglaterra (ELKANA, 1975).

Caneva (1997) afirma que o indicador diagnóstico primário de uma possível influência da *Naturphilosophie* nos escritos de algum indivíduo - ou em determinada construção qualquer - é a presença de certos conceitos característicos da corrente intelectual referida e de determinadas alegorias passíveis de distinção - de tipificação. Certos cientistas - aqueles supracitados, por exemplo, e adicionamos Mayer à lista -, cujas obras, podemos alegar, evidenciam algumas das características peculiares e afins àquelas da ciência dita romântica, manifestaram uma postura distinta daquela dos cientistas modernos - propriamente mecanicista, tipicamente iluminista; tais indivíduos nutriam uma atitude diversa, um raciocínio primordialmente qualitativo, uma visão orgânica de Universo, ou seja, de natureza como um todo orgânico, semelhante àquela sustentada pela *Naturphilosophie* de Schelling (MAGALHÃES, 2005).

Para Shanahan (1989), tais alegações são bastante interessantes - tanto historicamente quanto filosoficamente; e isso, uma vez que os processos - os métodos - defendidos pelo movimento referido e relacionados com o atingimento - com a elaboração - de conhecimentos supostamente aceitáveis e concernentes à natureza ou aos fenômenos desviam-se muitíssimo daquilo que costuma-se considerar como típica atividade científica.

Tal qual o movimento romântico em si, a *Naturphilosophie* é melhor entendida por meio das ideias, dos métodos e das atitudes evidenciadas nas obras daqueles indivíduos os quais participaram dessa corrente ou a influenciaram; a *Naturphilosophie* romântica é melhor representada em termos de um grosseiro conjunto de seus principais e mais característicos conceitos e pressupostos, para o qual, segundo Caneva (1997), o ponto de partida deve ser os trabalhos de Schelling do período aproximado de 1797 a 1800. Segundo Bausola (2002, p.661), Schelling: fora "*um dos últimos pensadores que conceberam o projeto imenso de deduzir todo o sistema do real*" - "*e isso com um procedimento desdenhoso das prudências empiristas*".

V.3.3 Uma crítica ao mecanicismo

A visão de ciência dominante do século XVII até o período por nós analisado - que vai do final do século XVIII ao início do século XIX - foi a mecânica; a mecânica newtoniana possibilitara, dentre tantas coisas, uma explicação universal tanto para os fenômenos celestes quanto para os fenômenos terrestres (KOYRÉ, 2002). Segundo tal visão - a qual então fora grandemente exaltada -, todos os fenômenos ditos naturais deveriam ser remetidos ao domínio mecânico.

No início do século XIX - em torno de 1800 -, Volta construíra a pilha. Nesse ínterim, a importância da pilha - um artefato composto por placas empilhadas e intercaladas de zinco e cobre, intermediadas por uma solução ácida - voltaica fora grandiosa. Tratava-se de um instrumento muito mais servível do que a garrafa de Leyden - um primitivo capacitor; e isso, pois era capaz de produzir uma corrente contínua e perdurável por um tempo considerável, enquanto a garrafa, não (BRAGA et al., 2004).

A pilha abriu diversas portas: possibilitou uma série de novas investigações relacionadas com os fenômenos elétricos, magnéticos e químicos; permitiu a efetivação e observação de efeitos até então jamais vistos, fenômenos os quais aparentemente interrelacionam-se. Explicar alguns dos fenômenos referidos através do quadro teórico mecanicista tornou-se um problema (BRAGA et al., 2011). A quebra da confiança em um paradigma dominante pode ser ocasionada por fatores diversos. Sabido é que "*todas as metodologias, até mesmo as mais óbvias, têm seus limites*" (FEYERABEND, 2011, p.47), todavia, a identificação de certas limitações - a insuficiência estrutural-epistemológica - do

paradigma mecanicista disponível naquele momento histórico fortalecera um intenso questionamento ao mesmo (KUHN, 2011a).

Segundo Kleinert (2002, p.29), "*por volta de 1800*", um intenso debate epistemológico - "*entre apoiantes e opositores de uma certa filosofia da natureza*" ou ciência natural, usualmente chamada de *Naturphilosophie* - alvoroçou o âmbito científico alemão. A *Naturphilosophie* schellinguiana "*pode ser interpretada como uma reação contra uma determinada forma de se fazer ciência sobre natureza*" (GONÇALVES, 2005, p.72).

A *Naturphilosophie*, uma crítica ao materialismo e à ciência determinística (PETERSON, 2004, p.XI) - uma poderosa crítica ao modelo de ciência moderno-iluminista iniciado com a chamada Primeira Revolução Científica e então vigente -, emergiu no seio do movimento romântico. Para Rutherford et al. (1978, pp.130-131), a ciência romântica foi a "*primeira reacção verdadeiramente poderosa contra*" o newtonianismo (HOBSBAWN, 2012). Segundo Gonçalves (2010, p.8), "*o programa schellinguiano*" consistiu numa "*reação à física mecanicista dominante em sua época*". Os *Naturphilosophen* buscaram explicações para os fenômenos naturais não mais orientadas pelo quadro teórico mecânico do final do século XVIII e início do século XIX; tais indivíduos rechaçaram a perspectiva mecanicista-moderna em favor de uma perspectiva organicista (GONÇALVES, 2009). Os *Naturphilosophen* sentiam-se atraídos pelas amplas generalizações - pela ideia de organicidade (HOBSBAWN, 2012). Segundo Braga et al. (2011) e Gare (2011), basicamente, a *Naturphilosophie* surgiu como uma crítica - uma alternativa romântica ao mecanicismo soberano à época. Tal crítica - à tradição científica então vigente, a mecânica - conduzira à tentativa romântica de promoção de uma nova Revolução Científica (FETZ, 2012) - uma revolução do espírito europeu contra o pensamento estático-mecânico à época soberano, em favor do pensamento organicista-dinâmico (PECKHAM, 1951). O Romantismo científico, "*[de] fato, estava em aberta revolta contra o materialismo mecânico, contra Newton, e às vezes contra a própria razão*" (HOBSBAWN, 2012, p.460).

No que tange ao domínio científico, os românticos buscaram o fortalecimento de um modelo - de ciência - bastante particular de construção - rigorosa - de conhecimentos confiáveis. Os românticos, dentre os quais podemos destacar Schelling, defenderam uma ciência diversa, uma ciência romântica (RUTHERFORD et al., 1978; HOLMES, 2008). O próprio Schelling (2004) diz que a *Naturphilosophie* é uma ciência; trata-se, portanto, de "*um modo alternativo de se fazer ciência*" - uma tentativa de ciência; e "*não é senão ciência da natureza*", afirma Schelling (2001, p.33).

Tal modelo de ciência baseava-se em pressupostos distintos daqueles apregoados pela ciência dita moderna - os românticos defenderam pressupostos científicos e metodológicos distintos daqueles proferidos pelos iluministas; os *Naturphilosophen* baseavam-se em outros pressupostos, princípios e ideais (SÁNCHEZ-GARNICA, 2005). Os

românticos e aqueles que simpatizavam com os ideais perpetuados por tal ciência - romântica - consideravam a ciência dita moderna incapaz de representar a natureza em toda a sua plenitude. O modelo científico moderno é demasiadamente restrito - bastante limitado -, acreditavam os *Naturphilosophen*; e isso, pois relaciona-se tão somente com as partes componentes do todo natural e não propriamente com o todo (FETZ, 2012). Para os *Naturphilosophen*, dever-se-ia considerar a natureza holisticamente (HADZIGEORGIOU; SCHULZ, 2014).

Notadamente, à época já era evidente a divisão - fragmentação - do domínio científico em áreas específicas - particulares. Tal divisão causa a falsa impressão de que a própria natureza e os fenômenos são fragmentados - algo, segundo os *Naturphilosophen*, absurdo (FETZ, 2012). Em detrimento do empirismo filosófico e da análise fragmentadora cartesiana (HOBSBAWN, 2012), Schelling voltava-se para o todo: escudara uma perspectiva dinâmica, orgânica, sintética e holística; buscara integrar os homens, o mundo - com seus fenômenos - e a divindade; quisera "*mostrar a interação dos fenômenos*" - "*campos ou dimensões da matéria*" (GONÇALVES, 2010, p.10). Schelling fomentou certa tendência ou visão - holística - com o intuito de relacionar - ou tornar relacionáveis - os fenômenos entre si: o magnético, o gravitacional, o elétrico, o som, a luz, o calor, os químicos etc. Schelling concebeu a natureza como um todo unificado. De acordo com a *Naturphilosophie* de Schelling: a "*natureza é um todo, um organismo vivo*"; "*cada indivíduo na natureza é uma expressão desse todo*" (PETERSON, 2004).

Segundo Hardenberg (2005, p.27) (ou seja, Novalis) - numa visão bastante interessante acerca do empreendimento científico e da natureza -,

> "*sob o julgo do cientista [moderno] a natureza padeceu, deixando para trás apenas morte (...), assim, aqueles que aspiram ao conhecimento de seu verdadeiro espírito devem buscá-la acompanhados pelo poeta, visto que desse modo ela há de revelar-se livre, explicitando seu sublime coração*".

Notadamente, para os românticos, o cientista moderno e o poeta distanciam-se em decorrência da maneira pela qual buscam a efetivação de seus propósitos. O cientista moderno é aquele que vai à natureza e a devassa, acreditavam os românticos.

A seguinte consideração de Kant (2003, p.28) evidencia bem a cartilha do cientista moderno: a razão - ou mais precisamente, o portador da razão - deve ir à natureza "*não na qualidade de aluno que aceita tudo o que o mestre afirma, antes na de juíz investido nas suas funções, que obriga as testemunhas a responder aos quesitos que lhes apresenta*". A natureza não pode ser profanamente estudada, criam os românticos - os quais opuseram-se: à completa frieza do sujeito cognoscente moderno; à teoria e ao método moderno; ao uso exagerado de ferramentas auxiliares - tais como a matemática que quantifica - ao processo de construção dos saberes ditos científicos.

Os românticos não aceitavam a ideia de um mundo simples, regular, calculável, geométrico e mecânico - algo colidente com a busca romântica pela re-humanização do entendimento (FETZ, 2012). Os *Naturphilosophen* não falavam em abolir da prática científica artifícios ou instrumentos investigativos auxiliares - tais como microscópios, por exemplo; os românticos falavam em comedimento, na utilização prudente dessas ferramentas (FETZ, 2012) - dever-se-ia também interagir com a natureza sem quaisquer artifícios ou artefatos mediadores, apregoavam (BRAGA et al., 1999). Aos românticos importavam as qualidades naturais - da vida, da beleza e da poesia (BRAGA et al., 1999); interessava aos românticos um mundo de qualidades, de "*cor e de som, aromatizado de fragrâncias, cheio de alegria, de amor e de beleza, falando por todo o lado da harmonia intencional e de ideais criativos*" (RUTHERFORD et al., 1978, pp.130-131). Enquanto os cientistas modernos haviam optado pela - objetiva e simbólica - linguagem matemática, os *Naturphilosophen* haviam escolhido a - subjetiva e também simbólica - linguagem poética. A matemática é uma "*linguagem dentre várias outras linguagens a nossa disposição*"; através dessa podemos "*estruturar nosso pensamento*" (PIETROCOLA, 2002, p.103). Os românticos optaram pela utilização de uma outra linguagem, dentre outras coisas.

A crítica de Schelling a seus predecessores voltava-se basicamente para as supostas e persistentes contradições postas "*pelo ser humano em sua relação com o mundo exterior*" - o abismo criado entre o sujeito cognoscente e o objeto cognoscível, por exemplo (GONÇALVES, 2010, p.13). De acordo com Schelling (2010, p.43),

> "*os seres humanos quiseram conhecer as coisas não a partir do universo, mas umas a partir das outras, não na unidade, mas na separação, e, igualmente, onde eles quiseram conceber a si mesmos na singularização e no isolamento em relação ao universo, aí vedes a ciência amplamente devastada e, com grande esforço, realizar mínimos progressos no avanço do conhecimento, somando grão de areia com grão de areia para construir o universo*".

Tal passagem é uma nítida crítica ao *modus operandi* da ciência moderna - para os *Naturphilosophen*, inadequado, tedioso e frio.

Com o auxílio da filosofia - mas, também da religião, da arte, da poesia, da ciência etc. - Schelling - como bom romântico, imbuído de certo saudosismo - intentara efetivar a superação da dicotomia sujeito-objeto - reaproximar aquilo que supostamente havia sido distanciado. De acordo com Schelling (2001, p.33), é "*verdade que a química nos ensina a ler os elementos, a física, as sílabas, e a matemática, a natureza; mas não nos devemos esquecer que cabe à filosofia interpretar aquilo que se leu*". Para Schelling (2001, p.33), a "*filosofia (...) é, do princípio ao fim, obra da liberdade. Ela é, para cada um, aquilo para que ele a fez; (...) uma filosofia universal é uma quimera sem glória*". "*A filosofia*", disse Schelling (*apud* GONÇALVES, 2005, p.83), "*tem que mergulhar na profundidade da natureza para só*

então daí se elevar às alturas do espírito". Segundo Schelling, cabia à filosofia reatar aquilo que havia sido cindido - pelos próprios homens (GONÇALVES, 2010). Através de sua *Naturphilosophie*, Schelling buscara a reunificação daquilo que então se encontrava apartado (MONTIEL, 1999). No tocante à física que no período referido vigorava, havia uma clara separação entre o sujeito-cientista e o objeto-natureza. Para os mecanicistas, a natureza é a "*objetividade exterior ao espírito ou ao intelecto humano*" (GONÇALVES, 2005, p.71); a natureza é o mundo material, acreditavam os cientistas modernos - e tal mundo é "*composto por uma multiplicidade de fenómenos*" (MORUJÃO, 2001, p.15). Mas, perguntavam-se os *Naturphilosophen*, como explicar a vida?

Em Schelling - a quem causava repulsa a fria ideia, amplamente apregoada pelos iluministas, de uma natureza-máquina -, encontra-se certa concepção de natureza bastante peculiar; para Schelling, na "*medida em que se admite somente um princípio de natureza material*" - o átomo, por exemplo -,

> "*fracassam todas as explicações de tipo mecanicista*" - "*não se consegue dar conta do elemento espiritual em acção nos fenómenos naturais, ou seja, da capacidade destes últimos para se auto-organizarem e se constituírem em formas estáveis e permanentes de complexidade crescente*" (MORUJÃO, 2001, p.15).

Schelling concebia a natureza como uma atividade produtora e que excede as relações mecânicas estabelecidas pela física (MORUJÃO, 2001). Para Schelling, a natureza - na qual "*se encontra de forma imanente*" o espírito (GONÇALVES, 2005, p.71) - contém em si inteligibilidade. Para os iluministas, a noção de alma não fazia sentido; o homem era visto como uma máquina e a alma como uma entidade fantasiosa - útil tão somente para encobrir a carência de um conhecimento mais profundo acerca do funcionamento de tal máquina (LIMA, 2005).

Tal visão materialista, acreditava Schelling, precisava ser suplantada. Os cientistas românticos escudavam uma relação alternativa entre o sujeito cognoscente e a natureza cognoscível. Tais indivíduos falavam de uma reconciliação - possível em decorrência de certa conexão profunda existente - entre sujeito e objeto - homens e natureza (HADZIGEORGIOU; SCHULZ, 2014); em Schelling, existe uma ligação íntima entre o homem, a natureza e o divino. Para Schelling: a natureza não é um amontoado de matéria morta, é algo vivo e bem ativo em essência (SELOW, 2007); o homem, também dinâmico, faz parte da natureza viva; o sujeito faz parte do objeto, encontra-se a ele integrado; sujeito e objeto são inseparáveis. Os cientistas românticos defendiam uma compreensão da natureza e dos fenômenos condicionada por uma relação de contemplação - mais do que isso, de adoração -, de harmonia, de prazer entre sujeito-homem e objeto-natureza (FETZ, 2012). Para os românticos, os cientistas modernos deveriam se harmonizar com a natureza, e não - danosamente - tentar controlá-la. De acordo com Schelling, a *Naturphilosophie* opera - ou ao

menos pretende operar - de modo distinto: não exige que a natureza responda um questionário imposto; substitui a "metodologia da coação" pela "metodologia da contemplação" - a "*humanidade deveria cuidar e apreciar a natureza*", ao invés de tentar controlá-la (HADZIGEORGIOU; SCHULZ, 2014). Os românticos buscavam o fortalecimento da ideia de aprender com a natureza (SAHLINS, 1997).

À ciência faltava um tanto de sensibilidade, acreditavam os cientistas românticos (FETZ, 2012). A ciência romântica enfatizava e estimulava o pensamento imaginativo, criativo (HADZIGEORGIOU; SCHULZ, 2014). Segundo Franca Neto (2011), os *Naturphilosophen* caminhavam concomitantemente por entre a razão analítica e a alma inspirada. Com a emergência da *Naturphilosophie*, avançara uma visão ambígua, fundamentada tanto pela lógica quanto pela intuição, baseada na busca por uma harmonia entre razão e emoção. Para os românticos e, por conseguinte, para Schelling, a razão, embora útil, é limitada - incapaz de alcançar a essência das coisas (ABBAGNANO, 1982); os românticos buscavam ultrapassar os limites de um modelo explicativo que, apesar de produzir conhecimentos aproveitáveis, no que tange à sintese do todo, não se mostrava vantajoso; os *Naturphilosophen* pretendiam ir além dos limites da razão, assim como pretendiam ir além dos limites mecânicos (FETZ, 2012). Schelling almejara o atingimento da coisa-em-si kantiana, da forma arquetípica de Goethe, da ideia de Platão, da essência dos objetos; tal objetivo movia Schelling.

De acordo com Videira (2011), para aqueles os quais abraçaram o caminho científico chamado de *Naturphilosophie*, Goethe fora uma das principais inspirações; os *Naturphilosophen* harmonizavam-se com as ideias de Goethe. Tais ideias já sobressaltavam a necessidade de uma nova visão - muito menos analítica e, destarte, mais sintética. A ciência deveria seguir uma metodologia próxima daquela apontada por Goethe, diziam os Românticos (WELLS, 2007); segundo Novalis (*apud* BORNHEIM, 2008, p.96), "*Goethe deveria ser o sacerdote desta nova física*". Coube a Schelling desenvolver algo que, em Goethe, encontrava-se em estado rudimentar (BARBOZA, 2001). Schelling erigiu tal "*nova física*" (GONÇALVES, 2005, p.76). Assim como Goethe, Schelling defendera um caminho - visão de natureza e de ciência - diferente daquele o qual determinava a prática científica moderna (HADZIGEORGIOU & SCHULZ, 2014; SELOW, 2007). Tanto Schelling quanto Goethe opuseram-se ao mecanicismo à época dominante (SELOW, 2007).

V.3.4 Física e especulação assumida

Para Schelling (2001, p.141), aquele que

> "*ascendeu ao ponto de vista da*" *Naturphilosophie*, "*quem possui a intuição que ela exige e o seu método, dificilmente pode deixar de admitir que ela se põe em posição de resolver, com segurança e necessidade, precisamente os*

> *problemas aparentemente impenetráveis pela investigação da natureza existente até hoje*".

Segundo Schelling (2001, p.141), "*depois do modo cego e desprovido de ideias da investigação natural, que desde a corrupção da filosofia por Bacon, da física por Boyle e Newton, se afirmou universalmente*", com a física especulativa ou "*filosofia da natureza (...) começa um conhecimento superior da natureza; constitui-se um novo órgão para intuir e conceber a natureza*". Segundo os *Naturphilosophen*, durante o acompanhamento do ritmo próprio da natureza, aquele que a respeita profundamente - atinado sujeito cognoscente, portador de uma intuição intelectual apurada - harmoniza-se com a mesma e, por conseguinte, apreende não só seu *modus operandi*, atinge seu âmago.

De acordo com Schelling (2004, pp.194-195), "*concisamente*", podemos chamar a *Naturphilosophie* de "S*pinozismo da física*" ou "*física especulativa*". A especulação fora um dos traços mais característicos dos *Naturphilosophen* (BRÜSEKE, 2004); e isso, pois Schelling quis ir além: dos produtos da ciência iluminista; da análise quantitativa; da então típica descrição das regularidades naturais expressas pelas leis - matemáticas - científicas. Para cumprir tal objetivo, Schelling estabeleceu uma série de princípios *a priori* - relacionados com a natureza e com os efeitos ou fenômenos naturais. Schelling não seguiu pelo caminho investigativo experimental - foi um teórico - todavia, interessava-se muito pela experimentação. Schelling valorizara o dado empírico (AMORA, 2010). "*A ênfase na experiência é a base da epistemologia romântica*", ao contrário do que tantos pensam (DUARTE, 2004, p.11). De acordo com Schelling, entre teoria e empiria deveria haver uma convergência. Em Schelling, experimentação e especulação são inseparáveis (BARBOZA, 2001) - não há "*cisão entre experiência e especulação*" (SCHELLING, 2001, p.87). Não cabe, portanto, dizer que Schelling e os *Naturphilosophen* eram avessos à experimentação. J. Ritter (1776-1810), por exemplo, um cientista declaradamente romântico, realizara diversos experimentos; Oersted também. As publicações de Ritter abrangiam desde estudos fisiológicos, até químicos, elétricos, magnéticos e ópticos. Ritter interessava-se muito pelo galvanismo (GOWER, 1973). Gower (1973) salienta que "*Ritter era conhecido como 'o físico dos Românticos'*". Nas palavras de Novalis (*apud* KLEINERT, 2002, p.33): "*Ritter é o cavaleiro, e o resto de nós somos os escudeiros*". Ritter fora amigo de Herder - quem apresentou-o a Novalis, Schelling, F. Schlegel, dentre outros românticos (GOWER, 1973). É interessante notar que Volta e Ritter admiravam-se mutuamente - embora, para Volta, Ritter exagerasse em certos momentos. Segundo Volta (*apud* KLEINERT, 2002, p.37), Ritter nutria algumas "*visões (...) muito transcendentes*". Volta não mostrou-se explicitamente atraído pelas ideias defendidas pelos *Naturphilosophen*.

Apesar do nome "física especulativa", tal programa voltara-se para as diversas ciências então existentes; tratava-se de uma perspectiva unificadora a qual visava uma possível conexão entre os diversos fenômenos naturais - uma síntese entre as diversas

partes componentes do todo natural-fenomênico. Os *Naturphilosophen* buscaram intensamente a unificação do todo, a síntese da totalidade, ou seja, a superação dos ditos dualismos - separações supostamente permanentes - apregoados por Kant. Segundo Schelling (2001, p.41), deve-se "*considerar a especulação em geral como um simples meio*" - através do qual torna-se possível "*suprimir aquela separação para sempre*".

Diversas foram as inspirações as quais alicerçaram o pensamento romântico. Notadamente, houve uma grande influência de certas ideias de Spinoza e também de Leibniz sobre a obra de Schelling (GONÇALVES, 2010; SILVEIRA, 2012). No que tange à busca pela resolução - aproximação - dos contrastes - dualismos anteriormente referidos - e, por conseguinte, na busca pela unificação do todo, os quadros conceituais elaborados por Spinoza e Leibniz inspiraram os *Naturphilosophen* (RUEGER, 2012). De acordo com Beiser (1987), o panteísmo spinozano foi bastante importante para os sistemas filosófico-especulativos pós-kantianos. O imanentismo extremo spinozano influenciou demasiadamente Schelling; tal imanentismo justifica o enorme apreço pela natureza nutrido pelos românticos. Para esses indivíduos, conhecer a natureza significava conhecer a própria divindade (FEDELI, 2004).

Em Leibniz, o conceito de causa imanente relaciona-se com aquele de mônada. O Romantismo foi um fenômeno monista. Leibniz fora muitíssimo importante, no que concerne à edificação do pensamento filosófico-científico alemão do final do séc. XVIII e início do séc. XIX (CASSIRER, 1992). O conceito leibniziano de mônada foi demasiadamente caro aos românticos - algo que transparece na *Naturphilosophie* schellinguiana. Notadamente, Leibniz buscou um princípio unificador - e falou de tal princípio fundamental em termos de uma possível conservação da *vis* (força). Segundo Leibniz (*apud* ELKANA, 1975): a *vis* é uma entidade metafísica, a essência da matéria ou o principal atributo de uma mônada; em última instância, a mônada serve como generalização do conceito de força. Aquilo que Schelling chamou de unidade é o mesmo que Leibniz entendera como mônada - e outros, como Platão, entenderam como ideias. O caráter unificador das mônadas é decorrente da seguinte ideia: a mônada agrega a matéria e o espírito, ou seja, resolve um possível dualismo. Para Leibniz, tal mônada dissolve quaisquer possíveis diferenças entre multiplicidade e unidade - visto que trata-se da expressão do múltiplo no uno. De acordo com Cassirer (1992, p.56), a mônada é "*um todo dinâmico que só se pode manifestar numa profusão, digamos até, numa infinidade de efeitos variados e que, no entanto, embora diferenciando-se infinitamente nas expressões de sua força, conserva-se como um centro de força, único e vivo*".

Os *Naturphilosophen* encontraram terreno fértil nas ideias de Leibniz. Magalhães (2005) afirma que certas concepções herdadas pelos *Naturphilosophen* - como aquela, segundo a qual, a ciência também deveria voltar-se para a questão da essência das coisas -

foram legadas por Leibniz. Diz Kuhn (2011) que certos enunciados leibnizianos podem ser encontrados nas obras dos cientistas românticos.

No interior do movimento romântico é explicitamente valorizada a metafísica, à época considerada pelos cientistas modernos digna de repúdio - muito embora fosse inconscientemente ou até conscientemente, entretanto, não assumidademente e inevitavelmente praticada (SILVEIRA, 2012). Algo que na ciência moderna é velado, na ciência romântica é explícito (FETZ, 2012). A *Naturphilosophie* foi declaradamente especulativa e intuitiva. Ao expor sua *Naturphilosophie*, Schelling mesclara certas ponderações metodológicas, considerações metafísicas e também empíricas. Uma característica dos *Naturphilosophen* é a "*preocupação com questões metafísicas de natureza muito ampla e abstrata*" (GOWER, 1973, p.302). Gower (1973, p.302) afirma que, para os *Naturphilosophen*, "*o pensamento científico incorpora, ou depende de, considerações a priori que podem, e devem, ser elucidadas dentro de contextos metafísicos*"; para os *Naturphilosophen*, a metafísica não pode ser ignorada pela ciência - e isso, pois com o auxílio da metafísica, supunham, poder-se-ia recuperar a unidade do todo (SILVEIRA, 2012).

Schelling enxergara o estado da filosofia de seu tempo da seguinte forma: "*não terminou.* Schelling almejara ser um continuador do legado que Kant deixara; para Schelling (*apud* GONÇALVES, 2010, p.12), Kant havia dado "*os resultados*", contudo, *ainda faltam as premissas. E quem pode entender resultados sem premissas?*" Pode-se dizer que Schelling desenvolvera uma resolução coerente para as questões soerguidas pelas filosofias de Kant e Fichte - basicamente, aquelas relacionadas com os supostamente intransponíveis dualismos apregoados por Kant. Os primeiros trabalhos de Schelling foram grandemente inspirados por Fichte (GONÇALVES, 2010). De acordo com Schelling, Fichte havia adiantado a filosofia significativamente; entretanto, Schelling não concordara com tudo aquilo que dissera Fichte. A partir de temas e questões soerguidas por Kant - "*aporias concernentes à 'coisa em si'*", por exemplo (BAUSOLA, 2002, p.660) - e Fichte, Schelling: tentara redirecionar o curso da teorização científica (BAUSOLA, 2002); procurara discernir com clareza "*as condições de possibilidade de um saber, em relação à natureza*" o qual nem "*transformasse esta última num simples produto da reflexão do Eu*" nem a "*incluísse (...) no campo da 'coisa em si'*" (BAUSOLA, 2002, p.661); tentara estabelecer "*os princípios gerais que permitissem compreender a natureza além dos termos do rígido mecanicismo*" (BAUSOLA, 2002, p.661); buscara "*expressar o espírito do mundo ou da vida, da misteriosa união orgânica de todas as coisas com as demais, e de muitas outras coisas que resistiam a uma precisa aferição quantitativa ou a uma clareza cartesiana*" (HOBSBAWN, 2012, p.460).

V.3.5 Fichte, Schelling e o eu

Segundo F. Schlegel (*apud* TORRES FILHO, 1980, p.XIII), a "*Revolução Francesa, o Wilhelm Meister*" (Os anos de aprendizado de *Wilhelm Meister*) - obra publicada em 1795, por Goethe - "*e a Doutrina da Ciência de Fichte*" constituíam "*as linhas mestras*" de seu tempo. De acordo com Bornheim (2008), os românticos interessaram-se logo cedo pelos escritos de Fichte - principalmente pela *Doutrina da Ciência*, obra de 1794. Tendo em vista a resolução dos dualismos - entendimento e sensibilidade, númeno e fenômeno, ideal e real, espírito e matéria (BORNHEIM, 2008), sujeito e objeto, natureza orgânica e inorgânica (GARE, 2011), razão teórica e razão prática etc. - até então apregoados por Kant, Fichte soerguera certo princípio metafísico - ativo e dinâmico - hipoteticamente capaz de promover a almejada unificação do todo; Fichte foi um daqueles que tentaram superar tais dualismos. Pode-se dizer que Fichte cumpriu parcialmente aquilo que pretendia - e isso motivou os românticos. Fichte chamara o princípio referido de "eu" (TORRES FILHO, 1980), "*aquilo que o homem traz em si de divino e absoluto*" - algo que supostamente permite-nos (a nós, homens) "*compreender (...) todo o processo da realidade, o advento do eu individual e do mundo que o cerca*" (BORNHEIM, 2008, p.86).

Fichte concebera um eu dito puro ou absoluto - egoidade (ROVIGHI, 2002; TORRES FILHO, 1980) - e outro que chamara de individual - finito ou particular. Podemos pensar no eu fichteano como um conjunto de: sensações; emoções; fragmentos de memórias, esperanças e medos etc. Segundo Torres Filho (1980, p.IX), o eu é algo que "*encerra em si a estrutura de todo e qualquer conhecimento teórico, ao mesmo tempo que o fundamento de toda e qualquer ação prática do homem*" - não se trata de um objeto o qual possamos imediatamente perceber e sim daquilo que mantém unidas "*as experiências a partir das quais foram formadas a personalidade humana e a história humana*" (BERLIN, 2013, Unbridled Romanticism, 3/66). Para Fichte, o eu puro é: ação criadora - ou atividade produtora; a realidade originária (ROVIGHI, 2002); uma "*realidade essencialmente dinâmica, função pura, atividade infinita e ilimitada*" (BORNHEIM, 2008, p.87); "*o sentido de toda a realidade (...) e não tudo na realidade efetiva*". Tal eu, segundo Rosales (2005, p.121), tem "*por tarefa (...) configurar racionalmente toda essa realidade*" - efetiva. Assim, em última instância, tudo é fruto da atividade pura do eu.

Cabe dizer que Fichte ainda falara de um não-eu. Para Schelling, o não-eu é apenas o eu ainda inconsciente - sem ciência de si. Em Fichte, a natureza, por exemplo, é um puro não-eu - pura objetividade, instrumentalizável pelo eu. De acordo com Fichte, o eu põe a si mesmo como determinado pelo não-eu - ou seja, o não-eu é a condição de possibilidade do eu finito e vice-versa (ROVIGHI, 2002; TORRES FILHO, 1980). Segundo Fichte, o não-eu é aquele ou aquilo que opõe-se ao - parcialmente e, portanto, não absolutamente - e ao mesmo

tempo determina - visto que limita - o eu dito divisível - posto pelo eu puro. Diz Kroner (*apud* ROVIGHI, 2002, p.643) que, dessa maneira, "*Fichte exprime a relação entre Deus (Eu absoluto), eu (consciência humana limitada) e mundo: Deus se autolimita para se tornar uma consciência finita, que tem um objeto (mundo) diante de si*".

Schelling também considerou fundamental a superação da dicotomia apregoada por Kant; Schelling, assim como Fichte - a quem seguiu com entusiasmo por certo período -, viu nisso algo imprescindível. A noção de eu inspirara Schelling grandemente - que, por sua vez, também discutira o conceito amplamente. O eu schellinguiano: é "*cósmico*"; é tanto "*sujeito*" quanto "*saber de si*"; é genético, visto que dele "*procedem real e idealmente todas as coisas naturais e racionais*"; limitando-se dialeticamente, "*dá origem material e formal a todos os fenômenos de nossa experiência*" (ROSALES, 2005, p.121); "*contém em si toda a realidade*" (ROSALES, 2005, p.124). Segundo Schelling (2001), o eu e o mundo são, em essência, a mesma coisa - ontologicamente idênticos -, algo que adiante discutiremos mais detalhadamente.

De acordo com Schelling (*apud* ROSALES, 2005, p.125), o eu é "*a causa originária e imanente de tudo*" - "*do ser, (...) da essência de tudo*"; ainda segundo Schelling (*apud* ROSALES, 2005, p.125), o eu - "*poder absoluto*" - é "*a fonte originária de toda realidade*", "*um mundo inteiramente encerrado em si, uma mônada*" (SCHELLING *apud* ROSALES, 2005, p.130). O eu absoluto schellinguiano é aquele ainda não-condicionado por objeto algum - portanto, um eu puro. Barboza (2001) afirma que, em Schelling, "*Deus não é senão o Eu absoluto*" - infinito e incondicionado (BARBOZA, 2001). Em Schelling, podemos equiparar os termos origem, uno, absoluto, infinito, Deus, divindade, eu puro, espírito e ideia, dentre outros.

V.3.6 Intuição intelectual em prol do atingimento da coisa-em-si

E tal eu - mencionado anteriormente -, acreditavam os *Naturphilosophen* - e Fichte antes desses (TORRES FILHO, 1980) -, pode ser apreendido. De acordo com Schelling, através de certa faculdade, a chamada intuição intelectual - uma "*analogia ideal de nossa faculdade intuitiva finita*" -, o homem é capaz de atingir o eu puro - sua estrutura e seus princípios (SANTORO, 2007, p.261).

Segundo Fetz (2012), como poetas da natureza, os *Naturphilosophen* tinham plena liberdade - artístico-poética. A física especulativa, uma vez que valoriza indiscriminadamente tanto a intuição quanto a imaginação - poéticas -, poderia ir mais além do que a - para os românticos, cerceadora - ciência racional e analítica, acreditava Schelling (AMORA, 2010; FRANCA NETO, 2011). De acordo com Schelling (2001), através da física especulativa, poder-se-ia interpretar a natureza de modo universal - total e pleno; e isso num sentido oposto aquele que devassa a natureza em busca de respostas. Para Schelling, os cientistas românticos portadores de tal faculdade - misteriosa - desenvolvida poderiam envolver-se e,

por conseguinte, comunicar-se profundamente com a essência natural. Segundo os românticos, a intuição intelectual possibilita ao homem o atingimento do cerne das coisas - da coisa-em-si kantiana (GOWER, 1973); além disso, tal intuição, supunham os românticos, viabiliza ao homem o conhecimento supremo de si e do absoluto, ou seja, de Deus (NUNES & SILVA, 2010; PUENTE, 1997).

Diz Puente (1997, p.29) que a discussão acerca da "*possibilidade de uma intuição intelectual demarca o limite entre a filosofia de Kant*" e a de Fichte - e, em sucessão, a de Schelling. Kant rechaçara a intuição intelectual - julgou-a ilegítima (BORNHEIM, 2008). Schelling - a exemplo de Fichte - buscou restituí-la; e isso, uma vez que a considerava de suma importância epistemológica (GARE, 2011).

Schelling (2001, pp.39-41) opôs-se a certas considerações kantianas, principalmente a que torna permanente a separação entre o homem e a coisa-em-si; para Kant, a coisa-em-si "*não pode ser alcançada, nem pela intuição ou pela imaginação, nem pelo entendimento ou pela razão*". Kant (2003) considerara as coisas-em-si - numenais - incognoscíveis, inatingíveis, inalcançáveis. Para Kant (2003), a ciência jamais poderia revelar o íntimo das coisas, isto é, o que não é fenômeno. De acordo com Schelling, existe um vínculo inerente entre as coisas-em-si e o sujeito cognoscente - assim como entre os mesmos e as coisas empíricas ou fenomenais (SCHELLING, 2001). Para que sejamos mais precisos, Schelling (2001) mostra-se avesso à ideia kantiana de coisa-em-si.

Diz Puente (1997, pp.32-33) que "*Schelling queria instaurar a 'intuição intelectual' como fundamento da filosofia da Natureza e da filosofia da arte*". Tal intuição - para Schelling, interna e basilar - propiciaria a contemplação efetiva da natureza - mais do que isso, somente "*a intuição poética pode captar o sentido da natureza*", acreditava Schelling (BORNHEIM, 2008, p.97).

Afirma Novalis (*apud* BARBOZA, 2001, p.266) que "*sem intuição intelectual não se encontra (...) 'onde mundo interior e exterior se tocam' e se 'compenetram'*" - o "*sítio da alma*"; por conseguinte, prossegue Novalis, torna-se indecifrável "*a realidade dos seres*". "*Intuir o Universo (...) é a fórmula universal e suprema religião (...), com base na qual se pode definir da maneira mais exata a sua*" - do Universo - "*natureza e os seus limites*", assevera Schleiermacher (*apud* PUPI, 2002, p.630). Segundo Novalis (*apud* BARBOZA, 2001, p.266), na "*intuição intelectual se encontra a chave da vida*". De acordo com Schelling, através da referida intuição - e do inseparável sentimento (PUPI, 2002) -, avança-se na compreensão do enigma do orgânico - e do todo; e isso, pois, segundo Schelling, são removidos os limites impostos ao entendimento - ao conhecimento (BARBOZA, 2001).

Para Schelling (*apud* BARBOZA, 2001, p.284), a intuição intelectual é "*um poder misterioso, maravilhoso*" e que "*aparece quando quem intui, recolhido em si mesmo, é idêntico com o que é intuído*"; recolhemo-nos, prossegue Schelling, "*para o nosso mais*

íntimo, de tudo o que vem do exterior para o nosso eu desnudado e, assim, sob a forma da imutabilidade", temos condições de intuir "*o eterno em nós*" (*apud* BARBOZA, 2001, p.284). Schelling também defendera um processo de interiorização - um retorno à interioridade; em Schelling, tal processo - de autoconscientização ou autocontemplação - relaciona-se com a ideia de intuição intelectual - via de acesso a qual permitiria ao homem, supunha Schelling, o atingimento ou (re)conhecimento do absoluto que nele habita ou mesmo de todo e qualquer conhecimento dito verdadeiro. Tão "*somente em nosso cerne mais íntimo*" podemos "*contemplar o Absoluto*", conjectura Schelling (PUENTE, 1997, p.30).

V.3.7 Unidade/totalidade na ciência romântica

Para Schelling (2001, pp.81-83), "*o infinito e o finito (...) se encontram (...) em nós (...) originariamente juntos e inseparáveis*"; e somente "*no conceito de individualidade*", prossegue Schelling, "*se encontra originariamente unido aquilo que a restante filosofia separa*". O "*finito e o infinito se encontram originariamente ligados (...) na essência de uma natureza individual*" - e "*é precisamente nesta unidade originária que consiste a natureza do nosso espírito e a totalidade da nossa existência espiritual*" -, diz Schelling (2001, p.83). Em nós, conjectura Schelling (2001, p.83), não pode "*existir nada de infinito sem que, ao mesmo tempo, exista algo de finito*", visto que em nós "*existe originariamente aquela unidade necessária do ideal e do real, do absolutamente activo e do absolutamente passivo (...), e é nisso precisamente que consiste*" a nossa natureza (SCHELLING, 2001, p.83). Para Spinoza, "*o ideal e o real*" - "*o pensamento e o objecto*" - "estão *unidos da forma mais íntima*". "*Conceitos e coisas, pensamento e extensão, eram, para ele, uma e a mesma coisa, ambos eram apenas modificações de uma mesma natureza ideal*" (SCHELLING, 2001, pp.79-81). Segundo Schelling (*apud* GOWER, 1973, p.312), para Spinoza, uma vez que ideias, coisas fora de nós e conceitos relacionam-se intimamente, "*o ideal e o real (...) estão intimamente unidos*" dentro de nós.

Talvez a principal ideia presente na ciência romântica seja a de unidade; e essa ideia relaciona-se com a de totalidade (HADZIGEORGIOU; SCHULZ, 2014). De acordo com Hadzigeorgiou & Schulz (2014, p.12), embora "*a ideia de unidade por si só não possa ser considerada uma prerrogativa do movimento romântico*", os indivíduos componentes desse movimento conduziram um tipo de abordagem exclusivo frente às questões naturais-fenomênicas. O diferencial romântico encontra-se na ideia de totalidade, "*vital para a metodologia romântica*" e absolutamente distintiva, no que tange à atitude dos românticos diante da natureza; pelos românticos, "*cientistas e natureza eram (...) considerados*" uma só coisa ou "*aspectos de um todo unificado*" (HADZIGEORGIOU; SCHULZ, 2014, p.12). No contexto referido, as ideias de unidade e totalidade são interdependentes; tais ideias

acompanham a suposição de uma possível síntese - e, como dito anteriormente, os *Naturphilosophen* buscaram incessantemente a promoção dessa síntese.

Para Schelling, o primeiro postulado da filosofia deve expressar a síntese entre o eu e o mundo - deve servir para que seja conhecida a "*unidade ontológica da qual ambos*", enquanto sujeito e objeto, "*são derivados*" (PETERSON, 2004, p.XV). Diz Santoro (2007, p.261) que "*todo desenvolvimento da filosofia pós-kantiana pode ser visto como uma constante tentativa de compreender a relação epistêmica entre sujeito e objeto (...) a relação ontológica entre consciência e mundo*". Suponhamos um sujeito cognoscente e um objeto cognoscível. Um ato bem sucedido qualquer de conhecer tem como efeito um conhecimento. Pode-se dizer que tal conhecimento consiste numa união profícua entre o sujeito cognoscente e o objeto cognoscível referidos. De acordo com Schelling, tal união somente é possível, pois existe algo que subjaz a ambos (PETERSON, 2004).

De acordo com Schelling (2001, p.79), Spinoza - alguém que muito o influenciara - "*desde muito cedo se preocupou com a conexão das nossas ideias com as coisas fora de nós e não poderia suportar a separação que se estabelecera entre ambas*" - ou seja, Spinoza já voltava-se para o viés sintético. Para que seja possível uma síntese, torna-se indispensável que ao menos dois termos aparentemente distintos coexistam. Para que a síntese ocorra, tais dois ou mais termos devem ser unificados através de um meio ou outro termo comum ao qual associa-se um conceito específico. O "*esforço que produz uma síntese em cada ato de conhecer, uma reunião entre sujeito e objeto, em última instância exige a afirmação de uma tal unidade como princípio*" (PETERSON, 2004, p.XVI).

As ideias de unidade e totalidade relacionam-se com a hipótese fundamental da *Naturphilosophie* schellinguiana: aquela, segundo a qual, mundo ideal e real, orgânico e inorgânico, sujeito e objeto... em suma, tudo e todos são essencialmente idênticos. Como dito previamente, no que tange aos fenômenos naturais, os *Naturphilosophen*: especularam acerca de uma possível conexão entre os mesmos; falaram sobre uma unidade oculta, subjacente ao todo natural, por trás da multiplicidade - da diversidade evidente de seres, de processos, de fenômenos - diante dos olhos, ou seja, sentida por qualquer observador. Schelling defendera a existência de algo comum a absolutamente tudo que existe - essencial a todas as coisas existentes (FETZ, 2012); a síntese - exaustivamente discutida por Schelling - dirigia-se à tudo: aos fenômenos, à natureza, aos domínios sócio-culturais etc.

Na busca por uma conexão profunda, supostamente existente entre as coisas - qualquer coisa -, Schelling voltara-se para o âmago dessas - essência que, acreditava, permitiria justificar tal conexão. Ao falarmos de essência, nos referimos a "*algo interno que determina o que um ser realmente é*" - "*o elemento primeiro, mais nobre, mais importante, mais necessário, sim, indispensável*". "*A aparência é algo externo*", "*secundário*" e ao qual não dever-se-ia dar tanta importância, diziam os *Naturphilosophen*. Essência e aparência - as

oposições, tese e antítese, de um modo geral - se complementam - determinam-se mutuamente; uma não faz sentido sem a outra (LIMA, 2005, pp.275-276) - algo que justifica a assunção de uma suposta complementaridade entre as ideias de unidade e totalidade.

Segundo Rosales (2005), Schelling interpretara e resignificara alguns conceitos kantianos e fichteanos mediante certos parâmetros platônicos e spinozanos. A filosofia jônica e a de Platão inspiraram grandemente o pensamento de Schelling (GONÇALVES, 2010); Puente (1997, p.17) assinala a influência da tradição neoplatônica sobre Schelling. "*O elemento mais importante dessa tradição é o reconhecimento de uma 'estrutura de similaridade entre o homem e a Origem'*". Para Plotino, tal similitude é "*condição ontológica para que o homem possa alcançar o próprio Uno*" (BEIERWALTES, 1972 *apud* PUENTE, 1997, p.17), "*apreender o próprio Absoluto*" (PUENTE, 1997, p.17).

Schelling (2001) opusera-se às doutrinas que apregoam uma suposta relação transcendente entre certo princípio criador e um produto pelo mesmo criado; tradições as quais difundem um distanciamento entre - as naturezas de - ambos. Como Spinoza, Schelling defendera a noção de imanência - segundo a qual, "*Deus se determina como uma causa que se constitui ao manifestar-se em (...) atributos (...) que exprimem a essência absolutamente infinita*" do mesmo; em Schelling (2001), assim como em Spinoza, Deus identifica-se com a natureza - o mundo ideal (divino ou essencial) figura como natureza, ou seja, a natureza é a figuração da essência: "*Todas as coisas são em Deus, na medida em que Deus mesmo se realiza nelas*" (EZCURDIA, 2008, pp.13-14). Em Schelling, o absoluto - um e único - não é somente causa do Universo; visto que coincide com tudo o que existe, o absoluto é - para Schelling - o próprio Universo. Logo, em Schelling, o absoluto - que também pode ser chamado de Deus - é causa imanente de si mesmo (COELLO, 2005).

Schelling acreditara em tal relação intrínseca - certa identidade fundamental - entre o homem e o supositício princípio de tudo; Schelling estendeu tal ideia ao todo - a tudo. Diz Schelling (2001, p.51) que Spinoza fora o primeiro a considerar tais coisas, "*em plena consciência, como uma só (...), e o pensamento e a extensão apenas como modificações do mesmo princípio*". Tal visão apregoada por Spinoza "*foi o primeiro projecto audaz (...) que compreendia, de modo imediato, o finito na ideia de infinito*" - e, assim, poder-se-ia, de alguma maneira, alcançar tal princípio (AMORA, 2010). Para Schelling (2001, p.127), o absoluto: "*é necessariamente pura identidade*" - "*a mesma essência do subjectivo e do objectivo*";

> "*é um acto de conhecimento eterno, que é, em si mesmo, matéria e forma, é um produzir, no qual, de modo eterno, na sua totalidade como ideia, como identidade pura, se torna a si mesmo real, em forma e, inversamente, de modo igualmente eterno, se dissolve a si mesmo como forma e, nessa medida, como objecto, na essência ou no sujeito*" (SCHELLING, 2001, p.129).

Pensemos o absoluto - algo, para Fichte, impossível, visto que, segundo o mesmo, "*Deus não é para o pensamento*" (*apud* SANTORO, 2007, p.265) -, diz Schelling (2001, p.129),

> "*puramente como matéria, pura identidade, absolutidade pura; ora, como a sua essência é um produzir e ele só pode tomar de si mesmo a sua forma, sendo ele próprio, contudo, pura identidade, então a forma tem de ser, também, esta identidade e, portanto, a essência e a forma são nele, necessariamente, uma e a mesma coisa, a saber, a pura absolutidade*".

Segundo Schelling (2001), a essência é universal e a forma é particular - a coisa particular ou empírica é apenas um momento do ato eterno de transformação da essência em forma. Em Schelling: a finitude é tão somente uma forma determinada do ser - da identidade absoluta; a diversidade aparente não implica numa heterogeneidade essencial (SILVEIRA, 2012); a diversidade é meramente não-essencial, uma figuração do infinito no finito - ou do ideal no real etc., supostas partes funcionais de um mesmo processo; aparente é aquilo que "*não reside na própria absolutidade, que*", por sua vez, "*permanece a mesma, mas apenas em que, num dos actos, como essência, se torna indivisamente em forma, no outro acto, como forma, se torna indivisamente em essência, constituindo-se assim eternamente em unidade consigo própria*" - tese, antítese e síntese (SCHELLING, 2001, p.129).

No absoluto - em Deus e, por conseguinte, também na natureza -, supunha Schelling, existe uma identidade essencial entre os contrários (TORRES FILHO, 1979) - ou seja, em essência, tanto os opostos como também tudo aquilo que difere em forma, são todos idênticos. Tudo é identidade, acreditara Schelling (SCHELLING, 2001) - as diferenças são quimeras as quais relacionam-se tão somente com as formas particulares dos objetos. Segundo Schelling: a totalidade exige a unidade (BARBOZA, 2001); a essência do todo é una, o âmago de tudo é idêntico.

V.3.8 Origem do mundo

Como explicar, através das teorias mecânicas, por exemplo, "*a origem de um ramo de relva*"? Como explicar a vida (BARBOZA, 2001, p.263)? De acordo com Morujão (2001, p.14), Schelling tentara resolver "*o problema da origem do mundo*"; Schelling conjecturou acerca do processo de constituição da matéria - um suposto processo de objetivação do espírito (GONÇALVES, 2005). Em Schelling (2001), natureza e espírito são como desdobramentos - imanentes - de uma mesma coisa, estágios de um mesmo todo que paulatinamente se torna autoconsciente, ou seja, consciente de si próprio. Schelling (2001) afirma que o sistema da natureza é ao mesmo tempo o sistema do nosso espírito. Para Schelling, a

> "*origem do mundo encontra-se, então, na actividade sintética do espírito, no movimento (que tem origem nas profundezas da sua natureza) pelo qual ele*

> *liga, de um determinado modo, as representações que constituem a sua própria vida. O espírito não é senão as suas próprias representações, as quais, pelo seu lado, resultam livremente do seu modo de agir*" (MORUJÃO, 2001, p.19).

Existe, segundo Schelling, "*uma harmonia pré-determinada entre espírito ou idéia e natureza ou realidade*" (GONÇALVES, 2005, p.79). Tal ideia apriorística de harmonia - de acordo com Gonçalves (2010, p.21), uma "*tese de Leibniz (...) capaz de unificar o todo*" e que muito inspirara Schelling - conduz à hipotética indiferença entre espírito e natureza, por exemplo. Para Schelling (2001, p.115), a "*natureza deve ser o espírito visível, o espírito a natureza invisível*" - afirmativa que possivelmente resume toda a filosofia schellinguiana.

Diz Schelling (2001) que o espírito visível deve ser a chamada - por Spinoza (BARBOZA, 2001) - *natura naturata* ou natureza-produto, enquanto que a *natura naturans* ou natureza-produtividade deve ser a matéria invisível. Segundo Schelling (2001), a segunda - produto - é cognoscível através da intuição intelectual e a primeira - produto - é trivialmente perceptível através das experiências sensíveis - basta que abramos nossos olhos ou sintamos aquilo que nos circunda, por exemplo (BARBOZA, 2001). Para Schelling (2001, p.135), a "*natureza em si mesma, ou (...) eterna, é justamente o espírito nascido na objectividade, a essência de Deus introduzida na forma*. (...) *A natureza fenomenal, pelo contrário, é a informação fenomenal da essência na forma*". Em Schelling, a *natura naturans*, "*ativa idealidade produtiva*", manifesta-se - e, por conseguinte, realiza-se - como *natura naturata*, "*dinâmica realidade empírica*" (BARBOZA, 2001, p.254); em Schelling, tais conceitos são interdependentes (EZCURDIA, 2008).

Segundo Schelling (2001, p.99),

> "*desde tempos remotos que o espírito humano foi conduzido (...) à ideia de uma ligação originária, nas coisas, entre o espírito e a matéria. Viu-se forçado a procurar o fundamento destas coisas, por um lado na própria natureza, por outro, num princípio que se elevou acima da natureza; daí chegou a pensar, desde muito cedo, o espírito e a matéria como um só*";

e "*pela primeira vez (...) ideal e real, são originariamente uma e a mesma coisa*" - "*como duas dimensões de um mesmo e único todo absoluto*" (GONÇALVES, 2010, p.11).

Em Schelling, de início,

> "*a ideia encontra-se (...) em uma espécie de 'estado de sono da matéria' (...) como 'natureza inconsciente'. A liberdade ou autoconsciência humana constitui, assim, o completo despertar do sono da matéria. Essa liberdade (...) serve (...) como pressuposto e mesmo como condição de possibilidade para a construção de um pensamento especulativo sobre a natureza*" (apud GONÇALVES, 2010, p.11).

Para Schelling, o mundo real ou natural "*se apresenta como 'reflexo', 'expressão' ou 'reprodução' (...) da liberdade da autoprodução da ideia, que é absoluta*" (GONÇALVES, 2010, p.11).

Schelling discutira amplamente acerca de uma suposta transição da natureza-produtividade para a natureza-produto - para o dito mundo fenomênico. Em Schelling, a "*produtividade absoluta transparece em natureza empírica*" (BARBOZA, 2001, p.254). Diz Schelling (2001) que a natureza é um todo organizando-se a si mesmo e organizado a partir de si mesmo - *natura naturans* e *natura naturata*, impulso infinito de expansão e rastros finitos de sua própria presença; e isso, pois não há produtividade sem produto nem produto sem produtividade - algo diferente disso seria um contra-senso, atesta Schelling (2001). A natureza - de acordo com Schelling (2001) - é um eterno pôr e transpor - um reproduzir-se a si mesma; tal (auto)produção natural, afirma Schelling (2001), ocorre teleologicamente em graus, em níveis sucessivos, que mostram finalidade intrínseca e estrutural - ou seja, a natureza carrega consigo certa finalidade imanente. As leis naturais, diz Schelling (2001), não provém senão da própria natureza.

Na busca por uma explicação consistente para tal processo transitório, Schelling considerara a obra de K. Kielmeyer (1765-1844) - a qual inspirara-o muitíssimo (BARBOZA, 2001). J. Brown (1735-1788) e Kielmeyer - fundador da anatomia comparada - influenciaram consideravelmente a concepção schelliguiana de organismo (BARBOZA, 2001; GONÇALVES, 2010; KNELLER, 1980).

Em sua doutrina da excitação, Brown referira-se à doença como um tipo de desequilíbrio e à vida como um estado de excitação. Kielmeyer falou sobre três forças biológicas fundamentais - a sensibilidade ou capacidade de reação a uma excitação recebida, a irritabilidade ou capacidade dos músculos de se contraírem e a força reprodutiva - relacionadas com o desenvolvimento do mundo orgânico (BARBOZA, 2001, p.261). Segundo Kielmeyer: a sensibilidade varia de acordo com a superioridade - ou inferioridade - de um ser do reino animal; nas plantas, por exemplo, a sensibilidade já não se encontra atuante; no "*homem, (...) a sensibilidade alcança maior envergadura em face das outras forças*"; quanto "*à irritabilidade*", essa "*aumenta à medida que a sensibilidade diminui*"; a força reprodutiva, por sua vez, "*domina em meio ao primitivismo dos seres orgânicos*" (BARBOZA, 2001, p.262).

Tais ideias foram tomadas por Schelling. Kielmeyer (*apud* GONÇALVES, 2005, p.74) - e, por conseguinte, Schelling - concebera o desenvolvimento da natureza da seguinte forma: "*A força através da qual o desenvolvimento do indivíduo acontece é a mesma força através da qual diferentes organizações da terra são levadas à existência*". Através do conceito de força, Schelling correlacionara o chamado mundo orgânico e o inorgânico. Em Schelling, o orgânico e o inorgânico são frutos de um processo comum (AMORA, 2010); numa postura dinamicista, Schelling tentara explicar o todo natural-fenomênico a partir do conceito de força;

em Schelling, o todo é constituído pela mesma e idêntica força - que se manifesta em planos e graus variados (SILVEIRA, 2012). Para Schelling, naturalmente, o homem - consciente de si - está posicionado num - ou mesmo representa um - grau mais elevado do que os demais seres - animais, vegetais e minerais.

V.3.9 A Força

À época de Kant - declarado apreciador do legado científico de Newton (BERLIN, 2013) -, vigorava o paradigma newtoniano (SILVEIRA, 2002). Segundo Braga et al. (2011, p.42), pode-se dizer que o pensamento de Kant "*ofereceu um caminho seguro para as investigações científicas*" de então, ao mesmo tempo que "*abriu caminho para uma epistemologia e uma metafísica novas, possíveis fundamentos de uma ciência não newtoniana*" (KOYRÉ, 2011, p.272). Kant influenciou Schelling bastante e, por conseguinte, os *Naturphilosophen* (GONÇALVES, 2010). De acordo com Ochoa (2005, p.93), Kant tentara colocar "*a razão em seus limites justos*" - e isso para que não pretendesse "*o que por sua própria natureza não pode alcançar*"; nos limites da razão, Kant erigira certos princípios metafísicos - os quais figuram como demarcadores, além dos quais supostamente e imediatamente encontram-se as coisas-em-si.

"*O contexto, ou paradigma, provido pela física especulativa serviu para encorajar a adoção da (...) teoria dinâmica da natureza*" apregoada por Kant (GOWER, 1973, p.321). Cassirer (1981, p.222) sobressalta o "*carácter central do dinamismo*" ou "*problema das forças*" - amplamente discutido por Kant (1990). A controvérsia entre atomistas e dinamicistas também estava em voga durante o período referido. De acordo com Kleinert (2002), Kant era considerado pelos próprios dinamicistas como o fundador do dinamicismo - ou dinamismo. Kant (1990, p.82) discute a existência de dois caminhos possíveis, no que tange à "*explicação de uma diversidade específica das matérias*": o mecânico - ou atomístico ou corpuscular (SHANAHAN, 1989) - e o dinâmico. O mecânico "*tem como materiais da sua dedução os átomos*" - ou seja, pequenas partes "*da matéria, fisicamente*" indivisíveis, primordiais e impenetráveis - "*e o vazio*". Afirma Kant (1990, p.82) que a "*teoria que explica a diversidade específica das matérias pela constituição e composição das suas mais pequenas partes (...) é a filosofia mecânica da natureza*".

De acordo com Kant (1990, p.84), o caminho dinâmico - que contrapõe o mecânico - explica tal diversidade "*pela simples diferença nas combinações das forças originárias*" - *a priori* - de atração e repulsão - forças fundamentais as quais, segundo Kant, encontram-se no limite de nossa razão; além dessas forças - as quais servem de fundamento "*ao conceito empírico da matéria*" -, diz Kant (1990, p.84), "*nossa razão não pode ir*". Kant (1990) chama de filosofia dinâmica da natureza a teoria que busca explicar a diversidade específica das forças motrizes - originariamente peculiares à matéria - referidas.

Para Kant (1990, p.51), a "*matéria é divisível até ao infinito e, decerto, nas partes, cada uma das quais é, por seu turno, matéria*" (KANT, 1990, p.51); portanto, segundo Kant (1990), faz mais sentido a opção pelo viés dinâmico - em detrimento daquele que defende a ideia de átomo, de composição da "*matéria a partir de partes simples*" (1990, p.54). Kant (1990, p.18) discutira o conceito de matéria através daquilo que chamara de "*metafísica da natureza corpórea*". A matéria, diz Kant (1990, p.25), "*é o que é móvel no espaço*" e que "*enche um espaço*". "*Encher um espaço*", prossegue Kant, "*significa resistir a todo o móvel que se esforça, graças ao seu movimento, por penetrar num certo espaço*". Se um espaço "*não é enchido*", "*é um espaço vazio*", afirma Kant (1990, p.43); no espaço vazio, de acordo com Kant (1990), "*se deve pensar todo o movimento*" dos corpos. Kant dividira o espaço em material - ou relativo - e absoluto. O repouso, diz Kant (1990, p.30), "*é a presença permanente (...) no mesmo lugar*" e, por sua vez, permanente é aquilo que "*existe ao longo de um certo tempo, isto é, dura*".

A "*causa de um movimento*", afirma Kant (1990, p.44), "*chama-se força motriz*" e o conceito de matéria pode ser reduzido à ideia de "*simples forças motrizes*" (KANT, 1990, p.73). Para Kant (1990, p.60), "*em toda a parte no espaço se podem conceber apenas duas forças motrizes, a repulsão e a atracção*". Segundo Kant (KANT, 1990, p.44), a matéria é composta e preenche certa parcela do espaço "*não pela sua simples existência, mas em virtude de uma força motriz particular*". "*A matéria enche os seus espaços graças às forças repulsivas de todas as suas partes*", supõe Kant (1990, p.46). Em Kant (1990, p.45), a chamada força de repulsão - "*propulsiva*" ou "*tractiva"* - "*é aquela pela qual uma matéria pode ser a causa de que outras se afastem*" ou não consigam aproximar-se dela; todavia, complementa Kant (1990, p.56), a "*possibilidade da matéria exige (...) uma força de atracção*" e isso, pois a matéria somente é possível em decorrência da "*força atractiva originária*" - a qual também "*pertence à essência da matéria*" e limita a atrativa (KANT, 1990, p.65). Segundo Kant (1990, p.45), a força de atração "*é a força motriz pela qual uma matéria pode ser a causa de que outras se aproximem dela*", ou seja, "*se opõe a que outras matérias dela se afastem*". Diz Kant (1990) que as forças referidas atuam em sentidos opostos.

De acordo com Kant (1990, p.59), a

> "*propriedade em que se funda como condição a possibilidade interna de uma coisa é uma componente essencial da mesma. Por isso, a força repulsiva pertence igualmente à essência da matéria, tal como a força atractiva, e uma não se pode separar da outra no conceito da matéria*".

Os argumentos supracitados fundamentam a chamada ontologia dinâmica de Kant.

De acordo com Schelling, "*um princípio (...) de polaridade reina por toda a natureza*" (PETERSON, 2004, p.XXI). "*O primeiro princípio de uma doutrina-da-natureza filosófica é procurar em toda a natureza por polaridade e dualismo*" (SCHELLING *apud* BARBOZA, 2001, p.258). Goethe (*apud* BARBOZA, 2001, p.259) também discutira a ideia de uma "*polaridade*

originária (...) de todos os seres, a qual compenetra e anima a multiplicidade infinita de todos os fenômenos". Schelling buscara a todo momento enquadrar as ciências naturais em seu "*esquema bipolar do Absoluto*". Para Schelling, os diversos fenômenos naturais surgem "*do jogo de limitação recíproca*" empreendido pelas "*duas atividade originárias*" - atração e repulsão (BAUSOLA, 2002, p.671).

Diz Schelling (2001) que todo produto natural é fruto de tendências opostas. Em "*qualquer lugar se percebe conflito"* (BARBOZA, 2001, p.255) e é desse conflito que surgem os seres empíricos, supunha Schelling. Para Schelling, todo e qualquer produto é fruto de uma relação entre forças (PETERSON, 2004); todo fenômeno natural é efeito de uma força condicionada pela ação de uma força oposta, acreditara Schelling (ABBAGNANO, 2000). Sem tal entrave, - suposta - "*obra de tendências opostas na natureza*", a "*atividade universal da natureza (...) nunca chegaria a produto aparente*", afirma Schelling (*apud* BARBOZA, 2001, p.257). Segundo Amora (2010), Schelling argumentara que um rio em movimento, por exemplo, ao deparar-se com um obstáculo qualquer, forma redemoinhos; assim, rio em movimento mais obstáculo é igual a redemoinhos. Tais redemoinhos são os produtos decorrentes do processo (AMORA, 2010). Para Schelling, analogamente, força atrativa mais força repulsiva é igual à matéria.

Segundo Schelling (2001, p.105), "*força é aquilo que (...) podemos pôr como princípio no cume da ciência da natureza e aquilo que, embora não seja em si mesmo susceptível de ser apresentado, todavia, de acordo com o seu modo de agir é determinável através de leis físicas*". "*A primeira máxima de todas as ciências naturais, para explicar tudo pelas forças da Natureza, é (...) aceita em sua mais ampla extensão em nossa ciência*", disse Schelling (2004, p.193) - que relacionara tais forças com a vida, com os processos, transformações e produtos naturais (SILVEIRA, 2012).

Para Schelling, todos os fenômenos são distintas manifestações de uma mesma força (TORRES FILHO, 1979); De acordo com Schelling (*apud* PETERSON, 2004, pp.XXI-XXII), "*deve haver uma força que reina por todo o todo da Natureza... Mas essa força deve ser suscetível a infinitas modificações e deve ser tão variada quanto as condições sob as quais opera*". Antes mesmo da pilha de Volta, Schelling já insistia na existência de tal força - que supostamente manifesta-se de forma variada, em virtude do tipo de fenômeno natural com o qual se relaciona (KUHN, 2011). Segundo Schelling, onde há certo efeito ou fenômeno, decerto há também forças opostas (BARBOZA, 2001).

Para Schelling, todo processo dito real se cumpre segundo um sistema dialético - de contrastes que se sintetizam e, assim, possibilitam a emergência de novas contradições. Dessa maneira, supunha Schelling, surge a luz, os fenômenos elétricos, magnéticos e químicos também. Schelling (2001) voltara-se para os fenômenos naturais - dissertara sobre a lógica dialética subjacente aos fenômenos químicos, da luz, do calor, da eletricidade e do

magnetismo etc. De acordo com Schelling (2001, p.29), tornara-se frequente em seu tempo a reflexão sobre tais fenômenos mediante o conceito de força, "*em particular desde que se começou a duvidar da materialidade da luz, etc.*"

Segundo Schelling: na luz, podemos conceber dois pólos fundamentais e opostos, o éter e o oxigênio; no fenômeno magnético, o pólo norte e o pólo sul; no elétrico, o pólo positivo e o negativo; nos fenômenos químicos, os ácidos e as bases são tomados como referenciais opostos (SELOW, 2007); tais polaridades causam os fenômenos (PETERSON, 2004) - os quais se interrelacionam (especificamente, são todos apenas modificações de um mesmo processo) (AMORA, 2010). Schelling argumentara que os fenômenos mais simples não seriam possíveis sem os mais complexos (PETERSON, 2004).

Para Schelling, as forças "*são as manifestações empíricas da 'produtividade' ou atividade da natureza*" e toda a matéria - orgânica e inorgânica - "*é composta por um jogo de forças*" (PETERSON, 2004, p.XVII). E isso, pois, de acordo com Schelling, o

> "*orgânico e o inorgânico somente poderiam ser unificados se ambos os reinos fossem intimamente constituídos pelas 'mesmas' forças*. *A dialética das forças no reino orgânico, especificamente a 'construção de matéria' a partir de forças químicas, elétricas, e magnéticas, deve de alguma maneira estar contida ou estar implícita no reino orgânico*" (PETERSON, 2004, p.XXVIII).

Em Schelling, o orgânico e o inorgânico são frutos de um processo comum (AMORA, 2010). Deve existir "*no corpo vivo um princípio que o arranca às leis da química e que tal princípio deve ser designado força vital*", diz Schelling (2001, p.105). A força é atividade pura, acreditava Schelling - um princípio vital responsável pela contínua atividade da natureza (TORRES FILHO, 1979). Schelling (2001, p.31) soergue o seguinte questionamento: Será que alguém "*já alguma vez se perguntou se a electricidade poderia ser, talvez, a força vital?*" "*Gostaria*", prossegue Schelling, "*de ver comprovada a hipótese por mim avançada e devidamente argumentada acerca da origem dos fenómenos eléctricos, tanto mais que ela, no caso de ser verdadeira, deve estender ainda mais a sua influência*".

Schelling falara de uma relação intrínseca entre os fenômenos magnéticos, elétricos e químicos - os quais chamara de potências da natureza inorgânica - e aquelas as quais se referira como potências da natureza orgânica - as mesmas forças biológicas sobressaltadas por Kielmeyer; Schelling também falou da sensibilidade, da irritabilidade e da força reprodutiva - as quais, segundo o mesmo, encontram-se associadas aos organismos. De acordo com Schelling, o magnetismo relaciona-se com a sensibilidade, a eletricidade com a irritabilidade e o processo químico com a força reprodutiva (AMORA, 2010).

Schelling também acreditava numa construção dinâmica da matéria - atrelada a um processo autocriativo do absoluto. Em Schelling, é bastante recorrente "*a imagem da natureza como um artista que produz sua própria obra*"; e isso "*não a partir do nada, mas a*

partir de si" mesma, "*autoformando-se e, portanto, transformando-se nessa obra*" (GONÇALVES, 2010, p.29). De acordo com Schelling (*apud* GONÇALVES, 2010, p.29), a

> "*natureza é (...) um autor originário, que escreveu em hieróglifos, cujas páginas são colossais, tal como diz o artista em Goethe. Quem quer pesquisar a natureza seguindo apenas o caminho empírico é justamente aquele que frequentemente carece do conhecimento de sua linguagem para tomá-la em sua verdade*".

Para Schelling, a potência é o momento ou grau de expressão do absoluto de um modo relativo e o "*que chamamos de matéria orgânica e matéria inorgânica são (...) potências daquela primeira identidade*" (SCHELLING, *apud* GONÇALVES, 2010, p.28). Em Schelling (*apud* GONÇALVES, 2010, p.27): o organismo - no qual "*o universal e o particular encontram-se (...) completamente indiferentes*" - resulta do desenvolvimento da matéria; o organismo dito completo é a "'*imagem real do absoluto no mundo real*"".

De acordo com Schelling (2001), a identidade absoluta estende-se por todas as direções, expressando-se como qualquer coisa - fenômeno ou ente. A natureza, diz Schelling (2001), assim como os fenômenos naturais, desenvolve-se a partir do absoluto - numa sequência de graus de manifestação, expressões ou modos do absoluto. Segundo Schelling (2001, p.143),

> "*para a natureza no seu todo, assim como no particular, decorre da própria essência do absoluto e das ideias, não só os fenómenos da natureza universal, dos quais, até agora, só se conheciam hipóteses, mas também, com a mesma simplicidade e certeza, os fenómenos do mundo orgânico*".

Afirma Schelling (2001) que a gravidade, a luz e a vida são graus de manifestação da natureza. Schelling também chamou os referidos graus de potências da natureza. Schelling chamara: a gravidade de primeira potência ou primeira síntese - com a qual ocorre a passagem do ideal para o real - das forças primitivas de atração e repulsão; a luz de segunda potência ou primeira manifestação física da natureza; a vida - "*a matéria em sua organicidade viva*" (GONÇALVES, 2005, p.84) - de terceira potência da essência (AMORA, 2010).

O conceito de matéria schellinguiano apresenta a mesma "*como um sistema dinâmico que consiste, mesmo em sua menor parte, no jogo livre das forças fundamentais da natureza, atração e repulsão*" (GONÇALVES, 2010, p.23). Segundo Schelling (2001, p.57): a "*matéria não é desprovida de essência (...) pois tem forças originárias que não podem ser negadas por meio de qualquer divisão*" - e "*aquelas forças são de atracção e repulsão*"; "*nem a força é representável sem a matéria, nem a matéria é representável sem a força*"; tais forças - de atração e repulsão - são "*como princípios imanentes à própria natureza*" (GONÇALVES, 2010, p.19). Schelling chamou a força de atração de continuidade produtiva e a de repulsão de ação retardadora ou antiprodutiva (BARBOZA, 2001).

Para Schelling (2001, p.105): "*só podemos pensar a força como algo de finito*"; não existe "*força que não seja limitada por uma outra que se lhe opõe*"; "*entre forças opostas só podemos pensar*" que ou "*elas se encontram em equilíbrio relativo*" - pois se tal equilíbrio fosse "*absoluto seriam ambas totalmente suprimidas*" - "*e, então, serão pensadas como em repouso, como na matéria, que, por este motivo, se diz inerte*; *ou pensamo-las em luta permanente, nunca resolvida, já que, alternadamente, cada uma vence e é derrotada*". Na matéria inorgânica, supunha Schelling, tais forças foram neutralizadas, já na orgânica, é o conflito entre as referidas forças que nutre a vida - a atividade. Tudo se origina a partir desse contraste - oposição ou dualismo etc. -, acreditava Schelling (SELOW, 2007).

Segundo Schelling (2004, pp.190-191), podemos chamar tais forças de "*forças da evolução*", "*forças imanentes*" e que contribuem "*para a construção*" de um produto - um "*efeito químico*" ou outro qualquer. Para Schelling, tais forças são, ao mesmo tempo, causa e essência da matéria - por conseguinte, da natureza e dos efeitos ou fenômenos naturais (AMORA, 2010). Em Schelling (*apud* GONÇALVES, 2010, p.21), força e matéria são "*expressões diversas da mesma coisa*" - ou seja, corpo e matéria não são "*produtos de forças opostas*" e sim, em essência, as próprias forças referidas. De acordo com Schelling (*apud* GONÇALVES, 2010, pp.21-22), tais tendências ou forças opostas "*constituem juntas um princípio imanente ou a essência de todos os corpos do universo*".

Schelling (2001, p.69) afirma que "*a representação de uma sucessão de causas e de efeitos (...) é tão necessária para o nosso espírito como se pertencesse ao seu próprio ser e essência*". Ao falar de sucessão de causas e efeitos, Schelling referiu-se aos fenômenos. Para Schelling (2001, p.71), o motivo disso ou "*fundamento deve, portanto, encontrar-se nas coisas*". Diz Schelling (2001, p.71) que, na

> "*medida em que os próprios fenómenos se sucedem uns aos outros assim e não de outra maneira, é que somos obrigados a representá-los nesta ordem, só porque e na medida em que esta sucessão é necessária objectivamente é que ela é também necessária subjectivamente*".

Tal "*sucessão*", prossegue Schelling, "*deve, portanto, resultar e nascer ao mesmo tempo que os fenómenos e (...) os fenómenos devem resultar e nascer ao mesmo tempo que a sucessão*".

Para que uma coisa exista como um organismo, ela deve ser causa e efeito de si mesma, conjecturara Schelling - algo relacionado com a "*liberdade imanente da natureza*" (GONÇALVES, 2010, p.30). Uma árvore, por exemplo, gera outra segundo uma lei natural conhecida. A árvore - efeito - gerada e a primeira - causa anterior - pertencem a uma mesma espécie; logo, pode-se dizer que a primeira árvore "*gerou a si*". E isso, pois árvore gera árvore (BARBOZA, 2001, p.262). Ao voltarmo-nos para "*o domínio da natureza orgânica, cessa (...) toda a conexão mecânica entre causa e efeito*", supunha Schelling (2001, p.87).

Diz Schelling (2001, pp.87-89) que: "*Cada produto orgânico subsiste por si mesmo*" - e a existência de tal produto "*não depende de nenhuma outra existência*"; a "*organização produz-se a si mesma, surge de si mesma*"; "*cada planta isolada é apenas produto de um indivíduo da sua espécie*"; "*cada organização isolada produz e reproduz, até ao infinito, apenas a sua espécie"*; a organização não é "*nem causa, nem efeito de uma coisa exterior a si, não é, portanto, nada que se assemelhe à conexão de um mecanismo*"; "*Cada produto orgânico tem em si mesmo o fundamento da sua existência, pois é causa e efeito de si mesmo*".

Segundo Schelling (2001, pp.89-91) - e aqui existe uma intensa crítica ao viés mecanicista: "*só a partir da organização que a organização se forma a si mesma*"; "*cada organização é um todo*" e "*sua unidade reside em si mesma*"; "a organização é "*um todo indivisível*"; "a *origem de uma organização (...), assim como a origem da própria matéria, tão-pouco se pode explicar de forma mecânica*"; "*a organização em geral só é representável em relação a um espírito*"; a "*índole dos fins naturais reside num tipo de causalidade que foge à explicação mecanicista*".

Schelling encarara a - contínua e evidente - geração de vida na natureza como "*o ato de conceber do absoluto a si mesmo*" (GONÇALVES, 2010, p.31). Segundo Schelling (*apud* GONÇALVES, 2010, p.24), a "*formação dos diferentes corpos singulares da natureza decorre de um processo dialético e circular que começa com uma espécie de formação do infinito em direção ao finito e retorna do particular em direção ao universal*". De acordo com Schelling (*apud* GONÇALVES, 2010, p.24), o mundo ou Universo percorre "*um processo de (...) autoconstrução da própria matéria*" iniciado "*com uma duplicação deste mundo em dois planos paralelos, um servindo de reflexo ou espelho para o outro*".

Para Spinoza, Deus afirma-se através da força; através dessa, supunha Spinoza, dá fundamento à natureza - expressão de Deus. Em Schelling, a divindade - como "alma do mundo" - alicerça a unidade formada pelas forças opostas - contrastes, oposições, dualismos... ou polaridades - subjacentes ao todo natural. A "*ideia medieval de uma alma do mundo, presente especialmente em Giordano Bruno (1548-1600)*", inspirou Schelling muitíssimo (GONÇALVES, 2010, p.9). De acordo com Schelling, em última instância, o absoluto é a causa da "*unidade*" - a alma do mundo, em decorrência da qual tudo é um só (COELHO, 2005, p.23).

O Deus de Schelling é similar aquele de Spinoza - que "*surge como uma série de leis naturais, que se realizam enquanto ordem necessária de toda multiplicidade*" (EZCURDIA, 2008, p.16); e, segundo Spinoza (*apud* EZCURDIA, 2008, p.16), a "*força pela qual Deus persevera em seu ser nada mais é do que sua essência*". Em certa passagem, F. Schleiermacher (1768-1834) (1799 *apud* PUPI, 2002, p.627) - em cuja obra revela-se claramente o caráter religioso do Romantismo (ABBAGNANO, 2000) -, membro do círculo

romântico, afirma que "*a Divindade, seguindo uma lei imutável, obrigou-se (...) a fazer com que cada ser nascesse determinado unicamente pela fusão de duas forças opostas*" - "*as duas forças de fundo da Natureza, o ávido atrair a si e o pronto e vivaz propagar-se*".

Afirma Gonçalves (2005, p.81) - em certa passagem acerca do pensamento schellinguiano - que:

> "*A dialética entre as forças naturais de repulsão e atração, assim como a elaboração de uma lógica da essência (...) serve de introdução para uma nova idéia de natureza, não mais como criação de um deus transcendente a ela, (...) mas como transformação do nada pré-material da doutrina da criação divina judaico-cristã (...). Em outras palavras, deus se faz natureza, porque a matéria sempre foi divina; portanto, é a matéria mesma, com sua divina força de atração e repulsão que se organiza em objetividade, sem perder, contudo, a espiritualidade de uma ordem imanente*".

V.3.10 A *Naturphilosophie* schellinguiana em prol da transversalidade

Segundo Hadzigeorgiou & Schulz (2014, p.17), aos cientistas românticos fora cara a noção de "*complementaridade" entre "as concepções estética e científica da natureza*", bem como a "*percepção estética no estudo dos fenômenos naturais*". "*A dimensão estética surge com a questão sobre a relação entre natureza e poesia*" (GONÇALVES, 2005, p.76). Uma abordagem fundamentada sobre as ideias referidas oferece algumas possibilidades para a educação científica dos dias de hoje: pode estimular os educandos emocionalmente; promover uma interação mais profunda tanto entre os alunos e a natureza quanto entre aqueles e o conteúdo científico curricular (HADZIGEORGIOU; SCHULZ, 2014).

De acordo com Peterson (2004), justifica a discussão das concepções metodológicas e ontológicas de Schelling: o caráter indispensável dessas enquanto pontos de referência para uma visão de natureza unificada; as questões filosóficas genuínas sobressaltadas pelo mesmo - em especial, acerca das supostamente profundas relações existentes entre o mundo natural e a humanidade.

"*O aparato crítico soerguido pela*" *Naturphilosophie* "*demandou mais do que somente uma mudança teórica ou epistemológica*"; a emergência da *Naturphilosophie* romântica demandou uma reformulação das relações então existentes entre os homens e a natureza (PETERSON, 2004, p.XI). De acordo com Gonçalves (2005, p.72),

> "*Schelling foi um dos poucos filósofos a construir uma idéia de natureza que, ao contrário de parecer mais uma definição abstrata, abre a possibilidade de uma nova experiência diante da natureza, (...) uma experiência que sintetiza em um único ato uma atuação prática ou ética, uma concepção teórica, científica ou especulativa e uma intuição estética ou uma produção poética*".

Segundo Peterson (2004), a *Naturphilosophie* schellinguiana trás consigo a defesa de alguns ideais: uma completa reformulação da relação então estabelecida entre homens e natureza; um compromisso ético e político daqueles para com essa.

"*É preciso ressaltar a importância do acesso ao conhecimento*" científico paulatinamente acumulado pelos homens. "*Porém, há outros temas diretamente relacionados com o exercício da cidadania*". A defesa da cidadania implica em algo mais. A escola deve - necessariamente - fomentar reflexões sobre problemas sociais - socioambientais, por exemplo - urgentes. Tal preocupação não é inédita. Os problemas ambientais e a utilização desenfreada - e, por conseguinte, destrutiva - dos recursos naturais talvez sejam os temas mais contemplados pelos professores de física (BRASIL, 1997, p.23).

Segundo Gonçalves (2005, p.71), a *Naturphilosophie* de Schelling

> "*pode ajudar-nos neste momento histórico de extrema alienação diante da natureza, ilustrada principalmente pela crise ecológica (...), a reconstruirmos nossa relação com a natureza, nossa intuição de natureza, nossa atuação na natureza, e, por fim, nossa autoconsciência de que somos seres da e na natureza*".

"*Quando defendemos a preservação da Floresta Amazônica, ou a das baleias do Pacífico*", por exemplo, pergunta Gonçalves (2005, pp.71-72) se "*o fazemos por amor à natureza*"; afinal, como "*é possível construir (...) um sentimento de proximidade entre o homem e a natureza", "amar algo que não conhecemos" ou "que nos parece radicalmente distante?*"

Assim como afirmara Peterson (2004), segundo Gonçalves (2010, p.8), o estudo de Schelling é importante à medida que "*o tema da natureza volta a ser não apenas interessante, mas dramaticamente urgente*"; certos estudos "*mostram a proximidade da filosofia da natureza de Schelling com o espírito do pensamento ecológico atual*". Podemos dizer que tal filosofia é atual e, ainda de acordo com Gonçalves (2010, p.8),

> "*poderá servir de inspiração para todos aqueles que acreditam não simplesmente em um progresso cego da ciência fundado no domínio egoísta do ser humano sobre o meio natural, mas antes na possibilidade ainda presente de encontrarmos um sentido menos predador de nossa espécie em meio à complexa cadeia de processos da natureza*".

Através do estudo da ciência romântica, esperamos que os estudantes sintam-se parte componente e indissociável do todo natural; que tais indivíduos se vinculem emocionalmente à natureza que os cerca, desenvolvam uma consciência ecológica e, por conseguinte, que valorizem mais a natureza (HADZIGEORGIOU; SCHULZ, 2014). Que os estudantes pensem, por exemplo, no seguinte: se a natureza forma comigo uma unidade, ao respeitá-la, automaticamente respeito-me. E na frase anterior o verbo respeitar poderia dar lugar a qualquer outro verbo. Ainda sob o patrocínio da noção de unidade, um fenômeno, por

exemplo, encontra-se intimamente atrelado a um indivíduo qualquer. Fenômenos e homens compõem um só todo. Logo, ao estudar os fenômenos, os educandos estudam algo com o qual se relacionam (HADZIGEORGIOU; SCHULZ, 2014).

Também podemos pensar em outros processos de conscientização motivados por certas ideias de Schelling. A ideia de identidade essencial, por exemplo, segundo a qual, - tudo e - todos são idênticos em última instância. Através de tal ideia, poder-se-ia buscar e explorar discussões acerca de gênero e étnico-raciais, por exemplo. Não se deve olvidar a equidade de gênero e étnico-racial. Assim, combater-se-ia o preconceito, voltar-se-ia para o ideal de um ensino o qual contempla, dentre tantas coisas, temas transversais, polêmicos e de suma relevância nos dias atuais; através do estudo da *Naturphilosophie*, pode-se concretizar - visto que possivelmente abarca questões ambientais, de gênero e étnico-raciais - tal ideal de educação. Como visto em linhas anteriores, o tema transversal meio ambiente também pode ser contemplado através da discussão da *Naturphilosophie* de Schelling.

É importante dizer que a transversalidade relaciona-se com a interdisciplinaridade. Os temas transversais perpassam diversos domínios, portanto, podem e devem ser contemplados de modo interdisciplinar. Os temas referidos - os quais podem ser abordados a qualquer momento - enriquecem as aulas com discussões valorosas. Tais temas - os quais abarcam assuntos presentes na vida cotidiana dos educandos - correspondem a questões importantes, urgentes e presentes. A eleição do tema meio ambiente, por exemplo, "*como foco de preocupação de preocupação*" volta-se para certos objetivos específicos: que "*os alunos possam (...) aprender práticas que concorram para*" a preservação do meio ambiente (BRASIL, 1997, p.36).

De acordo com Brasil (1997, p.26), de um modo geral, os temas sugeridos têm por finalidade

> "*que os alunos possam desenvolver a capacidade de posicionar-se diante das questões que interferem na vida coletiva, superar a indiferença, intervir de forma responsável. Assim, os temas eleitos, em seu conjunto, devem possibilitar uma visão ampla e consistente da realidade brasileira e sua inserção no mundo, além de desenvolver um trabalho educativo que possibilite uma participação social dos alunos*".

"*A relação educativa é uma relação política*"; algo que relaciona-se diretamente com a questão da democracia. A simples "*eleição de conteúdos, por exemplo, ao incluir questões que possibilitem a compreensão e a crítica da realidade, ao invés de tratá-los como dados abstratos a serem aprendidos apenas para passar de ano*" - ou no vestibular - "*oferece aos alunos a oportunidade de se apropriarem deles como instrumentos para refletir e mudar sua própria vida*" (BRASIL, 1997, pp.23-24). A capacitação desses indivíduos implica que os mesmos tenham condições plenas de intervir no mundo que os cerca - para transformá-lo.

É interessante perceber o seguinte: "*as opções didáticas, os métodos, a organização e o âmbito das atividades*" etc. "*que conformam a experiência educativa, ensinam valores, atitudes, conceitos e práticas sociais*" os quais podem "*favorecer em maior ou menor medida o desenvolvimento da autonomia e o aprendizado da cooperação e da participação social*". "*Entretanto, é preciso observar que a contradição é intrínseca*" aos homens e, por conseguinte, a qualquer instituição social. A escola não está isenta da referida contradição. Educar - ou tão somente escolarizar - não é um processo simples ou absolutamente controlável; não há métodos ou modelos infalíveis (BRASIL, 1997, p.24).

V.4 O calor, o trabalho e a Revolução Industrial Inglesa

O "*poder (...) do fogo*" é conhecido pelos homens há muitíssimo tempo. Não há como sabermos quando tal poder foi notado pelos mesmos; poder "*expansivo*" empiricamente percebido, de alguma maneira relacionado com certo tipo de efeito, o movimento (DIAS, 1990, p.61). Séculos - quiçá milênios - se passaram até que os homens pudessem explicar tal fenômeno de modo consistente e sem o auxílio de concepções míticas.

O "*estudo do calor (...) foi de grande importância intelectual para o desenvolvimento da civilização moderna*"; imprescindível, por exemplo, para o desenvolvimento técnico, científico ou econômico (BERNAL, 1975, p. 588). "*Nos alvores da Revolução Industrial, o tema do calor*" tornou-se de grande interesse (BRITO, 2008, p.57). Com a Revolução Industrial gradativamente eram substituídas "*as oficinas e tendas dos artesãos*" (FALBEL, 2008, p.25); avançaram as máquinas e isso trouxe profundas consequências para a sociedade. "*O desenvolvimento em larga escala de motores e de máquinas revolucionou a produção em massa de artigos de consumo, a construção e os transportes*" (RUTHERFORD et. al., 1978, p.51). O comércio e as máquinas tornaram-se dominantes.

No decorrer da Revolução Industrial, a união profícua entre a indústria, a técnica e a ciência pôde ser grandemente sentida; mediante os avanços técnicos e científicos, puderam ser solucionados diversos problemas surgidos durante o processo produtivo industrial (FALBEL, 2008). Tais avanços relacionam-se diretamente com a sofisticação das máquinas, por exemplo; atrelam-se também à considerável diminuição do custo por unidade produzida. Tal diminuição implicara na possibilidade de um aumento evidente da produtividade. Não só a indústria beneficiou-se ao longo da referida Revolução. Houve uma reciprocidade, visto que o domínio científico também evoluiu muitíssimo. O interesse pelas máquinas estimulou o desenvolvimento da termodinâmica - interesse que figurou como um dos elementos necessários à formulação quantitativa do princípio de conservação da energia (PRAXEDES; JACQUES, 2009). Kuhn (2011) também reforça tal concepção.

Em torno de 1780, "*todos os governos continentais com qualquer pretensão a uma política racional estavam consequentemente fomentando o crescimento econômico, e especialmente o desenvolvimento industrial*". Pode-se dizer que a Revolução Industrial ocorreu primeiramente na Inglaterra - potência a qual, à época, encontrava-se bastante a frente das demais, no que tange a comércio e produção *per capita* (HOBSBAWN, 2012, p.47). O grande acúmulo - primitivo - de capitais, previamente promovido pelos ingleses, possibilitou a eclosão de tal Revolução (MARX, 2000). Parte considerável desse capital foi reunida através de pirataria, tráfico de escravos, exploração colonial e tratados vantajosos. Tais tratados eram alianças comerciais as quais beneficiavam grandemente a Inglaterra. Com Portugal, por exemplo, a Inglaterra estabeleceu, em 1703, o Tratado de Methuen ou dos Panos e Vinhos (GOMES, 2014).

A Revolução Industrial - "*o mais importante acontecimento da história do mundo, pelo menos desde a invenção da agricultura e das cidades*" (HOBSBAWN, 2012, p.60) - foi marcada pelos seguintes fatores: desenvolvimento da metalurgia; alteração do modo de produção, da manufatura para a maquinofatura; profusão de indústrias, de fábricas; produção em larga escala; lei, segundo a qual, dever-se-ia comprar no mercado mais barato e vender irrestritamente no mais caro.

A Revolução Industrial acompanhou o desenvolvimento comercial das potências dominantes européias de então (FALBEL, 2008), fortalecendo grandemente o capitalismo. A dianteira do crescimento industrial foi preenchida por fabricantes de mercadorias de consumo massivo. Dentre tais produtos destacavam-se os têxteis. O algodão teve grande importância nesse momento histórico. Tal matéria-prima "*fornecia possibilidades suficientes (...) para tentar os empresários privados a se lançarem na aventura da"* Revolução Industrial (HOBSBAWN, 2012, p.70). De acordo com Hobsbawn (2012), a indústria cervejeira foi acometida pela Revolução antes mesmo da algodoeira, contudo, pouco afetou a economia à sua volta. Em 1833, a indústria do algodão tinha algo em torno de um milhão e meio de empregados diretamente ou indiretamente dependentes dela. Do fim do século XVIII até meados do século XIX, a Europa foi "*inundada por especialistas, máquinas a vapor, maquinaria para (...) algodão e investimentos britânicos*" (HOBSBAWN, 2012, p.66).

A abundância de mão-de-obra barata, decorrente do "cercamento dos campos", foi importantíssima para a Revolução (VIANNA, 2008). Os proprietários rurais apropriaram-se das terras antes de livre acesso a quaisquer camponeses, ocasionando um processo migratório; grande parte do contingente populacional rural dirigiu-se para as cidades. Nesse ínterim surgiu o proletariado (MIRANDA, 2012).

No contexto capitalista referido, foi de extrema relevância a figura do trabalhador - aquele que então vendia sua força de trabalho aos burgueses - empregadores, donos dos meios de produção, empresários, donos das indústrias, das fábricas, aqueles que

enriqueceram grandemente durante todo o processo revolucionário (BARACCA, 2002). Com as revoluções inglesas setecentistas, Puritana e Gloriosa - de 1640 e 1688, respectivamente - , a Inglaterra tornou-se uma monarquia parlamentar; rompia-se com o absolutismo presente em solo inglês até o momento referido. Avançava a classe burguesa. A burguesia floresceu e chegou ao parlamento inglês, ou seja, fortaleceu-se politicamente. De dentro do parlamento, os burgueses defenderam os ideais liberais, o livre comércio e o amplo investimento nas indústrias.

Baracca (2002) destaca o surgimento de certos conceitos científicos em decorrência das demandas ocasionadas pela Revolução Industrial. Os conceitos de trabalho mecânico e eficiência foram construídos nesse período; os mesmos surgiram tendo em vista demandas específicas, algo que muitas vezes se perde durante as exposições didáticas (BARACCA, 2002).

O termo trabalho remete-nos "*a qualquer tipo de atividade que requeira algum esforço físico ou mental*" (PIETROCOLA et al., 2010, p.39). A ideia de trabalho relaciona-se intimamente com as noções de força e deslocamento. Pensemos numa fábrica repleta de operários. Enquanto estiver parado, um operário qualquer não estará produzindo nada. Para que haja a produção de algo, torna-se indispensável que os operários orientem suas forças, se movimentem, que se voltem para o processo produtivo. Através dessas forças, os operários atuarão sobre a matéria-prima, de modo que a transformem num produto final, decorrente de todas as etapas do processo referido. Naturalmente, com as máquinas - instrumentos que serão utilizados em prol da produção - ocorre o mesmo.

Operários ou máquinas parados não são úteis. Quanto menos dispendiosos, mais rápidos e eficientes, mais lucro proporcionarão aos donos das fábricas. Tornou-se necessário mensurar o trabalho realizado tanto pelo trabalhador quanto pelas máquinas; foi preciso estabelecer um conceito de eficiência, intimamente relacionado com o de produtividade (BARACCA, 2002).

No que concerne tanto ao dispêndio quanto ao lucro, de todos os custos para os donos das fábricas, os salários eram aqueles mais compressíveis. Tais compressões foram proporcionais ao aumento da fome. As remunerações eram baixíssimas. Mulheres e crianças faziam parte do contingente de trabalhadores empregados nessas fábricas e ganhavam ainda menos do que os trabalhadores homens. Segundo Hobsbawn (2012), tratava-se de uma mão-de-obra mais barata e dócil, portanto, amplamente utilizada.

Os trabalhadores eram submetidos a rígidas e longas rotinas de trabalho. De um modo geral, as condições de trabalho eram péssimas; as fábricas eram insalubres. A Inglaterra possuía grandes reservas de carvão e boa parte das máquinas dependia da queima dessa matéria-prima. Tal queima, como bem sabido, produz uma fumaça absolutamente tóxica ao organismo humano (SILVA, 2014).

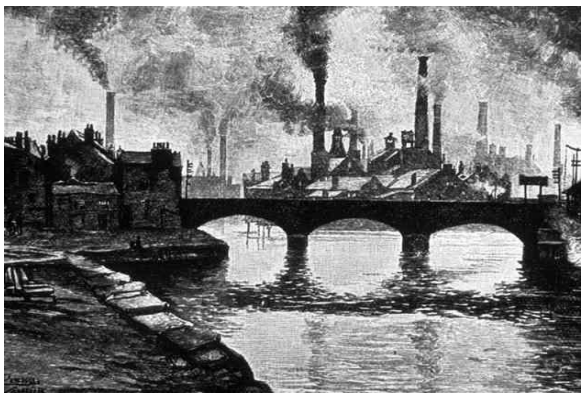


Figura V.3 - Indústrias inglesas do período revolucionário.



Figura V.4 - Mulheres e crianças exploradas pelos donos de fábricas.

V.4.1 Sobre as máquinas

Não se sabe ao certo desde quando os homens buscam por artefatos que possam favorecê-los de alguma forma, dispositivos que possam diminuir seus esforços físicos ou otimizar processos. Talvez desde sempre. O arreio e a ferradura de cravos, por exemplo, foram importantes invenções dos homens. O arado também. Essas construções fizeram dos cavalos "*uma vantagem econômica e militar*". Camponeses e senhores feudais usufruíram de tais avanços técnicos (SIERRA, 2010, p.49).

As rodas hidráulicas - as máquinas como um todo - foram inventadas tendo em vista os propósitos supracitados, ou seja, a diminuição dos esforços humanos e a otimização de processos. As máquinas já existem há tempos. O que chamamos de Revolução Industrial relaciona-se com um período de profusão das máquinas, decorrente do avanço capitalista. A possibilidade de um aumento considerável da produtividade foi um estímulo para o adiantamento dos equipamentos referidos. A utilização de máquinas atreladas, por exemplo, foi, inclusive, uma consequência desse intento.

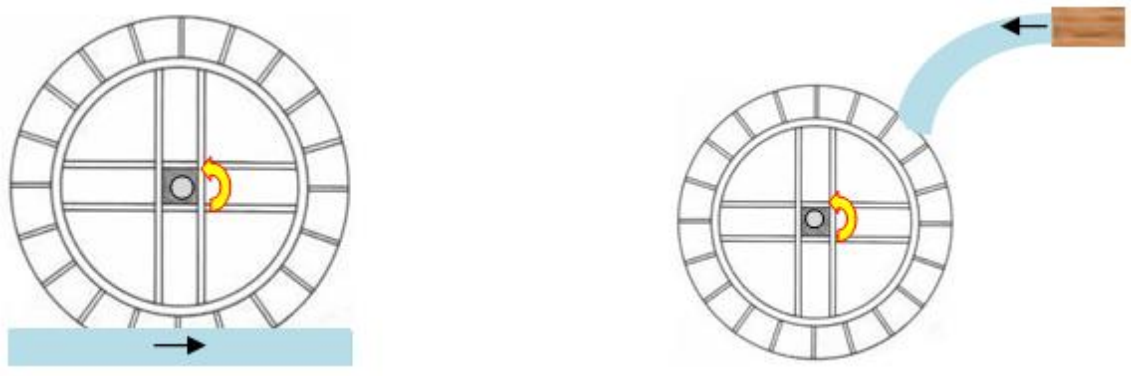




Figura V.5 - Roda hidráulica movida por fluxo de água inferior.



Figura V.6 - Roda hidráulica movida por fluxo de água superior.

As rodas hidráulicas são milenares. Acionadas por um fluxo de água, tais dispositivos tiveram uma enorme importância nesse ínterim; atrelados a outras máquinas, movimentavam-nas. J. Smeaton (1724-1792) - um distinto engenheiro inglês, quiçá o “pai” da engenharia civil - estudou amplamente as rodas hidráulicas. Smeaton aprimorou-as; projetou e produziu muitas para as indústrias de seu tempo. Muitas fábricas, munidas das mesmas, foram erigidas às margens de rios e isso para que tais rodas hidráulicas fossem postas, pela força da correnteza desses rios, em movimento de rotação em torno de um eixo (BARACCA, 2002).

As máquinas diminuíam consideravelmente a necessidade industrial de contingente humano. Por conseguinte, visando possíveis lucros, os empresários interessavam-se grandemente pela ampla mecanização das indústrias. Segundo Hobsbawn (2012, p.80), a "*aceleração (...) substancial das operações da indústria*" ocorreu na segunda metade do século XIX. Diversas inovações técnicas ocorreram nesse período. Avançaram as máquinas de fiar, os teares hidráulicos e, em seguida, os mecânicos; prosperaram também as máquinas a vapor.

Durante a Revolução Industrial, as máquinas a vapor tiveram uma grande relevância. A mineração inglesa voltava-se principalmente para a extração do carvão. Tal matéria-prima servia de combustível tanto industrial quanto doméstico. No contexto referido, primeiramente, a máquina a vapor foi aplicada à mineração. O artefato considerado foi amplamente utilizado para o bombeamento de água das minas que, de outra forma, "*ficariam inundadas e teriam de ser abandonadas*" (RUTHERFORD et al., 1978, p.44). T. Savery (1650-1715), um engenheiro militar inglês, foi o primeiro construtor de uma máquina a vapor - em 1702 - a qual servira ao propósito de drenar a água empoçada das minas de carvão inglesas.

A máquina de Heron, por exemplo - um dispositivo arcaico, provavelmente construído durante o período helenístico (IV a. C. - II a. C.), contudo, já um tipo de máquina a vapor - apesar de muito mais antiga, não tinha um propósito semelhante. Através de tal máquina, era possível abrir e fechar as portas de um templo. E isso mediante o ato de acender ou apagar o fogo de um altar. A máquina de Savery foi construída em decorrência de uma demanda distinta - especificamente, de um interesse econômico.

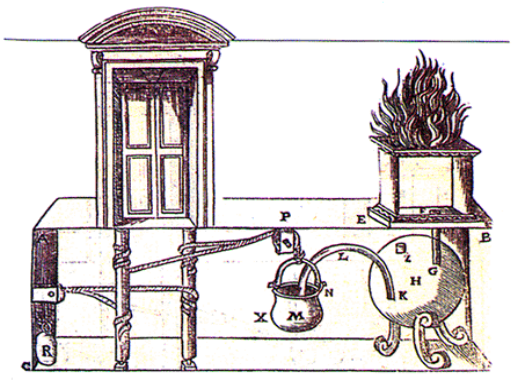


Figura V.7 - Máquina de Heron.

As rodas hidráulicas têm um problema óbvio: necessitam de um fluxo razoável de água. Assim, muitos viram na máquina a vapor uma opção mais viável e que supriria as necessidades industriais. As primeiras máquinas a vapor eram pouco eficientes, todavia, muito promissoras. De acordo com Carnot (1897), tais máquinas pareciam estar destinadas à efetivação de uma grande revolução no mundo civilizado. E, de fato, tal revolução ocorreu.

Em 1732, T. Newcomen (1664-1729) também construíra uma máquina a vapor. É interessante notar que, por ofício, Newcomen era ferreiro; não passara por um processo formal de educação em ciências, entretanto, foi capaz de promover uma impressionante inovação técnica. A máquina de Newcomen era superior àquela de Savery; além de mais segura, podia erguer cargas e não somente bombear água.

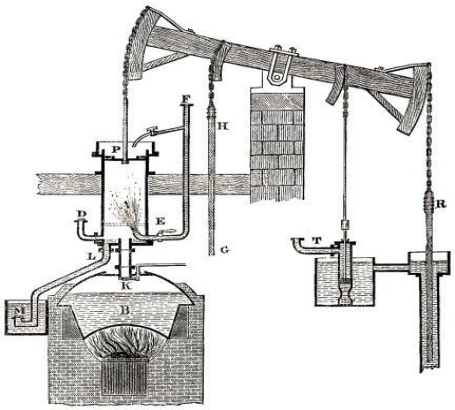


Figura V.8 - Máquina de Newcomen.

Antes das máquinas a vapor, eram utilizados animais - principalmente cavalos - para erguer tais cargas. Atrelado à atividade discutida, outro conceito, o de potência - o qual se refere à quantidade de trabalho realizado num determinado intervalo de tempo -, tornou-se muito relevante durante o período da Revolução Industrial. Nada mais natural do que relacionar a potência de uma máquina com a de um cavalo. Assim, surge a unidade de medida “poder de cavalo”, “potência de cavalo” ou “cavalo-vapor” (*horsepower*) (SIERRA, 2010).

Foi J. Watt (1736-1819), um construtor e “*reparador de instrumentos muito hábil*”, quem estabeleceu a referida relação. Watt estudou a máquina de Newcomen e aprimorou-a; adicionou à referida máquina um condensador externo. Desse modo, além dos elementos comuns à máquina de Newcomen, a máquina de Watt é composta por um condensador o qual assume a função de reservatório “frio”. Costuma-se chamar de caldeira o reservatório “quente”.

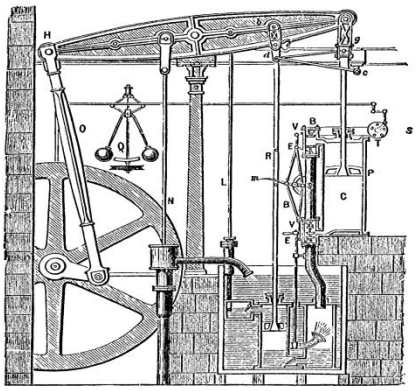


Figura V.9 - Máquina de Watt.

Sabido que 1 CV ≈ 735,5 W, adiante, são apresentadas - tanto em cavalo-vapor quanto em watts - algumas potências típicas:

- Homem movendo uma manivela → ≈ 0,06 CV ≈ 44,13 W (RUTHERFORD et al., 1978)
- Roda hidráulica → ≈ 3 CV ≈ 2206,5 W (RUTHERFORD et al., 1978)
- Máquina a vapor de Savery → ≈ 1 CV ≈ 735,5 W (RUTHERFORD et al., 1978)
- Máquina de Watt → ≈ 14 CV ≈ 10297 W (RUTHERFORD et al., 1978)
- Usina nuclear Angra 1 → ≈ 640 MW (ELETROBRAS, 2014)
- Usina Nuclear Angra 2 → ≈ 1350 MW (ELETROBRAS, 2014)
- Usina hidrelétrica Itaipu → ≈ 14000 MW (ITAIPU BINACIONAL, 2014)

Apesar de mais eficiente, à época, a máquina de Watt - de 1778 - era muito avançada, de difícil construção e, por conseguinte, bastante cara. Isso dificultava bastante as vendas da mesma (BARACCA, 2001. p.305). Por isso, diversos compradores ainda preferiam as máquinas de Newcomen.

O rendimento dos "*motores automotivos mais modernos*" é de aproximadamente 40% (PIETROCOLA et al., 2010, p.283). Segundo Baracca (2001), a eficiência da máquina de Newcomen é de aproximadamente 0,5%. Algo ínfimo, contudo, útil para um país com abundantes reservas de carvão. Era preciso aprimorar as máquinas; o adiantamento das mesmas requeria torná-las cada vez mais econômicas. Dever-se-ia diminuir tanto os custos de fabricação de tais artefatos quanto aqueles dispêndios relacionados com o próprio funcionamento das máquinas. A máquina a vapor ainda era um dispositivo empírico, fruto de um avanço técnico. Tornara-se imprescindível explicar teoricamente o funcionamento de tais artefatos; por conseguinte, poder-se-ia aprimorá-los ainda mais, ou seja, torná-los mais eficientes. À ciência coube explicá-los.

A construção de uma explicação de fato termodinâmica para o funcionamento de tais máquinas somente surge no século XIX, após o estabelecimento da primeira e da segunda lei da termodinâmica (DIAS, 1990). Assim, das máquinas empíricas pôde-se chegar ao domínio

termodinâmico (BARACCA, 2002). Tal episódio evidencia que nem sempre a tecnologia é produzida a partir de um conhecimento científico. O sentido oposto pode prevalecer, ou seja, uma tecnologia pode fomentar a produção de um conhecimento científico.

Ainda não existia uma ciência estruturada do calor há época de Sadi Carnot (1796-1832); havia uma série de especulações acerca da natureza do calor. Segundo Baracca (2001), em 1783, Lazare Carnot (1753-1823), pai de Sadi, formalizou o conceito científico de trabalho mecânico. Lazare foi uma figura de destaque, bastante ativa no decorrer da Revolução Francesa. Dentre os cargos políticos que ocupara, Lazare: fez parte do Comitê de Salvação Pública; em decorrência dos serviços militares que prestara - sob a função de organizador, disciplinador e recrutador -, ficou conhecido como o "Organizador da Vitória"; foi nomeado Ministro da Guerra por Napoleão; "*foi (...) general vitorioso, (...) membro do 'Diretório' e cientista respeitado*" (DIAS, 1990, p.62). Além disso, Lazare foi um dos fundadores da Escola Politécnica Francesa.

Os franceses J. Fourier (1768-1830), B. Clapeyron (1799-1864) e o próprio Sadi, dentre outros, ocuparam-se da supracitada estruturação - de uma ciência consistente do calor. Segundo Fourier (1822 *apud* BARACCA, 2001, p.313), a efetivação de tal intento requeria encarar os fenômenos então estudados como "*uma ordem especial de fenômenos*"; especial e distinta daquela dos efeitos mecânicos. Como dito anteriormente, muitos fenômenos trouxeram problemas para o quadro teórico mecanicista. E isso, pois, através desse, não se conseguia explicar aqueles. O avanço técnico reclamava o desenvolvimento de um quadro conceitual adequado e distinto.

A concretização do intento referido também requeria um tratamento matemático, o estabelecimento de leis as quais se relacionassem com aqueles "fenômenos especiais". Imbuído do ímpeto necessário, Sadi partira em direção a tal execução; o fez a partir dos estudos de Smeaton e de seu pai - Lazare - acerca das máquinas; além disso, partira também da ideia, segundo a qual, o fluido calórico conserva-se em quantidade (BARACCA, 2001).

V.4.2 Um pouco acerca da natureza do calor

Ao final do século XVIII, J. Black (1728-1799) estabeleceu pela primeira vez uma distinção entre calor e temperatura - grandeza cuja quantidade podemos aferir através de um termômetro (GOMES, 2012). "*A ideia qualitativa de 'calor' como 'alguma coisa' relacionada com fenômenos térmicos*" existe há muito mais tempo (ROLLER, 1950 *apud* GOMES, 2012, p.1033). Foi Black quem construiu as grandezas calor específico e latente. A noção de calor específico, diz Bassalo (1992, p.30), denota no contexto referido uma espécie de afinidade existente entre um corpo qualquer e o calor; algo como certa faculdade do corpo que apoia a ideia de um suposto recebimento de calor pelo mesmo ou, grosso modo, o "*apetite de calor*"

que um corpo em tese possui. Black elaborou tais conceitos antes da emergência do conceito de calórico. Por conseguinte, naturalmente, não falou de calórico latente ou sensível, por exemplo; Black referiu-se diretamente aquilo que Lavoisier chamara de efeito do calórico.

Já sob a égide da ideia de calórico, chamou-se de calor latente a porção do calórico empregada na mudança de estado dos corpos. À porção do calórico empregada na mudança de temperatura dos corpos foi dado o nome de calor sensível - quantidade de fluido calórico que torna evidente tal mudança de temperatura, ou seja, detectável através de um termômetro.

Voltemos um pouco no tempo. A construção de conceitos é influenciada por fatores diversos. No início do século XVIII, ainda sob forte influência alquímica, foi desenvolvida por Stahl a teoria do flogisto - um suposto "*'princípio do fogo"* (BRAGA et al., 2000, p.36). Nesse ínterim, foi amplamente discutida a hipótese, segundo a qual, é possível que o calor relacione-se com um fluido sutil, o flogisto. Tal teoria - que explicava alguns fenômenos sem grandes problemas - foi aceita por certo tempo. Segundo Macquer (1778 *apud* BRITO, 2008, p.53), deve-se considerar o flogisto como "*o fogo elementar combinado e tornado num dos princípios constitutivos dos corpos combustíveis*".

Stahl associou a combustão de matéria orgânica e a calcinação de metais à presença de certa quantidade de flogisto nesses materiais. Assim, para Stahl, em corpos muito inflamáveis há muito flogisto. Stahl acreditava que o flogisto conserva-se em quantidade no Universo - ou seja, tal fluido não pode ser destruído e nem mesmo criado. Além disso, ainda de acordo com Stahl, um corpo, ao inflamar-se, desprende flogisto.

Supusera-se que o peso do flogisto fosse negativo. E isso para que a teoria relacionada com tal elemento permanecesse explicando os referidos fenômenos de modo consistente. Tratava-se de uma hipótese soerguida com o intuito de "salvar" a teoria do flogisto, algo muito desconfortável para os filósofos naturais de então.

O iluminista Lavoisier, dentre tantos, repudiava o flogisto. Com o avanço do projeto iluminista, a teoria do flogisto - herdeira da tradição alquímica - foi grandemente acometida. A derrocada do flogisto foi gradual. Imbuído do propósito de suplantá-lo definitivamente, Lavoisier criou o conceito - hipotético - de calórico. Segundo Lavoisier, o calórico - princípio material que causa o calor - é um fluido "*muito sutil*", "*ígneo*" (LAVOISIER, 1777 *apud* GOMES, 2012, p.1042), "*indestrutível, imponderável, dotado de grande elasticidade (...) e auto repulsivo*"; tal fluido, sob condições específicas, concebera Lavoisier, pode "*penetrar em todos os corpos*" (BRITO, 2008, p.56). Se Lavoisier queria abolir toda e qualquer metafísica do âmbito científico, aparentemente fracassara.

A existência ou não de uma substância ígnea por trás dos fenômenos térmicos, segundo Thompson (1798 *apud* ROLLER, 1950), já dividia os filósofos naturais há muitíssimo

tempo. B. Thompson (1753-1814) - o Conde Rumford - rejeitou a ideia de uma substância, de um princípio material responsável pelo fenômeno conhecido como calor.

Thompson empreendeu uma série de experimentos com canhões, nos quais a esses perfurava continuamente. Se por fricção, supôs previamente Thompson, pode-se retirar o calórico de um objeto, como afirmam os caloristas, deve existir um momento no qual todo o calórico esgota-se no objeto. Diante do que presenciou durante os experimentos, defendeu a insustentabilidade da teoria do calórico. A "*fonte de calor gerado pelo atrito nessas experiências*" parece ser "*inesgotável*" - e isso tendo em vista o aumento progressivo da temperatura dos canhões relacionado com as perfurações contínuas, afirmou Thompson (1798 *apud* ROLLER, 1950, p.79).

Thompson utilizou tal relação ao longo de suas investigações respectivas aos canhões; propôs a ideia de calor, não como um fluido imponderável, mas como uma forma de movimento e conjecturou acerca da possibilidade de uma teoria alternativa, dinâmica do calor. Ao falarmos de um imponderável, nos referimos a algo imaterial. Se não há como mensurarmos o peso do calórico, tal construto não pode ter uma existência material. Historicamente, os conceitos de calórico e calor se confundem e em certos momentos se fundem.

De acordo com Thompson (1851, p.175), "*o calor não é uma substância, mas uma forma dinâmica de efeito mecânico*". Segundo Black (1803 *apud* ROLLER 1950, p.43), F. Bacon (1561-1626) já havia afirmado que "*calor é movimento*". O fez em decorrência de uma série de associações apercebidas, tais como entre "*a percussão com o ferro, o atrito de corpos sólidos, a colisão de pedra e aço*" e o aumento da temperatura dos referidos objetos. De acordo com Bacon, a força envolvida nesses processos causa nos objetos um movimento que, por sua vez, é causa do aquecimento dos corpos (SILVA et al., 2013).

Segundo G. Muncke (1830 *apud* COELHO, 2013), durante a primeira metade do século XIX, não havia consenso algum quanto à natureza da grandeza calor. Esse poderia ser uma substância ou fluido imponderável, ou seja, que não possui peso revelável; uma força ou qualquer outra coisa. Apesar da evidente incoerência sobressaltada por Thompson, não podemos dizer que o calórico foi imediatamente rechaçado. Mesmo 40 anos após as experiências de Thompson, muitos ainda insistiam na existência do fluido calórico (GOMES, 2012). Tal teoria foi suplantada aos poucos.

Segundo Gomes (2012, p.1064), mesmo que não haja "*uma unanimidade quanto aos fatores primordiais que abalaram a teoria do calórico, os pesquisadores concordam que*" com a ideia de conservação da energia - muito mais ampla - foi suplantada a ideia de conservação do calórico.

É interessante notar que, segundo Black (1803 *apud* GOMES, 2012, p.1040), "*a maioria dos filósofos*" naturais "*franceses e alemães*" de sua época supunha o seguinte: o

calor é composto por um movimento, uma vibração "*das partículas de um sutil, altamente elástico (...) fluido material*" difundido por todo o Universo; presente tanto nos fenômenos luminosos quanto nos elétricos, o fluido referido pode modificar-se e penetra nos corpos com facilidade.

Aparentemente, misturava-se a ideia de um princípio material subjacente aos fenômenos térmicos com aquela de calor causado por movimento. Podemos também notar a presença da ideia de modificação ou conversibilidade atrelada ao conceito de calor. Tais concepções são importantíssimas, visto que sem essas não se poderia relacionar o calor com a energia. E isso ocorre gradualmente.

É interessante notar "*que a maioria dos homens de ciência*" considerava "*aceitável*", entre 1800 e 1815, "*tanto quanto tinha sido em 1797*", a ideia de um princípio material subjacente aos fenômenos térmicos (FOX, 1971 *apud* GOMES, 2012, p.1063). Muitas foram as iniciativas as quais visavam definir dimensionalmente esse algo fundamental, mais adiante chamado de energia. Nesse processo, um passo fundamental foi o avanço ocorrido através dos estudos do calor. A seguir, discutiremos com mais detalhes o que acabamos de afirmar.

V.4.3 A construção do equivalente mecânico do calor

No que tange à defesa do princípio de conservação da força - mais adiante, da energia -, afirmações apriorísticas não eram suficientes; a aceitação do referido princípio requeria algo mais do que uma estrutura metafísico-qualitativa. O estabelecimento de uma relação quantitativa entre grandezas mensuráveis foi fundamental. Somente assim seria possível uma testagem experimental a qual favoreceria ou não a ideia de conservação da força (MARTINS, 1984).

Segundo Praxedes & Jacques (2009, p.5),

> *"Além da identificação de uma entidade comum aos vários processos de conversão, era importante também, para a emergência de um princípio de conservação com utilidade prática, a quantificação de um fator de conversão padrão"*.

Ao longo do século XIX, diversos indivíduos contribuíram para tornar o princípio de conservação da energia uma lei física fundamental (GOWER, 1975). Tais indivíduos não comunicaram exatamente as mesmas coisas, contudo, todos tratavam do mesmo aspecto da natureza. Nos trabalhos publicados pelos mesmos atenta-se para a presença de uma força - um poder ou potência - metafísica, única e indestrutível, subjacente aos diversos fenômenos envolvidos nos processos ditos de interconversão (KUHN, 2011).

Ao "*menos uma dúzia de pessoas (...), de 1832 a 1854, propuseram de algum modo, a ideia*" de conservação da força. "*Alguns exprimiram tal ideia vagamente; outros a exprimiram de um modo bastante claro*" (RUTHERFORD et al., 1978, p.63).

Entre 1842 e 1847, quatro trabalhos são publicados. J. Mayer (1814-1878), J. Joule (1818-1889), Colding e H. Helmholtz (1821-1894) foram os respectivos autores. Os indivíduos referidos costumam ser apontados como alguns daqueles que grandemente contribuíram para o estabelecimento do conceito de energia no âmbito científico, afirma Coelho (2013); Kuhn (2011) coloca-os na lista daqueles que chama de primeiros construtores do princípio de conservação da energia - especificamente, refere-se aos mesmos como pioneiros, no que tange à construção do princípio de conservação da energia.

Cada um dos trabalhos supracitados possui uma particularidade, todavia, todos eles discutem basicamente a mesma hipótese - segundo a qual, conserva-se certa grandeza mediante quaisquer processos ditos de conversão interfenomênica averiguados. Curiosamente, há nos escritos dos "pioneiros" saltos consideráveis. "*A ocorrência persistente desses saltos mentais sugere que*" tais pioneiros "*estavam consideravelmente predispostos a perceber uma única e indestrutível força*" subjacente a todos os fenômenos naturais (KUHN, 2011, p.118).

Os trabalhos mencionados destacam-se pela apresentação de análises quantitativas concretas e relativas à referida suposta conservação; e isso reforçava as convicções metafísicas nutridas à época. Mayer, Joule, Colding e Helmholtz concordavam sobre o seguinte: o calor não é uma substância; α unidades mecânicas equivalem a β unidades térmicas; através de métodos experimentais adequados poder-se-ia estabelecer uma relação entre calor e trabalho mecânico (COELHO, 2009). M. Séguin (1786-1875), C. Holtzmann (1811-1865) e G. Hirn (1815-1890) também publicaram trabalhos nos quais discutiram algo semelhante (KUHN, 2011).

K. Mohr (1806-1879), R. Grove (1811-1896) e M. Faraday (1791-1867) falaram sobre uma força cuja quantidade é conservada durante os processos citados - de suposta conversão interfenomênica - e que pode assumir diferentes formas (KUHN, p.91). Para Faraday, por exemplo, os diversos poderes da matéria - os quais poderíamos simplesmente chamar de fenômenos - estão conectados e são devidos a uma causa comum. Para Mohr, essa causa ou força pode aparecer sob várias circunstâncias, tais como movimento, afinidade química, coesão, eletricidade, luz, calor e magnetismo. Mohr ainda afirmara que a partir de qualquer um desses fenômenos todos os outros poderiam ser convocados. Grove discutiu algo similar (GOWER, 1973).

Colding concebera a força como algo espiritual, imaterial e superior a tudo aquilo que se encontra no chamado mundo material - por conseguinte, supunha Colding, algo eterno, imperecível. De acordo com Colding, tal força encontra-se intimamente ligada aos fenômenos naturais. Colding sustentara a conservação da força durante quaisquer processos naturais, algo relacionado com a idéia de interconversão fenomênica. Para Colding, tais processos resultam de uma mudança de forma da força (COELHO, 2013; ELKANA, 1975).

V.5 Mayer e Helmholtz

No que concerne ao processo de construção do princípio de conservação da energia, na presente dissertação, destacamos os papéis de Mayer e Helmholtz, ambos médicos e físicos alemães. Historicamente - ao menos até onde se sabe -, Mayer foi o primeiro a quantificar o equivalente mecânico do calor; e Helmholtz foi o primeiro a estabelecer o princípio de conservação da energia - ou mais precisamente da força - em toda a sua generalidade (ELKANA, 1975).

Mayer estudou em Tubinga, local onde também estudaram F. Hölderlin (1770-1843), Hegel e Schelling, por exemplo. Isso sem dúvida é bastante relevante (SOUZA FILHO, 1995). Segundo Berlin (2013), quaisquer escritos ou produções culturais refletem um padrão particular dominante. Tal padrão varia de acordo com um contexto específico; mais do que isso, pode-se dizer que é fruto desse contexto.

A construção do princípio de conservação da energia demandou um plano de fundo filosófico adequado. No que tange ao estudo do processo de construção do princípio supracitado, a análise do referido contexto é fundamental. E isso, pois, como dito previamente, o contexto propicia condições adequadas para a produção de um saber científico qualquer. Diz Elkana (1975) que a formação universitária disponível na Alemanha do período por nós analisado - final do século XVIII e início do século XIX - foi determinante para a construção do princípio salientado.

O estudo profundo da filosofia compunha os currículos do modelo educacional alemão de então (GOWER, 1973). Naturalmente, algumas obras filosóficas românticas eram amplamente lidas pelos estudantes alemães (RUTHERFORD et al., 1978). Independentemente da carreira escolhida pelo estudante, esse, cedo ou tarde, confrontaria as ditas questões fundamentais, de cunho metafísico ou, de modo mais geral, filosófico. A filosofia alemã procurava abarcar todo o pensamento intelectual humano. As questões e afirmações postas nos escritos referidos eram refletidas e discutidas; tais estudantes eram incentivados a posicionar-se criticamente diante das mesmas (ELKANA, 1975). Nas universidades alemãs da primeira metade do século XIX imperava certa tendência especulativa (VIDEIRA, 2011).

Segundo Kuhn (2011, p.120), a doutrina de Schelling - a *Naturphilosophie* romântica - dominara os centros universitários alemães "*e muitas universidades vizinhas ao longo do primeiro terço do século XIX*". Ben-Dov (1996, p.60) reforça tal ideia ao dizer que a *Naturphilosophie* foi "*dominante na comunidade acadêmica alemã do final do século XVIII*". Para Kneller (1980, p.209), a *Naturphilosophie* foi "*a mais poderosa (...) impulsora*" da ciência "*alemã durante a primeira metade do século XIX*". Certas ideias relacionadas com tal visão de

ciência possivelmente influenciaram Mayer e Helmholtz, dentre muitos indivíduos alemães (KNELLER, 1980; QUEIRÓS et al., 2009; VALENTE, 1999).

Num ambiente universitário tão fértil como o mencionado, poder-se-ia optar tanto por vieses baseados na coleta e análise de dados experimentais quanto de pura especulação e intensa formulação de hipóteses não-testáveis - dentre outros (ELKANA, 1975). A especulação era encorajada - embora não seja possível dizer que, no tocante ao domínio científico, as especulações excessivas agradassem consensualmente.

Em 1824, J. Poggendorff (1796-1877) fundou os *Annalen der Physik und Chemie* (Anais de Física e Química); também os supervisionou por certo tempo. Poggendorff recusou-se a publicar os primeiros trabalhos de Mayer e Helmholtz acerca da conservação da força submetidos aos *Annalen*. Considerados demasiadamente especulativos, os trabalhos de Mayer e Helmholtz foram rechaçados por Poggendorff (KNELLER, 1980). No que tange ao trabalho de Mayer, de 1841, Poggendorff ainda alegara enquanto impeditivo a grande quantidade de erros básicos de física presente em tal texto (MARTINS, 1984). Poggendorff recusara a publicação do trabalho de Helmholtz, de 1847, alegando ainda que tal trabalho carecia de experimentos. Poggendorff, contudo, admitiu a relevância teórica do artigo de Helmholtz (SOUZA FILHO, 1995).

O episódio da recusa dos trabalhos de Mayer e Helmholtz sobre a conservação da força por Poggendorff evidencia que a ciência não é neutra; a ciência reflete a bagagem cultural - as crenças e inclinações, os preconceitos etc. - daqueles que a representam e praticam. A postura de Poggendorff ressalta o “peso” da visão de ciência por ele nutrida. Podemos aqui também evidenciar outro importante aspecto relacionado com a NdC e que não costuma ser muito abordado nas listas consensuais. Trata-se da necessidade de aceitação por parte dos pares, ou seja, por parte dos demais cientistas pertencentes a um determinado domínio em questão. A não aceitação pode fadar um trabalho ao esquecimento, à desgraça.

A publicação das considerações de Mayer acerca da conservação da força aconteceu somente em 1842; de Helmholtz, em 1847 (MARTINS, 1984).

Nos trabalhos de Mayer e Helmholtz - assim como nos de Colding, Liebig, Mohr e Séguin - a ideia de conservação da força não emerge aos poucos, como solução para um problema específico. Mayer e Helmholtz não iniciam seus trabalhos “*com um problema técnico bem delineado*”. Em tais trabalhos, a ideia de conservação da força “*parece ser anterior*” a todo o resto, como se as pesquisas seguintes não pudessem acometê-la (KUHN, 2011, pp.116-117).

Os trabalhos de Mayer e Helmholtz sobre a conservação da - à época - força evidenciam certas ideias similares as dos *Naturphilosophen*; em tais trabalhos, a defesa da

conservação da força "*repousava sobre argumentos próximos em espírito à Naturphilosophie*" (BEN-DOV, 1996, p.60).

A partir da crença metafísica em certa grandeza, a força, subjacente às diversas manifestações da natureza - ditos processos de conversão disponíveis à época -, que "*a despeito de suas mudanças de propriedades, permanece idêntica*" (BEN-DOV, 1996, p.60) - ou seja, imperecível, conserva-se em quantidade -, Mayer e Helmholtz vislumbraram o estabelecimento de uma possível relação quantitativa entre os fenômenos referidos. Contudo, antes de qualquer outra coisa, existia uma motivação filosófica (QUEIRÓS et al., 2009).

No que concerne aos saltos mentais - referidos em sessão anterior -, presentes também nos escritos de Mayer e Helmholtz, só podemos pensar numa possível omissão tendenciosa, visto que uma citação explícita fadaria definitivamente o trabalho de algum desses indivíduos ao fracasso imediato, a um rechaçamento instantâneo. Omissão e citação do que? De referências explícitas aos *Naturphilosophen*. E aqui estamos verdadeiramente especulando. Contudo, não especulamos sozinhos. Kuhn (2011) foi um daqueles que também insinuaram o mesmo.

Silva et al. (2013) afirmam que Mayer sustentara uma suposta conservação por razões profundas: havia sido influenciado pela *Naturphilosophie*. Rutherford et al. (1978) também afirmam o mesmo. Tais afirmativas não sugerem que Mayer foi, de fato, um *Naturphilosoph*; seus escritos sobre a conservação da força evidenciam certos traços comuns àqueles dos *Naturphilosophen*, algo que nos leva a crer numa provável influência contextual, muito embora tal influência seja tão somente alegada (CANEVA, 1997). O mesmo serve para Helmholtz.

Segundo Kremer (1990), no mesmo período em que escreveu seu ensaio acerca da conservação da força, Helmholtz estava lendo diversas obras. Dentre os autores dessas obras, podemos citar: W. Shakespeare (1564-1616), C. Dickens (1812-1870) e mesmo o bem conhecido *Naturphilosoph* H. Steffens (1773-1845). Algum interesse específico por esses escritos Helmholtz devia ter. Além disso, Helmholtz foi um admirador assumido das obras de Kant, Fichte e Goethe - todos fontes de inspiração para a *Naturphilosophie* romântica de Schelling; Helmholtz admitira ter lido detalhadamente as obras de Goethe. O pai de H. Helmholtz - A. Helmholtz (1792-1858) -, além de professor de filosofia e literatura clássica, foi amigo íntimo do filho de Fichte - I. Fichte (1796-1879). Helmholtz presenciara inúmeras vezes as conversas de cunho filosófico entre seu pai e os amigos desse (ELKANA, 1975; KUHN, 2011; SOUZA FILHO, 1995; VIDEIRA, 2011).

Segundo Souza Filho (1995, p.55), podemos imaginar algumas das questões presentes nessas conversas, muitas das quais permeadas por ideias respectivas à *Naturphilosophie*, em estado efervescente à época.

Souza Filho (1995) especula acerca da seguinte questão: é possível que Helmholtz tenha sido influenciado por tais conversas? É possível que tais ideias tenham desenvolvido em Helmholtz certo gosto pelas ditas grandes generalizações - o qual culminaria na estruturação de um princípio de conservação universal? Acreditamos que sim. Helmholtz desenvolvera suas teorias físicas em busca de uma possível unidade.

Helmholtz passara diversos anos trabalhando no laboratório de J. Müller (1801-1858), onde vários médicos e fisiologistas - inclusive o próprio Müller - laboravam juntos. Müller fora possuidor de uma "*mente contemplativa, especulativa, metafísica, quiçá mística*". Müller - que, assim como Helmholtz, fora bastante influenciado por Goethe - influenciara demasiadamente Helmholtz (ELKANA, 1975, p.107).

Müller também foi um defensor da *Naturphilosophie* de Schelling (PATTON, 2014); Ainda na Universidade de Bonn - em torno de 1820 -, Müller tivera aula com muitos *Naturphilosophen*, dentre eles os fisiologistas C. Nasse (1778-1851), P. Walther (1782-1849), G. Kastner (1783-1857) - amigo de Schelling - e o botânico N. Esenbeck (1776-1858) - amigo de Goethe. O trabalho de Müller mescla de modo bastante evidente - e interessante - aspectos mecanicistas, vitalistas e *Naturphilosophische* (ELKANA, 1975).

Curiosamente, segundo Woodward (1975, p.147), já em 1826, Müller utilizara o termo energia; o fez durante a exposição de sua chamada "Doutrina das energias específicas dos sentidos". Helmholtz não utilizou o vocábulo de imediato, embora provavelmente o conhecesse. Infelizmente, não tivemos mais tempo para que pudéssemos aprofundar tais estudos.

Segundo Elkana (1975, p.9), fizeram de Helmholtz o homem ideal para a tarefa de estabelecer o princípio de conservação da energia "*em toda a sua generalidade*": as influências contextuais que citamos nas linhas anteriores, aliadas à habilidade desse indivíduo em física e matemática - algo que Mayer, por exemplo, não possuía.

Embora Helmholtz tenha sido um declarado e ávido opositor da metafísica (SOUZA FILHO, 1995; VIDEIRA, 2011), seu princípio de conservação da força baseia-se em argumentos metafísicos. Na introdução de seu artigo, de 1847, Helmholtz firma uma série de pressupostos metafísicos. Tais pressupostos - basicamente - relacionam-se com o princípio de causalidade, a ontologia, a matéria e a força (SOUZA FILHO, 1995). Em Helmholtz temos que, em última instância, todos os fenômenos naturais relacionam-se com forças de atração e repulsão (COELHO, 2012; COELHO 2013; ELKANA, 1975; SOUZA FILHO, 1995). Algo absolutamente metafísico.

Para justificar o princípio de conservação da força, Helmholtz aludira ao princípio de exclusão do moto-perpétuo. Alguns autores - E. Mach (1838-1916), por exemplo - discutem o seguinte: ao engendrarmos a impossibilidade de um movimento perpétuo, automaticamente, por conseguinte, concebemos que não é possível a criação de energia. Segundo tais autores,

os estudos que culminaram na elaboração do princípio de conservação da energia partiram da reflexão anterior (VALENTE, 1999). Todavia, entre supostamente não ser possível a criação de energia e hipoteticamente a energia ser indestrutível, existe um abismo. Por que a energia precisa ser conservada - ou se conserva? A princípio, a ideia de conservação acomete a impossibilidade de um movimento perpétuo.

É interessante notar que Helmholtz não partiu do princípio de exclusão para que, tão somente em seguida, chegasse ao princípio de conservação. Partiu da seguinte crença *a priori*: "*todas as ações na natureza podem ser referidas, em última instância, a forças atrativas e repulsivas*" (*apud* SOUZA FILHO, 1995, p.57).

V.5.1 Um pouco da metafísica apregoada por Mayer

Voltemo-nos novamente para Mayer. De acordo com Mayer (1984, p.86), "forças são causas"; e "*causas são objetos (quantitativamente) indestrutíveis e (qualitativamente) conversíveis*". Podemos dizer, afirma - aprioristicamente - Mayer, que a força, qualquer que seja sua forma, pode ser transformada numa outra. "*Em verdade tão somente existe uma única força*". Essa passagem pode nos conduzir a uma analogia. E isso, pois Schelling também falou da existência de uma única força essencial, subjacente aos fenômenos naturais.

"*Podemos derivar todos os fenômenos de uma força primordial que tem como efeito a anulação de todas as diferenças existentes e une todas as coisas existentes*", diz Mayer (*apud* VALENTE, 1999, p.215). Aqui, podemos perceber as ideias de unidade e de todo presentes no discurso de Mayer.

Para Mayer (1845 *apud* VALENTE, 1999, p.235), "*a única missão da física*" é "*familiarizar-se com a força em suas diversas formas e investigar as condições que regem as transformações da mesma*". Mayer - assim como os *Naturphilosophen* - não acreditava que o domínio mecânico fosse capaz de lidar convenientemente com a questão da força. A mecânica "*anatomiza (...) disseca os objetos naturais com os quais lida (...) até que os mesmos correspondam a números*" e por isso afasta-se do mundo natural-fenomênico, disse Mayer (1845 *apud* VALENTE, 1999, p.235). A mecânica, segundo Mayer, procede de modo analítico, ou seja, não-sintético (VALENTE, 1999). Mayer, assim como Schelling, opôs-se à análise cartesiana; preferiu, por sua vez, um viés holístico, voltado para a totalidade dos fenômenos naturais (BEN-DOV, 1996).

Segundo Valente (1999), Mayer pretendia algumas coisas: tornar o conceito de força inteligível; através do conceito referido representar e conectar os fenômenos naturais; interpretar os fenômenos fisiológicos através da ideia de conservação da força; e, assim, promover uma síntese entre o domínio inorgânico e o orgânico.

Mayer promovera através do conceito de força uma ligação entre os domínios referidos (VALENTE, 1999). Tal preocupação também estivera presente nos escritos de Schelling. Para Mayer, a conservação da força é uma lei universal. Assim, por analogia, é possível aplicá-la ao caso dos seres vivos. Mayer foi movido por uma convicção: pela ideia de uma natureza unificada - e, por isso, perseguiu a unificação do todo natural-fenomênico. E unificada em decorrência de uma única força (VALENTE, 1999).

É interessante notar o apelo que Mayer (*apud* VALENTE, 1999, p.233) fez, em obra de 1845 - *Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhang mit dem Stoffwechsel* (O movimento orgânico em sua conexão com o metabolismo), aos físicos de seu tempo: "*físicos para os quais o cálculo é uma ferramenta investigativa e não um fim em si mesmo não negarão um exame sincero acerca disso*". Mayer referia-se aos seus trabalhos - os quais foram rechaçados por muitos - e, decerto, às suas ideias. Os trabalhos de Mayer são repletos de especulações, cheios de estudos qualitativos.

V.5.2 O equivalente mecânico do calor calculado por Mayer

Filosoficamente, a ideia de conservação - de identidade entre causa e efeito - relaciona-se com a de imanência. Quanto à invariabilidade da quantidade de força, disse Mayer (1984) que a mesma implica num princípio de igualdade entre causas e efeitos: *causa aequat effectum*. Segundo Mayer (1984), uma causa qualquer converte-se integralmente em seu próprio efeito. Tal ideia de imanência é apriorística. Mayer tão somente argumenta que não faz sentido pensarmos em algo surgido do nada, assim como não é plausível acreditarmos que "*alguma coisa possa transformar-se em nada*" (MARTINS, 1984).

Mayer falou sobre uma força que pode assumir diversas formas. E isso sem que a quantidade da mesma se altere. Tal força deve, ao transformar-se, respeitar uma relação de causa e efeito. Assim, durante uma transformação qualquer, a primeira forma deve ser necessariamente a causa da segunda forma; e "*se a causa é força, o efeito também é uma força*" (MAYER, 1984, p.87). É interessante notar que Mayer queria tornar evidente uma suposta relação causal entre as forças - entre as manifestações relacionadas com a grandeza à época chamada de força (MARTINS, 1984). Tal força, segundo Mayer (1984), é indestrutível e mutável.

Todos os fenômenos - movimento, calor, luz, eletricidade, reações químicas etc. - então relacionados com os ditos processos de conversão eram considerados efeitos do mesmo objeto - supostamente capaz de assumir diferentes formas -, a força (VALENTE, 1999). Não temos como precisar de que maneira ocorre a conversão referida. Mais do que isso, não sabemos se, de fato, ocorre uma conversão. Logo, a conversão é uma especulação; e a conservação idem.

Imbuído de tais ideias - metafísicas -, Mayer voltou-se para a construção de uma relação de equivalência quantitativa entre domínios fenomênicos distintos: entre movimento e calor ou movimento e eletricidade ou eletricidade e calor etc. Para Mayer (1984), o calor é uma força. Mayer poderia ter dito tão somente que o calor é um movimento, visto que - como Joule e tantos outros (COELHO, 2013) - também acreditava nisso, entretanto, buscou algo supostamente mais genérico e concernente à natureza de ambos os fenômenos (MARTINS, 1984).

Primeiramente, Mayer voltou-se para a questão dos corpos em queda livre. As ideias de conversão e conservação foram utilizadas para que dados observáveis em certas circunstâncias pudessem ser conectados (MARTINS, 1984).

> "*Força de queda e queda, e ainda de modo mais geral, força de queda e movimento, são forças que se relacionam como causa e efeito, forças que se transformam uma na outra, duas formas diferentes de manifestação de um mesmo objeto*" (MAYER, 1984, p.88).



Figura V.10 - Corpo em queda livre.

Imaginemos um corpo qualquer que cai livremente - como na figura anterior. Mayer (1984) não efetuou uma distinção clara entre peso (P) e massa (m) - ou seja, para Mayer, P = m; Mayer afirmou que: juntos, o peso do corpo (tal que P = m) e a distância do mesmo - ou seja, do corpo - ao solo (h) compõem a causa da referida queda, algo que resulta em um movimento expresso pela *vis viva* do corpo. Como "*causa aequat effectum*", então (MAYER, 1984, p.86): $m \cdot h = m \cdot v^2$.

Em seguida - e sob a mesma orientação filosófica -, Mayer discutiu a existência de uma relação causal entre calor e movimento. Durante todos os seus cálculos, Mayer utilizara valores então conhecidos (COELHO, 2009) - de experiências prévias com gases realizadas por L. Gay-Lussac (1778-1850) e P. Dulong (1785-1838), por exemplo (MARTINS, 1984).

Há situações, argumentara Mayer, nas quais o calor é efeito de um movimento e há outras em que causa um movimento (COELHO, 2009) - assim, "*o calor também deve naturalmente ser igual a movimento e força de queda*" (MAYER, 1984, p.93). Mayer (1984) concluíra que existe uma correspondência entre o aquecimento de certa quantidade de água

de 0°C a 1°C e a queda de uma altura de 365 metros dessa mesma quantidade de água. Em 1845, Mayer retificou o valor da altura mencionada. Ao invés de 365 m, corrigiu o valor para 367 m (COELHO, 2009).

E, como Mayer supunha uma identidade entre causas e efeitos: α unidades mecânicas, por conseguinte, devem corresponder a β unidades térmicas. Se α unidades de trabalho mecânico - ou seja, causa mecânica - correspondem a β unidades de calor - ou seja, efeito térmico -, 1 unidade de calor corresponde a $\frac{\alpha}{\beta}$, o valor do equivalente mecânico do calor. Mayer chegara a um valor para o equivalente mecânico do calor de 3,6 $\frac{J}{cal}$. O valor aceito atualmente é de ≈ 4,2 $\frac{J}{cal}$.

V.6 Acerca da *vis viva*

Notadamente, a ideia de algo imutável por trás dos fenômenos naturais, de algo primordial e que se conserva, já existe desde os filósofos pré-socráticos (MARTINS, 1984; PONCZEK, 2000). Tal concepção metafísica é de grande relevância no contexto científico clássico, especificamente no que tange às considerações cartesiana, newtoniana e leibniziana acerca de Deus.

No contexto mencionado, um princípio de conservação traduzia a perfeição de algo que foi criado ou causado; o imutável, assim como o indestrutível, encontrava-se diretamente relacionado à perfeição, ao ideal, ao divino. O que é perfeito não deve mudar, visto que mudando poderia não mais sê-lo (PONCZEK, 2000).

É interessante notar que, muito embora ciência e religião sejam tomadas por alguns como absolutamente opostas e incompatíveis (HENRY, 1998), apartar as histórias do pensamento filosófico-científico e do pensamento religioso parece impossível (KOYRÉ, 2011). Considerações teológicas foram - e ainda são - determinantes em diversos momentos do processo de construção dos saberes científicos. Tais considerações inspiram os cientistas, subjazem às posturas assumidas pelos mesmos, aos direcionamentos, às decisões tomadas e que se refletem na atividade científica.

Ponderações teológicas levaram Descartes - que já tentava, de certa maneira, suplantar o aristotelismo escolástico (BARRA, 2003) -, a pensar na hipótese de uma conservação do movimento (BRAGA et al., 2011), visto que, num primeiro momento, Deus o teria causado na matéria. Segundo Descartes, tudo foi pré-determinado por Deus, pelas condições iniciais impostas pelo Criador à criação (PONCZEK, 2000); "'*Deus criou a matéria com uma parte em repouso e outra em movimento... por isso se conserva no Universo, por*

seu concurso comum, a mesma quantidade de movimento e repouso que Ele colocou no princípio da criação" (*apud* PIETROCOLA et al., 2010, p.27).

Pelo princípio cartesiano de conservação da quantidade de movimento, ao criar o Universo, Deus - com sua potência criadora e vontade imutável, fundamentos para as forças causais ativas e presentes no Universo (BARRA, 2003) - lhe conferiu também um movimento; de acordo com o princípio supracitado, a quantidade de movimento total transferida à criação é imutável, ou seja, não pode nem aumentar, nem diminuir. A quantidade de movimento de um corpo pode ser alterada, entretanto, a quantidade de movimento do sistema que comporta tal corpo não se altera.

"*Para Descartes, todo movimento de um corpo provém do movimento de outro corpo*" (PIETROCOLA et al., 2010, p.27). Numa colisão elástica entre dois corpos, enquanto um deles perde certa quantidade de movimento, o outro adquire essa mesma quantidade de movimento (BAPTISTA, 2006).

Newton também explicitou sua visão acerca de uma possível e *a priori* conservação do movimento. Newton acreditava num Deus presente no Universo e ciente de tudo aquilo que nesse ocorre. A hipótese newtoniana não depende da conservação de grandeza alguma, uma vez que, segundo a mesma, Deus pode interferir em sua obra - efetuando as correções ou alterações que bem quiser no Universo - a todo e qualquer momento (BRAGA et al., 2011). Para Newton, é nítida a tendência que leva um corpo qualquer a parar de movimentar-se num dado instante. E isso em decorrência de forças externas dissipativas que atuam sobre o corpo (BARACCA, 2001).

Quanto à concepção deísta de Leibniz, tal filósofo alemão acreditava em um Artífice produtor do melhor Universo possível; de acordo com Leibniz, por ser Deus perfeito, por conseguinte, sua criação, o Universo, deve, necessariamente, ser perfeito. E, por ser originariamente indefectível, qualquer interferência em seu curso torna-se, portanto, desnecessária (BRAGA et al., 2011).

À exemplo de Descartes, Leibniz sustentou a conservação de algo; Leibniz perseguiu um princípio unitário fundamental. E falou desse princípio em termos de uma possível conservação da *vis* - ou força. Como dito previamente, o Universo leibniziano pode ser reduzido a essa força que difere bastante da - *vis* - newtoniana (ELKANA, 1975). A força leibniziana pode tomar a forma de *vis viva* - possuída por objetos em movimento - ou *vis mortua* - relativa a objetos em repouso e que possuam alguma propriedade tal - como posição ou deformação - que lhes confira a habilidade ou capacidade de produzir *vis viva* (LEHRMAN, 1973).

Segundo Ponczek (2000), no cenário filosófico-científico europeu do século XVII, discutia-se sobre uma possível relação intrínseca - de causalidade - entre a *vis* e o movimento dos corpos. À época, era comum a assunção, segundo a qual, para que um corpo possa

ocupar seu lugar natural - um conhecido conceito aristotélico - a *vis*, imanente ao movimento do mesmo, hipoteticamente deve esgotar-se. Inspirado por tal ideia, Leibniz tentara estabelecer a medida do movimento da matéria. Segundo Leibniz, esse movimento é efeito de uma *vis* que lhe foi causa imanente.

Em meio a tantas especulações, quais "*seriam as grandezas que melhor representariam a matéria e seu movimento? Que expressões matemáticas melhor representariam os grandes princípios de conservação do Universo?*" A *vis viva* de leibniz ou a quantidade de movimento cartesiana (PONCZEK, 2000, p.337)?

V.6.1 A justificativa matemática leibniziana

Pode parecer trivial que as leis físicas sejam expressas em linguagem matemática, entretanto, a HC nos mostra que nem sempre foi assim. Antes do advento da ciência moderna, também eram sistematicamente elaboradas leis físicas, contudo, não tomava-se a linguagem matemática como critério de cientificidade (PIETROCOLA, 2002). Privilegiou-se a matemática como linguagem, visto que trata-se de uma "*linguagem que não*" fica "*à mercê da relatividade das opiniões*" (GUERRA et al., 1997, p.14).

Tais justificativas relacionam-se com a busca de Descartes e Leibniz por expressões matemáticas adequadas à medida do movimento - ou da força que origina o movimento - de um corpo. No decorrer dessa busca, Descartes chegara à expressão "m x v" - ou seja, para Descartes, o produto da massa de um corpo pela velocidade desse mesmo corpo representa a medida do - ou quantifica o - movimento do corpo analisado - ou, como já dito, da força que origina o movimento do corpo considerado.

Para que pudesse refutar a hipótese cartesiana, Leibniz testou-a; Leibniz investigou-a matematicamente a partir de uma situação conhecida, idealizada e estabelecida por Galileu - em 1638 -, concernente ao movimento dos corpos em queda livre. Dos estudos referidos, Leibniz chegou às seguintes conclusões: o produto da massa de um corpo pelo quadrado da velocidade desse mesmo corpo - representado pela expressão "m x v^2" - quantifica, adequadamente, a grandeza conservada. Leibniz chamou tal grandeza de *vis viva* (PONCZEK, 2000).

A seguir, vejamos - aproximadamente - o que Leibniz fez (RAMOS; PONCZEK, 2011):

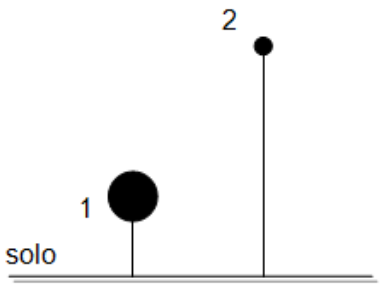


Figura V.11 - Dois corpos caindo livremente.

Consideremos dois corpos - representados na figura -, ambos em queda livre. Suponhamos que a massa de um dos corpos é quatro vezes maior do que a do outro; e pensemos que o corpo de menor massa cai de uma altura quatro vezes maior do que a do outro:

m_1 = 4m

h_1 = x

m_2 = m

h_2 = 4x

De acordo com Galileu, a velocidade final dos corpos em queda livre independe de suas massas; tal velocidade depende tão somente da altura, a partir da qual iniciam a queda em questão. E isso era bem aceito por Leibniz (RAMOS; PONCZEK, 2011).

Mais do que isso, à época, já afirmava-se o seguinte: a velocidade final de um corpo que cai livremente é proporcional à raíz quadrada da altura - da qual o corpo inicia a sua queda. Logo, v_f = K$\sqrt{h}$, onde K é uma constante de proporcionalidade. Então, daquilo que concebera Descartes, temos: F = m . v.

E no exato momento em que os corpos atingem o solo:

F_1 = 4m . K$\sqrt{x}$

F_2 = m . K$\sqrt{4x}$ = 2m . K$\sqrt{x}$

Aqui, a crença metafísica - *a priori* - em um princípio de conservação na natureza foi - o fator - determinante. Segundo tal crença, F_1 e F_2 devem ser idênticas. Como $F_1 \neq F_2$, concluiu Leibniz que a equação proposta por Descartes, representativa da dita quantidade de movimento - ou seja, a qual deve servir para o cálculo da medida do movimento ou força que origina o movimento de um corpo ,- não poderia ser “m x v”. Como alternativa, Leibniz sugeriu a equação representativa do construto que chamara de *vis viva*, segundo a qual: *vis* = m . v².

Expressêmo-la da seguinte forma: F = m . v².

Assim, para a mesma situação:

F_1 = 4m . K$(\sqrt{x})^2$ = 4m . K . x

F_2 = m . K$(\sqrt{4x})^2$ = m . K . 4x

Como $F_1 = F_2$, segundo Leibniz, obtém-se algo coerente com aquilo que à época afirmava-se acerca do assunto.

A grandeza quantidade de movimento encontra-se, ainda hoje, presente nos manuais didáticos dirigidos ao ensino da mecânica clássica. É comum que a chamem de momento linear. No que concerne ao formalismo matemático atribuído ao conceito de quantidade de movimento, Descartes não utilizara notação vetorial.

No decorrer do século XIX, a *vis viva* de Leibniz passou por uma reformulação. Passou a ser chamada de energia cinética e quantificada da seguinte forma: *vis* = $\frac{1}{2}$ m . v². G. Coriolis (1792-1843) foi o primeiro - em 1829 - a insistir na divisão por dois da *vis viva* estabelecida por Leibniz; o fez para que houvesse uma igualdade numérica entre a mesma e o trabalho produzido por essa. Assim, $\frac{1}{2}$ m . ($v_f{}^2$ - $v_i{}^2$) = W_R (BRAGA et al., 2011; ELKANA, 1975).

Cabe destacar a figura do matemático J. Lagrange (1736-1813), aquele que construiu a equação a qual - já há algum tempo - representa a grandeza chamada de energia mecânica. Elkana (1975) enfatiza, muito embora, que Lagrange chegara a conclusões estritamente referentes à *vis viva* - precursora da energia cinética - e à função potencial - predecessora à energia potencial. As conclusões de Lagrange relativas a tais grandezas remetem-se aos casos onde não há atritos e independe-se do tempo. Em termos atuais, calcula-se a energia mecânica total de um sistema, através da seguinte expressão: E_M = E_C + E_P. Onde:

- Energia mecânica total do sistema → E_M
- Energia cinética total dos corpos que compõem o sistema analisado → E_C = $\sum \frac{1}{2}\ \mathrm{m}\,.\,\mathrm{v}^2$
- Energia potencial total dos corpos componentes do sistema examinado
  - gravitacional → E_{PG} = $\sum mgh$
  - elástica → E_{PE} = $\sum \frac{\mathrm{k}\,\Delta\mathrm{x}^2}{2}$
- Constante elástica da mola → k
- Deformação da mola → Δx

Segundo Elkana (1975), talvez tenha sido J. Bernoulli (1667-1748) o primeiro a introduzir o termo energia no âmbito científico. Em uma carta de 1717 a P. Varignon (1654-1722), Bernoulli chama de energia o produto daquilo que denomina *vitesse virtuelle* (velocidade virtual) pela força. T. Young (1773-1829) utilizou o vocábulo energia como se o mesmo fosse um sinônimo do termo *vis viva* (TAIT, 1864 *apud* VALENTE, 1999). De acordo com Young (1807 *apud* VALENTE, 1999, p.195), o "*produto da massa de um corpo pelo quadrado de sua velocidade pode apropriadamente ser chamado de energia*"; Young ainda

associou a palavra à capacidade de realizar trabalho (RANKINE, 1881 *apud* VALENTE, 1999).

É interessante notar que mesmo antes de emergir como conceito científico, o termo energia já era utilizado em domínios socioculturais distintos, afirma Valente (1999). Na poesia, por exemplo, há registro do vocábulo na obra *The Marriage of Heaven and Hell* (O Casamento do Céu e do Inferno) de W. Blake - (1757-1827), poeta e pintor romântico - (2010, p.3):

> "*Sem Contrários não há progressão. Atração e Repulsão, Razão e Energia, Amor e Ódio, são necessários para a existência humana (...) Destes contrários salta aquilo que o religioso chama de Bom e de Mau. Bom é o passivo que obedece à Razão. Mau é o ativo vindo da Energia*".

Valente (1999) ainda ressalta a presença do termo num escrito do bailarino francês J. Noverre (1727-1810): disse Noverre (1760, *apud* VALENTE, 1999, pp.170-171) que um artista não é capaz de cativar o público "*recitanto belos versos mecanicamente*"; "*é necessário que a alma, a fisionomia, o gesto, as atitudes*" do artista "*falem todos com tanta energia quanto verdade*". Nessa passagem há algo bastante interessante: a presença de uma oposição, o expressar-se mecanicamente e o expressar-se com energia. O discurso de Noverre explicita o vocábulo energia enquanto algo dinâmico, ativo e relevante ao artista - nesse caso, ao dançarino; tal discurso evidencia também que o termo já era significante no âmbito artístico.

O químico inglês H. Davy (1778-1829) - como dito anteriormente, amigo de Coleridge, introdutor da *Naturphilosophie* em solo inglês - também utilizara-o. É curioso notar que, de acordo com Valente (1999), Davy - colega de Young, aquele que, segundo Elkana (1975), identificou os contrutos energia e *vis viva* - utilizou o termo tão somente em poemas. Notadamente, em certas literaturas do período - poemas, por exemplo - o termo é utilizado de modo vago, com um sentido não muito distante daquele atribuído à palavra *energeia* pelos gregos da Antiguidade.

Segundo Stork (2008), a tradução adequada para o vocábulo grego *ἐνέργεια* - *energeia* ou energia - é ato. Etimologicamente, o termo energia relaciona-se com a ação ou estado de trabalhar - de realizar trabalho. Aristóteles, diz Stork (2008), foi o primeiro a utilizar tal termo; o cunhou e remeteu-o a tal ação ou estado. Aristóteles também distinguiu a potência do ato, muito embora Platão já houvesse sutilmente indicado tal distinção.

Segundo Aristóteles (*apud* STORK, 2008, p.96), energia é: em um ser vivo, "*o perceber a si mesmo, o uso da capacidade ou faculdade, o ter a ciência, a contemplação, o 'estar dirigindo o olhar para alguma coisa', em suma, o uso dos sentidos*"; a posse do bem o qual produz gozo, visto que a energia é perfeita e seu objeto idem.

V.7 O avanço do domínio termodinâmico

Em meados do século XIX, a grandeza força - dotada de sentido distinto daquele da força newtoniana - relacionada com o princípio de conservação da força foi renomeada; passou a ser chamada de energia. Para Smith (1998, p.2), tal mudança foi motivada por razões mais do que linguísticas. A instauração de uma nova linguagem era tão somente *"sintomática de uma série de profundas mudanças conceituais que resultaram em uma nova visão científica"* (SMITH, 1998).

Voltemo-nos para a questão das máquinas térmicas mais uma vez. Como dito em seção anterior, Sadi utilizara o conceito de fluido calórico para assentar sua obra. Sadi ainda supôs que, durante a atividade de uma máquina térmica, todo calórico proveniente da "fonte quente" dirige-se e chega à "fonte fria" (DIAS, 2007). Para Sadi, o calórico é carregado pelo vapor até o condensador, "*atravessa as paredes da caldeira*" e a "*água fria do condensador se apodera, então, como resultado final, do calórico*" (DIAS, 1990, p.74).

Sadi também estabeleceu uma analogia entre o dispositivo das rodas hidráulicas e o das máquinas a vapor: de

> "*acordo com os princípios estabelecidos, até o presente, pode-se comparar (...) a potência motriz do calor àquela de uma queda de água (...). A potência motriz de uma queda de água depende de sua altura e da quantidade de líquido; a potência motriz do calor depende (...) da quantidade de calórico empregada e daquilo que se poderia chamar (...) de altura de sua queda, isto é, da diferença de temperatura dos corpos entre os quais*" há "*troca de calórico*" (*apud* DIAS, 1990, p.77).

Assim como, quando certa quantidade de água cai de uma altura superior à uma inferior, há produção de trabalho, quando certa quantidade de fluido calórico move-se de uma "altura térmica" superior à uma inferior, há produção de trabalho (BARACCA, 2001, p.314).

Mais precisamente, Sadi referiu-se à produção de "*potência motriz*" - visto que não supunha uma conversão de calor em trabalho ou mesmo uma distinção entre os conceitos de trabalho e potência. De acordo com Sadi, uma máquina a vapor produz "potência motriz" quando certa quantidade de fluido calórico dirige-se de uma fonte dita "quente" para uma fonte dita "fria" (BARRACA, 2001, p.313). Visivelmente, a ideia de produção de trabalho não era um problema filosófico para Sadi.

Em 1843, Joule - assim como Mayer já havia feito - estabelecera uma relação de proporcionalidade entre calor e trabalho mecânico (MARTINS, 1984). Joule supunha - como Mayer, em 1842 e Colding, também em 1843 - uma conversão total do calor em trabalho mecânico e vice-versa (DIAS, 2001). Para Joule, a destruição da força é aparente; acreditava numa restituição da mesma sob outra forma. É como se na natureza existisse um equilíbrio entre débito e crédito (DUIT, 2012). Através de dados obtidos mediante o estudo de dínamos

e motores elétricos, Joule calculou diversos valores para o equivalente mecânico do calor. Tais medidas - correspondentes à 1 cal - oscilam entre 3,2 J e 5,5 J (MARTINS, 1984).

Para que seja sustentada uma relação constante entre calor e trabalho, os resultados apresentados - os quais variam em até 2,3 J - mostram-se insatisfatórios. Apesar dos resultados atingidos, é interessante notar que as convicções de Joule - atreladas às ideias de conversão e conservação - permaneceram inabaladas; Joule manteve-se em defesa da indestrutibilidade dos ditos "*grandes agentes da natureza*". E ainda apelou para justificativas teológicas - metafísicas. Joule argumentara que somente "o Criador" poderia destruir os agentes referidos; por conseguinte, dissera que não perderia mais tempo repetindo tais experiências - e isso, pois "*quando se gasta poder mecânico, obtêm-se sempre um calor exatamente equivalente*" (*apud* MARTINS, 1984, p.71).

Obviamente, Sadi havia notado o efeito mecânico - bem diante dos olhos de qualquer um que observe uma máquina a vapor em atividade - decorrente do funcionamento de uma máquina térmica. É possível que Sadi tenha sido o primeiro a supor uma transformação de calor em trabalho - ou, mais precisamente, em potência motriz, como sugerem seus manuscritos póstumos, revelados por seu irmão, L. Carnot (1801-1888), em 1878 (NASCIMENTO et al., 2004) -, todavia, não o fez em sua obra de 1824, *Réflexions sur la puissance motrice du feu - sur les machines propres a développer cete puissance* (Reflexões sobre a potência motriz do calor). A ideia de conversão não é óbvia; não advém de imediato, em decorrência de uma simples observação. Joule teve motivos particulares para crer - de antemão - numa conversão de calor em trabalho mecânico; e, por isso, mesmo após a obtenção de dados experimentais inconsistentes, manteve sua crença.

Pensemos no seguinte: se numa máquina térmica todo calórico - ou calor - oriundo da "fonte quente" termina necessariamente na "fonte fria", como disse Sadi, de que maneira harmonizamos tal afirmativa com aquilo que disse Joule acerca da transformação do calor em trabalho mecânico? W. Thomson (1824-1907) foi - possivelmente - o primeiro a notar o problema mencionado. Aparentemente, não há uma harmonia entre as suposições de Sadi e aquelas de Joule. Uma parecia acometer a outra, visto que, durante a atividade de uma máquina térmica, ou o calor transferir-se-ia integralmente da "fonte quente" para a "fonte fria" ou transformar-se-ia integralmente em trabalho.

A dificuldade era ainda mais profunda, visto que Sadi e Joule optaram por interpretações distintas acerca da natureza do calor - embora tal afirmativa seja posta em dúvida pelos manuscritos póstumos de Sadi (NASCIMENTO et al., 2004). De acordo com Nascimento et al. (2004, p.514), em tais escritos, Sadi afirma que o "*calor não é outra coisa que a potência motriz, ou o movimento que muda de forma*".

Foi R. Clausius (1822-1888) quem resolveu o problema soerguido por Thomson. Clausius conciliou satisfatoriamente aquilo que disse Sadi e aquilo que afirmara Joule. De

acordo com Dias (2001), após analisar as argumentações de ambos, Clausius concluiu que durante o funcionamento de uma máquina térmica, parte do calor oriundo da “fonte quente” é convertida em trabalho mecânico; e o restante do calor segue para a “fonte fria”.

Clausius analisou tanto aquilo que disse Sadi acerca do processo quanto o que havia dito Joule. Daquilo que disse Sadi, Clausius sobressaltou o seguinte: trabalho é constatado durante um processo - ou ciclo - no qual certa quantidade de calórico passa de uma “fonte quente” para uma “fonte fria”; ao longo da atividade, a quantidade de calórico transferida correlaciona-se com a quantidade de trabalho empreendida pela máquina; além disso, não há perda alguma de calórico durante todo o processo. Clausius conciliou tais hipóteses com aquela de Joule, segundo a qual, calor transforma-se em trabalho (DIAS, 2001).

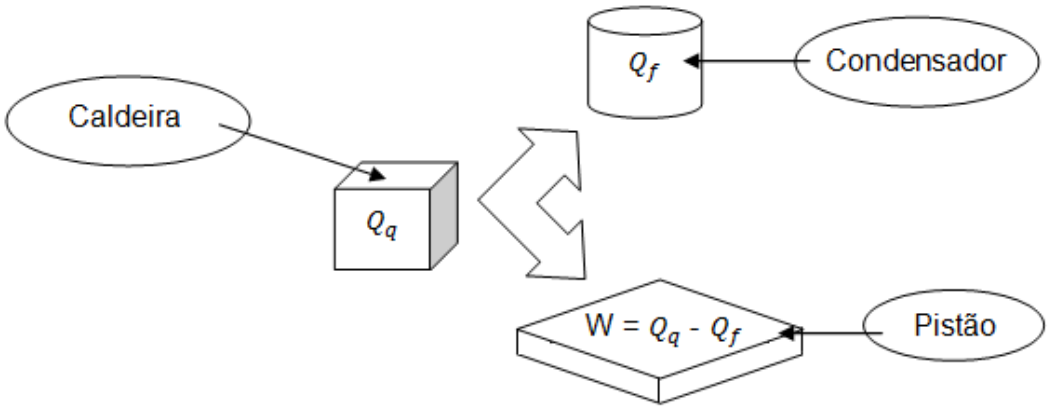


Figura V.12 - Modelo que explica, grosso modo, o funcionamento de uma máquina térmica.

O rendimento de uma máquina é calculado da seguinte forma:

$$R = \frac{\text{Energia útil}}{\text{Energia total}} = \frac{\text{Trabalho realizado pela máquina}}{\text{Energia térmica total advinda da fonde quente}} = \frac{W}{Q_q}$$

Sadi idealizara um ciclo o qual proporcionaria um rendimento máximo a uma máquina térmica. Tal rendimento depende somente das temperaturas das fontes ditas “quente” e “fria”: $R = 1 - \frac{T_f}{T_q}$.

Caso um ciclo fosse totalmente reversível, tornar-se-ia possível retomar o primeiro passo do mesmo e, assim, obter-se-ia um movimento perpétuo. A suposta identidade entre causa e efeito - apregoada por Mayer, por exemplo - reclama uma equivalência quantitativa; e isso no que concerne à quaisquer que sejam os pares de fenômenos envolvidos em um processo dito de conversão. Tal equivalência conduz à ideia de uma possível recorrência cíclica - à hipótese de um movimento perpétuo.

Ao longo da história do pensamento científico, muito se discutiu sobre a possibilidade - ou impossibilidade - de um movimento desse tipo. Apesar de controversa, aparentemente, a impossibilidade do movimento referido tornou-se uma hipótese mais plausível. Tendo em vista o atingimento de tal movimento, diversos dispositivos falharam; tantas máquinas foram construídas em vão, sem êxito algum. Após muitas controvérsias, em 1775, a *Académie Royale des Sciences* (Academia Real de Ciências) francesa anunciou que tal problemática havia sido resolvida - com desfecho favorável à impossibilidade (ELKANA, 1975); assim, foi decretada a impossibilidade de um movimento perpétuo.

Imaginemos o seguinte: uma máquina opera de modo que calor seja convertido em trabalho e uma segunda máquina opera de modo que trabalho seja transformado em calor. Se acoplarmos tais máquinas, podemos utilizar o trabalho decorrente da atividade da primeira para que a segunda seja posta em atividade.

Caso não supuséssemos a conversão de tão somente parte do calor oriundo da "fonte quente" em trabalho - ou seja, caso supuséssemos uma conversão total do calor advindo da "fonte quente" em trabalho - "abriríamos uma larga porta" para a ideia de movimento perpétuo.

Ainda no que tange às duas máquinas térmicas imaginadas, se tais máquinas operam acopladas, acerca do funcionamento da máquina 1, podemos estabelecer o seguinte:

- Quantidade de calor fornecida pela "fonte quente" → Q_q
- Quantidade de calor recebida pela "fonte fria" → Q_f
- Quantidade de calor convertida em trabalho mecânico → Q_q - Q_f

Tal trabalho mecânico é - supostamente - utilizado para que a máquina 2 seja posta em atividade. Assim, na máquina 2, por sua vez, o trabalho referido inicia um outro processo, acerca do qual podemos afirmar o seguinte:

- Trabalho que será convertido em calor → Q_q - Q_f
- Quantidade de calor oriunda da "fonte fria" → $Q_f{'}$
- Quantidade de calor recebida pela "fonte quente" → (Q_q - Q_f) + $Q_f{'}$ = $Q_q{'}$ ∴ $Q_q{'}$ = Q_q + $Q_f{'}$ - Q_f

Visto que fora rechaçada a possibilidade de um movimento perpétuo: $Q_f{'}$ - Q_f > 0. E isso, pois $Q_q{'} < Q_q$.

Caso $Q_f{'}$ - Q_f ≤ 0, então: $Q_q{'} \geq Q_q$; logo, teríamos um movimento perpétuo. Uma total conversão de calor em trabalho requereria um sistema no qual não houvesse rejeição alguma, ou seja, fluxo algum de calor para a "fonte fria".

Conclusões análogas conduziram Clausius (*apud* DIAS, 231) a afirmar que "*o fluxo natural do calor é dos corpos quentes para os frios*". A atividade da máquina 2 não é natural.

Acerca da irreversibilidade dos processos anteriormente descritos, disse Thomson (2007, p.492) que qualquer tentativa de restituição ou reversibilidade plena "*é impossível*".

A hipótese, segundo a qual, em todo processo dito de transformação de um tipo de energia em outro, ao menos parte dessa energia é dissipada sob a forma de calor - se degrada -, fora tomada como plausível; e isso, pois acomoda tão bem as ideias de conservação e conversão quanto a de impossibilidade de um movimento perpétuo. O calor, segundo Angotti (1991, p.115), é uma forma de energia "*menos elástica ou reversível do que as outras*"; e esse é o - suposto - motivo da degradação da energia. Dizem Menezes et al. (2010, p.11) que a energia total do sistema perde capacidade ou "*qualidade*" num processo como aquele mencionado no início desse parágrafo - de "*diminuição da energia 'útil'*" de um sistema (PIETROCOLA et al., 2010, p.97).

VI Sobre o ensino de trabalho, calor e energia interna

O que é trabalho? E calor?

De acordo com Pietrocola et al. (2010), nas máquina térmicas calor é "*transformado*" (p.277) ou "*convertido em trabalho*" (p.279). Declarações desse tipo perpetuam a seguinte ideia: a natureza do trabalho é idêntica àquela do calor; por conseguinte, o trabalho é um tipo de energia. O conceito de calor é - fundamental para a termodinâmica - um dos "*mais difíceis de aprender, como também de ensinar*" (SILVA et al., 2008).

Segundo Menezes et al. (2010, p.67), o calor "*é a energia que se transfere por diferença de temperatura, enquanto trabalho é a energia que se transfere por ações mecânicas*" - e os "*agentes dessas ações podem ser de natureza gravitacional, magnética ou elétrica, por exemplo*". Curiosamente, poucas linhas após, Menezes et al. afirmam que "*calor e trabalho não são 'formas de energia', e, sim, 'formas de trocar energia'*". Menezes et al. (2010) ainda dizem que talvez fosse mais conveniente nos referirmos às distintas designações ou aos variados títulos da energia - decorrentes da natureza dos fenômenos com os quais relacionamos a referida grandeza (MENEZES et al., 2010). Também para Baracca (2001), o calor é um tipo de energia, assim como o trabalho.

Obviamente, os discursos supracitados são ambíguos; há diversas ambiguidades atreladas aos conceitos analisados, entretanto, o caráter pragmático das teorias científicas supera - ou ao menos tenta abafar - tal problemática filosófica.

Segundo Zemanski (1970, p.297), trabalho e calor "*são métodos de transferência de energia*". Diz Dorn-Baer (*apud* AXT; BRÜCKMANN, 1989, p.136) o seguinte: "*encare os conceitos de trabalho e calor como formas de transferência de energia*". Silva et al. (2008) também discutem o mesmo. Segundo Doménech et al. (2003, p.297), tanto o calor quanto o trabalho são formas de intercâmbio de energia "*entre diferentes sistemas ou entre (...) partes de um mesmo sistema*".

Costuma-se afirmar que calor "*é a energia na forma térmica que se transfere de um corpo para outro, ou, em outras palavras, a energia térmica em trânsito*" (PIETROCOLA et al., 2010, p.167). Segundo Rutherford et al. (1978), durante o século XIX, a ideia de calor como um tipo de energia foi amplamente aceita; Maxwell (1872), por exemplo, afirma que a energia pode assumir a forma de calor.

Mas, tal caracterização tem sido bastante criticada (COTIGNOLA et al., 2002; DOMÉNECH et al, 2007). Precisamos melhorar - ou atualizar - tal afirmativa? Afinal, o calor é ou não é um tipo de energia? Ao falarmos de calor, estamos nos referindo à qual das três concepções seguintes (TEIXEIRA, 1992, p.71)?

1. A "*um processo de transferência de energia*";

2. À "*forma através da qual a energia se manifesta em tal processo*" de transferência?

3. À "*quantidade de energia transferida nesse processo*" de transferência?

Não se trata de uma questão trivial; e isso, pois historicamente modificamos nossa concepção acerca do calor. O ensino do conceito costuma mesclar as três opções: aspectos oriundos da teoria do calórico; alguns relacionados com a teoria dinâmica do calor; e aspectos concernentes ao conceito de energia.

Embora não seja correto afirmarmos que certo corpo "m_1" possui em si uma quantidade de calor "Q", discutem Sears et al. (1984), dizemos que certa quantidade de calor "Q" foi transferida de um corpo "m_1" para outro "m_2". Mas, como algo que um corpo não tem em si foi transferido para outro? Um corpo não possui calor. Ainda de acordo com Sears et al. (1984), seria mais adequada a utilização do termo calor tão somente para referirmo-nos a um processo. O processo que chamamos de calor relaciona-se com a energia térmica transferida entre corpos ou sistemas à temperaturas distintas, diz Tipler (1978). Através do processo referido transfere-se energia; e a quantidade total de energia transferida dessa maneira pode ser mensurada.

Voltemo-nos para a grandeza trabalho. Segundo Doménech et al. (2003, p.297), podemos chamar de trabalho o ato através do qual e mediante a aplicação de forças, transformamos a matéria - ou seja, tal termo se aplica ao "*ato de transformar a matéria*" através de forças. Trata-se de uma definição qualitativa e que reflete muito da ideia de trabalho cotidiana, comum a todos os cidadãos. Para que eu realize determinado trabalho - em suma, "*um ato de transformação mediante forças*" (DOMÉNECH et al., 2003, p.297) -, preciso de energia.

Assim, existe uma relação de equivalência entre trabalho e energia. Não podemos considerar o trabalho como um tipo de energia. Filosoficamente, podemos pensar num processo de conversão e numa relação intrínseca entre tais grandezas. O trabalho, como dito anteriomente, relaciona-se com os conceitos de força e deslocamento.

Para Sears & Zemansky (1962, p.149), o termo trabalho "*se aplica a qualquer forma de atividade que exige o emprêgo de esfôrço muscular ou mental*". Contudo, em se tratando de um conceito científico, algumas especificidades nada intuitivas atrelam-se à referida grandeza. De acordo com Doménech et al. (2003), ao falarmos de trabalho, também estamos nos referindo exclusivamente a um processo de transferência de energia; logo, dizem Doménech et al. (2003), não devemos dizer que o trabalho converte-se em calor. Só podemos falar em conversão de energia. Teoricamente, o que ocorre é uma conversão de energia mecânica em energia térmica.

Ao falarmos em conversão ou transformação, estamos tentando interpretar o fenômeno. Dessa maneira, ultrapassa-se o "*plano puramente descritivo da natureza*"

(BARRA, 2003, p.305). Segundo Coelho (2009), sendo o fenômeno uma conversão ou não, a relação estabelecida entre as grandezas envolvidas no processo - energia térmica ou calor e energia mecânica ou trabalho - permanece: α unidades de energia mecânica correspondem a β unidades de energia térmica.

Consideremos um armário que se move mediante a ação de um agente externo. Tal agente - você, por exemplo - aplica sobre o corpo - um armário - uma força $\vec{F}$ - ou seja, de intensidade F, módulo, direção e sentido bem definidos. "*Quando você empurra um armário, o trabalho realizado*" por você sobre o armário "*é proporcional à força que você exerce*" sobre o mesmo "*e ao deslocamento do armário produzido pela força*" mencionada (MENEZES et al., 2010, p.51).

Para que simplifiquemos a questão, deixemos o agente - você - que aplica a força sobre o armário um tanto de lado. Referir-nos-emos, a partir de agora, ao trabalho realizado pela força; tal força - obviamente - origina-se de alguma forma, isto é, precisa de um agente. Mantenhamos isso em mente, contudo, concentremo-nos nas grandezas físicas.

Podemos calcular o trabalho (W) exercido por uma força sobre um objeto qualquer através da equação "W = (F cos θ) x d". O trabalho realizado pela força sobre o corpo é proporcional ao módulo da força exercida sobre o mesmo "*e ao deslocamento do armário produzido pela força*" (MENEZES et al., 2010, p.51).

O símbolo "d" da equação remete-se ao deslocamento executado pelo corpo mediante a atuação da força $\vec{F}$. Quando a força agir no mesmo sentido do movimento, o trabalho empreendido pela mesma será positivo e chamado de motor. Quando a força agir num sentido oposto aquele do movimento, o trabalho efetivado pela mesma será negativo e chamado de resistente.

É importante frisar que não basta a atuação de uma força $\vec{F}$ sobre o corpo. Tal força precisa empreender no corpo um deslocamento considerável, isto é, diferente de zero. Mesmo que seguremos um corpo "m" a uma altura "h" do solo, por exemplo, isso não implica que trabalho esteja sendo realizado. Se o corpo permanece imóvel, o trabalho realizado é nulo: W = (F cos θ) . 0 = 0

O trabalho de uma força $\vec{F}$ - que atua sobre um corpo qualquer - também será nulo se o deslocamento do corpo for perpendicular à direção da referida força - aplicada sobre o mesmo: W = (F cos 90°) . d = (F . 0) . d = 0

VII Sobre o funcionamento das máquinas térmicas e acerca das leis da termodinâmica

Segundo Menezes et al. (2010, p.142), "*o calor*" - ou a energia térmica - "*não flui espontaneamente de um corpo mais frio para um mais quente*" - como havia dito Clausius. Quente e frio são sensações táteis, especificamente, térmicas. Ao falarmos de quente e frio, nos referimos a noções muito vagas - relativas. Um dia quente - ou frio - para "Fulano" pode não sê-lo para "Beltrano" ou "Sicrano". É preferível que sejamos mais específicos. A energia térmica ou, para alguns, o calor - de acordo com o modelo ainda hoje aceitável - jamais "*flui*" (HEWITT, 1987, p.302) espontaneamente de um corpo ou sistema à temperatura θ_1 para outro à temperatura θ_2 se $\theta_1 < \theta_2$.

Consideremos um sistema qualquer S_1. Suponhamos que o sistema seja um recipiente que contém certa quantidade de gás. Segundo a teoria cinética dos gases, as moléculas que compõem o referido gás encontram-se em estado de agitação permanente - movimentam-se constantemente e aleatoriamente. De acordo com Sears & Zemansky (1962, p.332), "*do ponto de vista atômico*", "*a energia interna de um corpo*" ou sistema "*é a soma das energias cinética e potencial*" das moléculas que compõem tal corpo ou sistema.

Alonso & Finn (1972, p.245) afirmam algo semelhante. Segundo os mesmos, "*a energia interna de um sistema*" é "*a soma de suas energias internas cinética e potencial*". Não estamos nos referindo à energia externa ou macroscópica - ou seja, cinética e/ou potencial ditas macroscópicas - devida à massa, à velocidade e à posição relativa - estabelecida de acordo com um sistema específico de referência - do corpo ou sistema; nos referimos à energia interna ou microscópica - cinética e potencial de suas moléculas componentes.

De acordo com Doménech et al. (2003, pp.297-298), ao falarmos de energia térmica, "*estamos nos referindo a um tipo de energia interna*". O calor, ainda segundo Doménech et al. (2003, pp.297-298), é

> "*uma magnitude que engloba o conjunto do grande número de (micro)trabalhos realizados a nível submicroscópico, como consequência das (micro)forças exteriores que atuam sobre as partículas do sistema. E a energia desse conjunto de partículas podemos englobar no conceito de 'energia interna térmica'*".

Segundo Máximo & Alvarenga (1986, pp.412-413), "*considera-se que, quando a temperatura de um corpo é aumentada, a energia que ele possui em seu interior, denominada energia interna, também aumenta. Se esse corpo é colocado em contato com outro, de temperatura mais baixa, haverá transferência de energia do primeiro para o segundo, energia esta que é denominada calor*". Assim, "*calor é a energia transferida de um corpo para outro em virtude, unicamente, de uma diferença de temperatura entre eles*".

> "*A transferência de calor para um corpo (...) acarreta um aumento da energia interna do corpo que, em geral provoca uma elevação em sua temperatura*". "*Não se pode (...) dizer que 'um corpo possui calor' (...), o que um corpo possui é energia interna e quanto maior for a sua temperatura, maior será esta energia interna*" (MÁXIMO; ALVARENGA, 1986, pp.412-413).

I) Se $\theta_1 > \theta_2$, então:

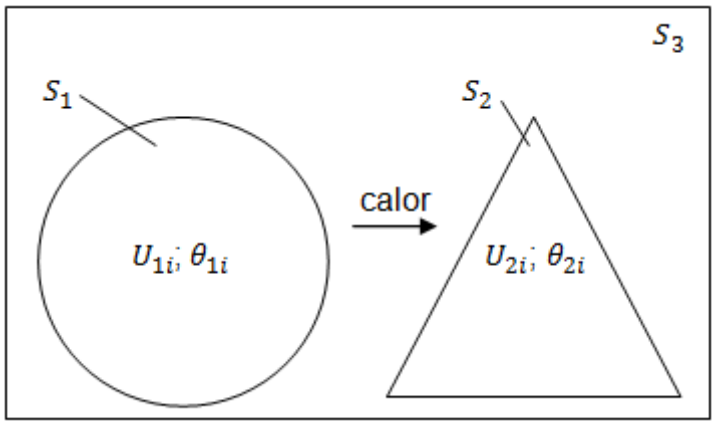


Figura VII.1 - Transferência de calor 1.

II) Se $\theta_{1f} = \theta_{2f}$:

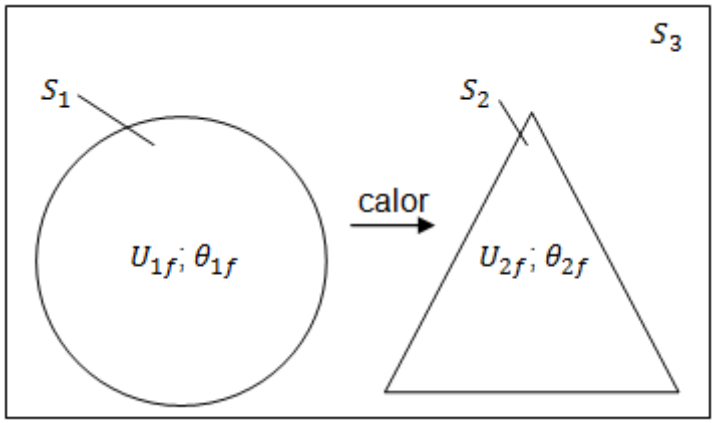


Figura VII.2 - Transferência de calor 2.

Se dois sistemas interagem entre si, a quantidade de energia total de um deles pode decrescer enquanto a quantidade de energia total do outro aumenta - ou vice-versa. O módulo da variação da quantidade de energia do primeiro sistema é idêntico ao módulo da variação da quantidade de energia do segundo (DUIT, 2012).

Chama-se de 1ª lei da termodinâmica a consideração para os sistemas termodinâmicos do princípio de conservação da energia. A equação matemática representativa da referida lei é "$\Delta U = Q - W$", onde:

- Energia interna → U
- Para um gás ideal monoatômico → $U = \frac{3}{2} nRT$

- Número de mols do gás → n
- Constante universal dos gases ideais → R ≈ 8,31 $\frac{J}{mol.K}$
- Temperatura do gás em Kelvin → T
- Variação da energia interna → $\Delta U = U_f - U_i = \Delta U = \frac{3}{2} nR\,\Delta T = \frac{3}{2} nR\,(T_f - T_i)$.
- Quantidade de calor - ou energia térmica - cedido ou recebido pelo corpo ou sistema → Q
- Quantidade de calor latente → $Q_L = m \cdot L$
- Quantidade de calor latente → $Q_s = m \cdot c \cdot \Delta\theta = m \cdot c \cdot (\theta_f - \theta_i)$
- Massa → m
- Calor latente → L
- Calor específico → c
- Temperatura em celsius → θ
- Trabalho realizado pelo ou sobre o corpo ou sistema → W

A 2ª lei da termodinâmica pode ser enunciada de diversas maneiras:

1. Não há máquina térmica real na qual toda a energia térmica em trânsito seja integralmente convertida em energia mecânica.

2. A energia térmica não transita espontaneamente rumo à dita “fonte quente”, ou seja, à temperatura mais elevada.

3. Em qualquer sistema físico, a tendência natural é o aumento da desordem ou entropia; o restabelecimento da ordem só é possível mediante o dispêndio de energia (MENEZES et al., 2010).

É importante salientar que, numa situação ideal, “*toda a energia mecânica pode ser convertida em energia térmica*”; porém, o “*contrário, ou seja, a conversão de energia térmica em energia mecânica, em processos de trocas de calor, só ocorre parcialmente*” (MENEZES et al., 2010, p.67).

Supomos que no decorrer dos ciclos empreendidos por uma máquina térmica, por exemplo, ocorre um processo de transferência, conversão e conservação de energia. Ainda acerca do referido processo, consideramos a impossibilidade de um movimento perpétuo. Até então não fomos capazes de construir máquinas de movimento perpétuo, algo que compromete a definição de energia enquanto uma capacidade ou habilidade de realizar trabalho.

À energia associamos certa característica: trata-se de algo cuja quantidade se conserva; a energia é uma quantidade conservada em todo e qualquer processo. Se a capacidade de realizar trabalho de um sistema qualquer fosse conservada, poderíamos considerar como algo inútil a criação de usinas nucleares. Para que um elevador operasse precisaríamos erguê-lo uma só vez. Ao descer, a capacidade de realizar trabalho iria

converter-se num outro tipo de energia; e poderíamos armazená-la de alguma maneira - numa bateria, por exemplo. Se inalterada - se conservada - tal habilidade de realizar trabalho poderia ser utilizada para elevar novamente o elevador - e assim sucessivamente, num processo *ad eternum*. Não haveria mais o amplamente discutido problema da diminuição das fontes energéticas (LEHRMAN, 1973).

Grosso modo, tanto a energia quanto a entropia relacionam-se com a possibilidade de ocorrência de um fenômeno. A quantidade de energia útil inevitavelmente declina ao longo das transformações de energia efetivadas, acredita-se. E isso se relaciona com aquilo que chamamos de entropia.

Qualquer fenômeno real dito de transformação de um tipo de energia em outro ocasiona um processo chamado calor (DUIT, 2012). O termo entropia foi cunhado por Clausius, em 1865. Ao falarmos de entropia nos referimos à grandeza que mensura o grau de irreversibilidade ou desordem de um sistema. E isso implica que, no que tange a um sistema isolado, embora toda a energia de movimento ou mecânica - do mesmo - possa ser convertida em energia térmica, o processo recíproco não é possível (MÁXIMO; ALVARENGA, 2000).

Não vemos utilidade na explicitação do termo entropia no ensino de ciências escolar. A ideia de degradação é suficiente. Viglietta (1990) ainda recomenda o ensino daquilo que chama de exergia e que define da seguinte forma: trata-se do trabalho máximo possivelmente provido por um sistema qualquer. Também não achamos necessário.

Em suma, a "*formulação do princípio da conservação da energia não foi obra de uma única pessoa nem fruto de trabalhos em uma área determinada da Ciência. Foi uma conquista do intelecto humano*" (PIETROCOLA et al., 2010, p.30). A filosofia é muito útil às ciências. Uma das funções da filosofia é "*servir de base às teorizações*". No que tange à história da energia, aqueles que participaram do processo de elaboração do referido construto "*recorreram a um conhecimento prévio à experiência*" (COELHO, 2012, p.5); tais indivíduos "*recorreram a ferramentas filosóficas para interpretar os fenômenos*" (COELHO, 2012, p.18) e mesmo a argumentos teológicos.

Diz Barra (2003, p.300) que mesmo as explicações mecanicistas, em última instância, tornam *"indispensável uma espécie regular de intervenção divina sobre o mundo material*", por exemplo. Tais concepções metafísicas alicerçam o processo criativo-explicativo científico. Em Descartes - e poderíamos citar qualquer outro indivíduo, com suas respectivas especificidades, mencionado na presente dissertação -, a admissão de um "*princípio dinâmico-metafísico permitirá explicar não apenas a duração ou a persistência do movimento, mas também as mudanças do movimento devido às frequentes colisões entre os corpos*" (BARRA, 2003, p.305).

Segundo Descartes (*apud* BARRA, 2003, p.306), as leis naturais - regras regulares subjacentes aos fenômenos naturais - têm como fundamento exclusivo - ou seja, argumento que justifica o possível atingimento das mesmas - a imutabilidade da vontade divina, isto é, de Deus, que "*não está absolutamente sujeito a mudanças*". De acordo com Barra (2003, p.305), as "*diversas noções de força*" - dentre as quais existe aquela que deu origem ao conceito científico de energia - requerem ideias certamente metafísicas, tais como a de "*vontade divina imutável*", perfeição do Criador, Deus imanente, criação de Deus...

Segundo Thomson (2007, p.491) - outro indivíduo, a título de ilustração -, "*(...) só o Poder Criador pode ou trazer à existência ou aniquilar energia (...)*". Assim, durante a atividade de uma máquina térmica, por exemplo, deve haver algum tipo de transformação ou interconversão entre tipos de energia.

Sem esse conhecimento prévio, sem as inclinações filosóficas ou teológicas referidas, não poder-se-ia interpretar os fenômenos observados e nem organizar tais interpretações. Através das leis da termodinâmica, discutidas anteriormente, fora estabelecida uma conexão entre domínios físicos antes apartados; e isso através da conjectura, segundo a qual, as grandezas calor e trabalho mecânico são relacionáveis. A primeira lei da termodinâmica é o próprio princípio de conservação da energia e a segunda refere-se ao aumento da entropia - ou seja, à degradação da energia de um sistema qualquer isolado (CUSTÓDIO; PIETROCOLA, 2004).

VIII Sobre o módulo de apoio para o ensino da grandeza energia

De física, o que precisam conhecer os alunos? Os manuais didáticos e boa parte dos professores de física têm demonstrado que a resposta para essa pergunta é bastante evidente: os alunos precisam dominar o formalismo matemático. Para que estruturem suas aulas, tais individuos costumam ser reféns dos manuais didáticos. É importante, entretanto, que os professores se libertem um pouco desses manuais (DELIZOICOV et al., 2011).

O módulo produzido a partir dos estudos empreendidos ao longo da presente dissertação - o qual, grosso modo, representa uma síntese de tais estudos - emerge como uma alternativa concreta: ao livro didático; mais reflexiva; minimizadora dos excessos do formulismo; dirigida a todo e qualquer professor - que queira estruturar sequências didáticas destinadas ao ensino da grandeza energia - interessado pela HFC.

Tal módulo parte do seguinte questionamento: Afinal, o que é energia? Não temos por objetivo responder a questão soerguida, e sim incentivar reflexões acerca da ciência e suas construções. No que tange à natureza do construto energia, não há um consenso. Diante de tal questão, professores e alunos são postos em relativo pé de igualdade - e isso, pois ambos não sabem o que é - ontologicamente - energia. A partir daqui, pode ter início, em sala de aula, um processo: dialógico entre semelhantes; de busca por respostas para a referida questão. Nesse processo, volta-se para o contexto no qual emergira o construto analisado. Assim como Cohen (*apud* ELKANA, 1975), acreditamos no seguinte: para que os alunos entendam adequadamente o conceito de energia e o princípio de conservação da mesma, uma análise histórico-filosófica relativamente profunda torna-se imprescindível. No módulo - o qual será apresentado no final dessa dissertação, em anexo - elaborado, defendemos um ensino de e sobre a física; em especial, voltamo-nos para o Romantismo - especificamente, para a *Naturphilosophie* romântica - e, através de tal estudo - histórico-filosófico -, buscamos incentivar o ideal de uma educação interdisciplinar e que abarca questões transversais.

Considerações finais

No início dessa dissertação, soerguemos a seguinte questão: De que maneira pode ser relevante e útil ao ensino de física contemporâneo o conhecimento de certas concepções filosóficas - particularmente, da metafísica concernente à *Naturphilosophie* ou ciência romântica - subjacentes ao processo de construção do princípio de conservação da energia e de estabelecimento do termo energia no âmbito científico?

Após extensa pesquisa bibliográfica e análise da mesma, podemos afirmar que todos os elementos metafísicos necessários à elaboração da estrutura metafísico-qualitativa subjacente ao princípio de conservação da energia encontravam-se presentes no pensamento romântico, em especial, no pensamento de Schelling, refletidos em sua *Naturphilosophie* ou ciência romântica:

- As ideias de unidade e todo orgânico, ou seja, a concepção, segundo a qual, algo único - essencial - subjaz a absolutamente tudo - e, por conseguinte, a todos os fenômenos naturais;
- as ideias de identidade intrínseca e causa imanente, caras ao conceito de energia - das quais partem as hipóteses de conservação da energia e conversão entre tipos de energia;
- a analogia entre a força e o referido princípio.

Aparentemente, certas ideias românticas proveram um plano de fundo adequado para que tanto o construto energia quanto o princípio de conservação da mesma emergissem. Encontramos na literatura investigada boas razões para que nisso acreditemos. No que concerne ao princípio de conservação da energia, tais noções filosóficas foram muitíssimo relevantes; sem as mesmas não poder-se-ia: estabelecer uma relação quantitativa de cunho prático entre grandezas associadas a fenômenos distintos, tais como trabalho e calor; avançar para o cálculo do equivalente mecânico do calor.

O conhecimento das ideias supracitadas, assim como da própria *Naturphilosophie*, revela muitíssimo acerca da NdC, em particular, no tocante à presente dissertação, sobre o processo de construção do conceito de energia e do princípio de conservação da grandeza em questão. No que tange ao ensino de física - especificamente, do construto energia -, podemos afirmar que:

- tal conhecimento mostra a ciência enquanto uma atividade humana - que reflete dilemas, desconfortos, especulações, crenças, inclinações... humanas. O conhecimento referido evidencia aos alunos uma ciência a qual envolve diálogos e conflitos entre visões distintas - às vezes absolutamente discrepantes. É interessante notar que os românticos defendiam uma visão de ciência peculiar - destoante daquela dita mecanicista; tal visão, apontada por Goethe e nutrida pelos *Naturphilosophen*, inclusive fomenta o avanço de

outros domínios - não mais mecânicos, como a termodinâmica (ou ciência do calor, algo dinâmico, um tipo de força e, mais adiante, de energia que flui entre corpos a temperaturas distintas) e do eletromagnetismo, por exemplo - no interior da ciência novecentista. Durante o período sobressaltado, ocorreu uma expansão do domínio físico - mais precisamente, científico-natural como um todo. Acerca de tal expansão, não podemos dizer, no entanto, que houve uma ruptura ou cisão entre o domínio mecânico e os demais; e isso, visto que fora elaborado certo elemento de coesão, uma grandeza chamada energia, capaz de manter tais âmbitos interrelacionados.

- o conhecimento de tais idéias, atreladas à história do construto energia, acomete a crença num “Método Científico Universal”; não há um método universal através do qual são erigidos todos os produtos científicos, contudo, assim como hoje, à época por nós estudada - grosso modo, final do século XVIII e início do século XIX -, havia critérios evidentes e distintivos, estabelecidos como normas voltadas para o atingimento de todo e qualquer saber dito científico. Dentre tais normas, podemos citar: a divisão estabelecida e bem hierarquizada entre o sujeito-homem cognoscente e o objeto-natureza inanimada cognoscível; a importância tanto da experimentação quanto da matemática - das leis traduzidas em equações; a opção por um viés analítico-cartesiano o qual admite uma identidade entre o todo e a soma de suas partes e, por conseguinte, um possível conhecimento do todo por meio do conhecimento de suas partes; a ojeriza surreal pela metafísica.

- O conhecimento das idéias supracitadas evidencia o caráter dialético da ciência. Os românticos opuseram-se aos ditames da ciência dos mecanicistas. Os cientistas românticos tenderam para uma epistemologia distinta: elevaram o sentimento em detrimento da razão; adotaram abordagens absolutamente qualitativas; optaram por um viés sintético; acreditaram e defenderam uma harmonia - um equilíbrio, uma integração - entre o homem e a natureza - essa, para os *Naturphilosophen*, dinâmica, viva, a manifestação do divino; utilizaram em diversos momentos uma linguagem cifrada - poética - em detrimento do expressar-se através das fórmulas matemáticas; almejaram o conhecimento do todo natural-orgânico, das essências, do arquetípico; explicitaram, sem parcimônia, elementos metafísicos em suas obras. A ciência romântica, assim como o estudo da mesma, legitima a metafísica enquanto elemento necessário ao fazer científico - quiçá o principal de um programa de pesquisa. A metafísica é natural ao homem e, por conseguinte, ao processo de construção do saberes científicos. Sem certa dose de metafísica, a ciência perde seu alicerce. A assunção de tal postura, o ato de almejar o inalcançável - o inatingível, o conhecimento do incognoscível -, reflete a busca por um alargamento das frágeis fronteiras - se é que essas existem - que divisam o saber científico dos demais; tais fronteiras são definidas pela própria

comunidade científica e variam ao longo do tempo. O Romantismo, à sua maneira, aponta para o interdisciplinar.

Schelling, iniciador da *Naturphilosophie* romântica: fora um estudioso das questões filosóficas e científicas de seu tempo; teve, portanto, acesso a - e valorizara os - dados experimentais relativos aos fenômenos então investigados - acessíveis aos cientistas da época; tentara promover uma "nova Revolução Científica"; valorizara uma relação diversa entre sujeito-cognoscente e objeto-cognoscível; foi, ao seu modo, um cientista - romântico; e os *Naturphilosophen* criam num princípio unificador do todo, numa força sutil, imaterial e subjacente aos fenômenos, à natureza. Apesar da visível diversificação presente na natureza - seja ela relacionada às espécies, às formas, aos fenômenos etc. - há, segundo os *Naturphilosophen*, uma íntima relação entre - algo subjacente que une - os elementos componentes do todo natural. Para Schelling, em essência, tais elementos são idênticos; por conseguinte, as diferenças - entre as coisas - seriam tão somente aparentes, ou seja, em última instância, tudo é equivalente - semelhante. Visto que voltamo-nos para a controvérsia entre as ditas ciência romântica e moderna, podemos questionar quem venceu tal disputa. O Romantismo fertilizou a ciência dita moderna, a qual foi mantida em riste, embora já não mais fosse a mesma dos primórdios da controvérsia. Quem venceu a controvérsia foi a ciência.

Através da ciência, o homem constrói "teias" teóricas absolutamente inteligentes. De modo perspicaz, os cientistas elaboram estratégias as quais servem como ferramentas úteis à resolução de uma série de problemas concernentes aos fenômenos naturais. A energia e o princípio de conservação da mesma são algumas dessas ferramentas - e, aqui, de fato, nutrimos certa visão bastante pragmática acerca dos construtos científicos, embora também os consideremos componentes históricos exclusivos. Por que ainda acreditamos na energia? Exatamente por aquilo que acabamos de escrever: pois é útil nela acreditarmos. Se não fosse, o construto já teria sido rechaçado pela comunidade científica há muito tempo - como o éter, o flogisto e tantos outros construtos; o que não impede que tais construções possam ser retomadas - mesmo que ressignificadas - com o passar do tempo.

Romper com a tradição não é tarefa fácil. Como discutido ao longo do presente trabalho, o ensino de física dito tradicional, quase exclusivamente operacional-formulesco, é repleto de problemas; trata-se de um ensino limitado e pouco atraente para a grande maioria dos educandos. Além disso, dificilmente chegar-se-á a uma concepção adequada - ampla, crítica e reflexiva - acerca da grandeza energia - ou quaisquer outros construtos científicos - através do tipo de ensino referido. Voltemo-nos, portanto, para uma nova ordem, um ensino diferenciado. No decorrer da presente dissertação, escudamos, a todo momento, enquanto um viés possivelmente mais promissor, a HFC. A farta literatura defensora de tal viés - digna de ampla concordância - justifica nossa opção reiterativa. A HFC, caminho intrinsecamente interdisciplinar, figura como uma perspectiva mais valorosa, visto que: a física é muito mais do

que um mero conjunto de equações; muitos alunos não simpatizam com a abordagem dita formulesca. O caminho histórico-filosófico representa um viés mais equilibrado, que - se adequadamente contemplado: ameniza os excessos do formulismo, ou seja, mescla harmonicamente aspectos quantitativos e qualitativos; viabiliza elementos contextuais através dos quais têm-se condições plenas de discutir a NdC com os estudantes; auxilia o processo de desenvolvimento do senso crítico dos educandos frente às questões sócio-científicas - uma vez que fomenta a reflexão sobre e humaniza as ciências; valoriza - de maneira sensata e honesta - a ciência enquanto certa cultura especial.

Referências Bibliográficas

AAAS - American Association for the Advancement of Science. *Science for all Americans*. New York: Oxford University Press, 1990.

ABBAGNANO, N. *Historia de la Filosofía, volumen 3*: La filosofía del Romanticismo, la filosofía entre los siglos XIX y XX. Trad. Juan Estelrich y J. Pérez Ballestar. Barcelona: Hora, S.A., 1982.

ABD-EL-KHALICK, F.; BELL, R.L.; LEDERMAN, N.G. *The Nature of Science and Instructional Practice*: Making the Unnatural Natural. John Wiley & Sons, Inc., 1998.

ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N.G. The influence of history of science courses on students' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, pp.1057-1095, 2000.

ACEVEDO, J.A. El estado actual de la naturaleza de la ciencia em la didáctica de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de lãs Ciencias*, 5(2), pp.134-169, 2008.

ACEVEDO, J.A.; VÁSQUEZ, Á.; MANASSERO, M.A.; ACEVEDO, P. Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: fundamentos de una investigación empírica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4(1), pp.42-66, 2007.

ACEVEDO, J.A.; VÁSQUEZ, Á.; MANASSERO, M.A.; ACEVEDO, P. Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: aspectos epistemológicos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4(2), pp.202-225, 2007.

ACEVEDO, J.A.; VÁSQUEZ, Á.; MARTIN, M.; OLIVA, J.M.; ACEVEDO, P.; PAIXÃO, M.F.; MANASSERO, M.A. Naturaleza de la ciencia y la educación científica para la participación ciudadana: una revisión crítica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y divulgación de las Ciencias*, 2(2), pp.121-140. Cádiz, 2005.

ADÚRIZ-BRAVO, A. ¿Qué naturaleza de la ciencia hemos de saber los profesores de ciencias? Una questión actual de la investigación didáctica. *Tecné, Episteme y Didaxis*, extra, pp.23-33, 2005.

AGASSI, J. Duhem versus Galileo. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 8, 31, p.237-248, 1957.

AGASSI, J. The Place of Metaphysics in the Historiography of Science. *Foundations of Physics*, 26, 4, pp.483-499, 1996.

ALLCHIN, D. Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. Science Education, 95, pp.918 - 942, 2011.

ALONSO, M.; FINN, E.J. *Física*: um curso universitário, volume II - Campos e ondas. São Paulo: Edgard Blücher, 1972.

ALVARENGA, B.; MÁXIMO, A. *Curso de Física*, volume 2. São Paulo: Harbra, 1986.

ALVES, R. *Filosofia da ciência*: introdução ao jogo e a suas regras. São Paulo: Edições Loyola, 2007.

AMORA, K.; O lugar da “Introdução a um projeto de um sistema da filosofia da natureza” na filosofia da natureza de Schelling. *Princípios*, 17(28), pp.237-256, 2010.

ANGOTTI, J.A.P. *Fragmentos e totalidades no conhecimento científico e no ensino de ciências*. Tese de doutoramento em educação. São Paulo: FEUSP, 1991.

ANGOTTI, J.A.P. Conceitos Unificadores e Ensino de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 15(1-4), 1993.

ANGOTTI, J.A.P. Depois de mais de cem anos sem revolução científica, Física é cultura? In: MARTINS, A.F.P. (Org.) *Física ainda é cultura?* São Paulo: Editora Livraria da Física, 2009.

AKERSON, V.L.; ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N.G. Influence of a Reflective Explicit Activity-Based Approach on Elementary Teachers’ Conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(4), pp.395-317, 2000.

ARAÚJO, M.C.P.; BOFF, E.T.O. Energia: um conceito unificador em sucessivas situações de estudo. *Cadernos do Aplicação*, 24(2), 2011.

ARAÚJO, M.C.P.; NONENMACHER, S. Energia: um conceito presente nos livros didáticos de Física, Biologia e Química do ensino médio. *Poiésis*, 2(3), 2009.

ARONS, A. Development of energy concepts in introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 67(12), pp.1063-1067, 1999.

AULER, D.; DELIZOICOV, D. Alfabetização científico-tecnológica para quê? *Ensaio, pesquisa em educação em ciências*, 3(1), pp.105-115, 2001.

AXT, R.; BRÜCKMANN, M.E. O conceito de calor nos livros de ciências. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 6(2), pp.128-142, 1989.

BAGDONAS, A.; SILVA, C.C. Controvérsias sobre a natureza da ciência na educação científica. In: SILVA, C.C.; PRESTES, M.E.B. (Orgs.) *Aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas*. São Paulo: Tipographia Editora Expressa, 2013.

BAPTISTA J.P. Os princípios fundamentais ao longo da História da Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28(4), pp.541-553, 2006.

BARACCA, Angelo. El desarrollo de los conceptos energéticos em la mecánica y la termodinámica desde mediados del siglo XVIII hasta mediados del siglo XIX. *LLULL*, 25(3), pp.285-325, 2002.

BARBOSA, J.P.V.; BORGES, A.T. O entendimento dos estudantes sobre energia no início do ensino médio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 23(2), pp.182-217, 2006.

BARBOZA, J. Polaridade, alma cósmica, graus de desenvolvimento da natureza: o nascimento da Naturphilosophie de Schelling. *Discurso*, 32, 2001.

BARRA, E.S.O. A metafísica cartesiana das causas do movimento: mecanicismo e ação divina. *Scientiae Studia*, 1(3), pp.299-322, 2003.

BATALHA, M.C. A poética da incerteza: a contracena do Século das Luzes. *Matraga*, 18(29), 2011.

BAUSOLA, A. F. W. Schelling. In: ROVIGHI, S.V. *História da filosofia moderna*: da revolução científica a Hegel. Trad. Marcos Bagno e Silvana Cobucci Leite. São Paulo: Edições Loyola, 2002.

BECKENKAMP, J. A penetração do panteísmo na filosofia alemã. *O que nos faz pensar*, 19, 2006.

BEISER, F.C. *The Fate of Reason*: German Philosophy from Kant to Fichte. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1987.

BELL, R.L.; LEDERMAN, N.G.; ABD-EL-KHALICK, F. Implicit versus explicit nature of science instruction: An explicit response to Palmquist and Finley. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(9), pp.1057-1061, 1998.

BEN-DOV, Y. *Convite à física*. Trad. Maria Luiza X. de A. Borges. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 1996.

BÉNAC, H. O romantismo francês. *Organon*, 9, 8/9, 1963.

BERETTA, L.S. O Gênio Romântico e a Imortalidade: Análise de " Ahasverus e o Gênio" e "Mocidade e Morte", de Castro Alves. *Revista Estação Literária*, 12, pp.107-122, 2014.

BERLIN, I. *The sense of reality*: studies in ideas and their history. New York: 1st Farrar, Straus ed., 1996.

BERLIN, I. *The Roots of Romanticism*. New Jersey: Princeton University Press, 2013 (livro eletrônico).

BERNAL, J.D. *Ciência na História*. Lisboa: Livros Horizontes, vol. I, 1975.

BESSON, U.; AMBROSIS, A. Teaching Energy Concepts by Working on Themes of Cultural and Environmental Value. *Science & Education*, 23(6), pp.1309-1338, 2013.

BLAKE, W. *The Marriage of heaven and hell*. Disponível em: <https://thesorcerersapprenticeonline.files.wordpress.com/2010/04/no-24-the-marriage-of-heaven-and-hell1.pdf>. Acesso em 06/05/2014.

BOAS, A.V.; SILVA, M.R.; PASSOS, M.M.; ARRUDA, S.M. História da ciência e natureza da ciência: debates e consensos. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 30(2), pp.287-322, 2013.

BOO, H. K. Student understandings of chemical bonds and the energetics of chemical reactions. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(5), pp.569-581, 1998.

BORNHEIM, G. Filosofia do Romantismo. In: GUINSBURG, J. (Org.) *O Romantismo*. São Paulo: Perspectiva, 2008.

BRAGA, M.; GUERRA, A.; FREITAS, J.; REIS, J.C. *Newton e o triunfo do mecanicismo*. São Paulo: Atual, 1999.

BRAGA, M.; GUERRA, A.; FREITAS, J.; REIS, J.C. *Lavoisier e a ciência no iluminismo*. São Paulo: Atual, 2000.

BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J.C. O papel dos livros didáticos franceses do século XIX na construção de uma concepção dogmático-instrumental do ensino de física. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 25(3), pp.507-522, 2008.

BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J.C. *Breve história da ciência moderna, volume 2*: das máquinas do mundo ao universo-máquina. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2010.

BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J.C. *Breve história da ciência moderna, volume 3*: Das Luzes ao sonho do doutor Frankenstein. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2011.

BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J.C. *Breve história da ciência moderna, volume 4*: A belle-époque da ciência. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2011.

BRAGA, M.; TOLEDO, C. Modelos e modelagem na sala de aula: refletindo sobre o processo de construção do conhecimento científico. In: IX CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS, 2013.

BRASIL. *Parâmetros Curriculares Nacionais*: Apresentação dos Temas Transversais, Ética. Brasília : MEC, SEF, 1997.

BRASIL. *Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio*. Brasília: MEC; CNE, 1998.

BRASIL. *Parâmetros curriculares nacionais*: ensino médio. Brasília: MEC; SEMTEC, 2002.

BRASIL. *Orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais*: ensino médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC; SEMTEC, 2002.

BREWE, E. Energy as a substancelike quantity that flows: Theoretical considerations and pedagogical consequences. *Physical Review Special Topics, Physics Education Research*, 7, 2011.

BRITO, A.A.S. “Flogisto”, “calórico” e “éter”. *Ciência & Tecnologia dos Materiais*, 20(3-4), 2008.

BRÜSEKE, F.J. Romantismo, Mística e Escatologia Política. *Lua Nova*, 62, 2004.

BRUSH, S.G. Should the History of Science be Rated X? *Science*, 18, pp.1164-1172, 1974.

BRYCE, T.; MACMILLAN, K. Momentum and kinetic energy: Confusuable concepts in secondary school physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(7), pp.739-761, 2009.

BUCUSSI, A.A. *Projetos curriculares interdisciplinares e a temática da energia*. Dissertação de mestrado em ensino de física. Porto Alegre: UFRGS, 2005.

BUNGE, M. Energy: Between Physics and Metaphysics. *Science & Education*, 9, pp.457-461, 2000.

BURSZTYN, M. A institucionalização da interdisciplinaridade e a universidade brasileira. *Liinc em Revista*, 1, pp.38-52, 2005.

CACHAPUZ, A.; GIL, D.; CARVALHO, A.M.P.; PRAIA, J.; Vilches, A. *A necessária renovação do ensino das ciências*. São Paulo: Cortez, 2005.

CANEVA, K. Physics and Naturphilosophie: A reconnaissance. *History of Science*, 35, pp.35-106, 1997.

CARNOT, N.L.S. *Reflections on the Motive Power of Heat*. New York: John Wiley & Sons. London: Chapman & Hall, Limited, 1897.

CARVALHO, A.M.P.; VANNUCCHI, A.I. History, Philosophy and Science Teaching: Some Answers to "How"? *Science & Education*, 9(5), pp.427-448, 2000.

CASSIRER, E. *A Filosofia do Iluminismo*. Trad. Álvaro Cabral. Campinas: Editora da UNICAMP, 1992.

COTIGNOLA, M.I.; BORDOGNA, C.; PUNTE, G.; CAPPANNINI, O.M. Difficulties in Learning Thermodynamics Concepts: Are They Linked to the Historical Development of This Field? *Science & Education*, 11, pp. 279–291, 2002.

CHASSOT, A. *Sete escritos sobre educação e ciências*. São Paulo: Cortez, 2008.

CHAUI. *Convite à filosofia*. São Paulo: Editora Ática, 2008.

CHEVALLARD, Y. *La transposición didáctica*: del saber sabio al saber enseñado. Buenos Aires: Aique Grupo Editor, 2005.

CITELLI, B.H.M. Cruzando Linguagens. In: NÍVIA, N.P. (Org.) *Ousadia no diálogo*: Interdisciplinaridade na escola pública. São Paulo: Edições Loyola, 1993.

CLARK, R.T. *Herder*: his life and thought. Berkeley: University of California Press, 1955.

CLOUGH, M.; OLSON, J.K. Teaching and assessing the nature of science: an introduction. *Science & Education*, 17(2-3), pp.143-145, 2008.

COELHO, H.S. A epistemologia e o método científico de Goethe. *Sacrilegens*, 6(1), pp.85-102, 2009.

COELHO, R.L. On the concept of energy: how understanging it's history can improve physics teaching. *Science & Education*, 18, pp.961-983, 2009.

COELHO, R.L. On the concept of energy: conservation and transformation versus equivalence. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 6(1), pp.7-19, 2012.

COELHO, R.L. Conexões filosóficas do conceito de energia. *Ensaios Filosóficos*, volume V, 2012.

COELHO, R.L. On the concept of energy: Ecleticism and Rationality. *Science & Education*, 23, pp.1361-1380, 2013.

COELLO, A.L. Filosofia ou filosofias de Schelling? Arte e sistema. In: PUENTE, F.R.; VIEIRA, L.A. (Orgs.) *As filosofias de Schelling*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

CONNOLLY, P.J. Newton and God's Sensorium. *Intellectual History Review*, 24(2), pp.185-201, 2014

CORDERO, A. Theorizing and the Weight of Received Metaphysics. In: SILVA, C.C.; PRESTES, M.E.B. (Orgs.) *Aprendendo ciência e sobre sua natureza*: abordagens históricas e filosóficas.São Paulo: Tipographia Editora Expressa, 2013.

CORTELLA, M.S. *Filosofia e Ensino Médio*: certos porquês, alguns senões, uma proposta. Petrópolis, RJ: Vozes, 2009.

COSTA, H.M.P. Pietismo: Um desafio à Piedade e à Teologia. *Fide Reformata*, 4/1, 1999.

COSTA, J.M.; PINHEIRO, N.A.M. O ensino por meio de temas-geradores: a educação pensada de forma contextualizada, problematizada e interdisciplinar. *Imagens da Educação*, 3(2), pp.37-44, 2013.

CROWTHER, D.T.; LEDERMAN, N.G.; LEDERMAN, J.S. Understanding the True Meaning of Nature of Science. *Science and Children*, 43(2), pp.50-52, 2005.

CUNNINGHAM, A.; JARDINE, N. *Romanticism and the sciences*. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 1990.

CUPANI, A.O. *Filosofia da ciência*. Florianópolis: FILOSOFIA/EAD/UFSC, 2009.

CUSTÓDIO, J.F.; PIETROCOLA, M. Princípios nas ciências empíricas e o seu tratamento em livros didáticos. *Ciência & Educação*, 10(3), pp.383-399, 2004.

D'ANGELO, P. *Estética do Romantismo*. Lisboa: Editorial Estampa, 1998.

DELIZOICOV, D. Problemas e Problematizações. In: PIETROCOLA, M. (org.) *Ensino de Física*: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2001.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J.A.; PERNAMBUCO, M.M. *Ensino de ciências*: fundamentos e métodos. São Paulo: Cortez, 2011.

DIAS, P.M.C.A. Sadi Carnot: pré-história e histórias. *Revista USP*, 1990.

DIAS, P.M.C.A. (Im)Pertinência da História ao Aprendizado da Física (um estudo de caso). *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 23(2), 2001.

DIAS, P.M.C.A. À procura do trabalho perdido. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29(4), pp.493-498.

DIJKSTERHUIS, E.J. *The Mechanization of the World Picture*. Princeton University Press, 1986.

DION, S.M.; LOURES, M.V.R. O debate realismo/antirrealismo em situações de ensino de física, à luz da interface entre história e filosofia da ciência. In: SILVA, C.C.; PRESTES, M.E.B. (Orgs.) *Aprendendo ciência e sobre sua natureza*: abordagens históricas e filosóficas.São Paulo: Tipographia Editora Expressa, 2013.

DOMÉNECH, J.L.; GIL, D.; MARTÍ, A.; GUISASOLA, J.; TORREGROSA, J.; SALINAS, J.; TRUMPER, G.; VALDES, P.; VILCHES, A. Teaching of energy issues: A debate proposal for a global reorientation. *Science and Education*, 16, pp.43-64, 2007.

DOMÉNECH, J.L.; TORREGROSA, J. ¿Disponen los estudiantes de secundaria de una comprensión adecuada de los conceptos de trabajo y calor y de su relación con la energía? *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 31(1), p.1308(1-10), 2010.

DREYFUS, B. *Preliminary Literature Review*: Energy and Entropy in the teaching of science, 2011. Disponível em <http://umdberg.pbworks.com/f/energy%20summary.pdf>. Acesso em 21/06/2014.

DUARTE, L.F.D. A pulsão romântica e as ciências humanas no ocidente. *Revista Brasileira de Ciências Sociais*, 19(55), 2004.

DUCHEYNE, S. Isaac Newton on Space and Time: Metaphysician or not? *Philosophica*, 67, pp.7-114, 2001.

DUIT, R. Students' notions about the energy concept - before and after physics instruction. In: JUNG, W.; DUIT, R.; RHÖNECK, C. (Eds.) *Proceedings of the international workshop on problems concerning students' representation of physics and chemistry knowledge*. Ludwigsburg: Pädagogische Hochschule Ludwigsburg, 1981.

DUIT, R. Understanding energy as a conserved quantity. *European Journal of Science Education*, 3(3), pp.291-301, 1981.

DUIT, R. Should energy be introduced as something quasi-material? *International Journal of Science Education*, 9(2), pp.139-145, 1987.

DUIT, R. Student's and Teacher's Conceptions and Science Education Bibliography. *Kiel*: IPN - Leibniz Institute for Science Education, 2009. Disponível em <http://archiv.ipn.uni-kiel.de/stcse/>. Acesso em 09/10/2014.

DUIT, R. *Teaching and Learning the Physics Energy Concept*. 2012. Disponível em <http://esummit-msu.net/content/teaching-and-learning-physics-energy-concept>. Acesso em 15/10/2014.

EINSTEIN, A.; INFELD, L. *A Evolução da Física*: O Desenvolvimento das Ideias Desde Os Primitivos Conceitos até à Relatividade e aos Quanta. Trad. Monteiro Lobato. Lisboa: Edição Livros do Brasil, s.d.

ELETROBRAS. Disponível em <http://www.eletrobras.com/>. Acesso em 02/08/2014.

ELKANA, Y. *The Discovery of the Conservation of Energy*. Massachusetts: Harvard University Press, 1975.

EZCURDIA, J. Imanência e Amor na Filosofia de Espinosa. Trad. Homero Santiago. *Cadernos Espinosanos*, 19, 2008.

FALBEL, N. Os Fundamentos Históricos do Romantismo. In: GUINSBURG, J. (Org.) *O Romantismo*. São Paulo: Perspectiva, 2008.

FALK, G.; HERRMANN, F.; SCHMID, G.B. Energy forms or energy carriers? *American Journal of Physics*, 51(12), pp.1074-1076, 1983.

FEDELI, O. Origens do Romantismo Alemão. *Associação Cultural Montfort*. Disponível em <http://www.montfort.org.br/old/index.php?secao=cadernos&subsecao=religiao&artigo=romantismo1&lang=bra>. Acesso em 28/02/2014.

FERNÁNDEZ, I.; GIL, D.; CARRASCOSA, J.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), pp.477-488, 2002.

FERREIRA, J.M.H. Abordando a natureza da ciência na formação de profesores de física: desafios e perspectivas. In: SILVA, C.C.; PRESTES, M.E.B. (Orgs.) *Aprendendo ciência e sobre sua natureza*: abordagens históricas e filosóficas.São Paulo: Tipographia Editora Expressa, 2013.

FETZ, M. *Entre razão e fruição*: formação e presença da Segunda Revolução Científica no Brasil (XVIII e XIX). Tese de doutoramento em sociologia. Campinas: UNICAMP, 2012.

FEYNMAN, P.R. *Six easy pieces*. California Institute of Technology, 1998.

FEYERABEND, P.K. *Contra o método*. Trad. Cezar Augusto Mortari. São Paulo: Editora UNESP, 2011.

FLORENZANO, M. *As revoluções burguesas*. São Paulo: Editora Brasiliense S.A., 1981.

FORATO, T.C.M. *A natureza da ciência como saber escolar*: um estudo de caso a partir da história da luz. Tese de doutoramento em educação. São Paulo: FEUSP, 2009.

FORATO, T.C.M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R.A. História da ciência e religião: uma proposta para discutir a natureza da ciência. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA - SNEF, 17, 2007.

FORATO, T.C.M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R.A. Prescrições historiográficas e saberes escolares: alguns desafios e riscos. In: VII ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS - ENPEC, Florianópolis - SC, 2009.

FORATO, T.C.M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R.A. A história e a natureza da ciência no ensino de ciências: obstáculos a superar ou contornar. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS - ENPEC, 12, 2010.

FORATO, T.C.M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R.A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 28(1), pp.27-59, 2011.

FREIRE, P. *Pedagogia da autonomia*: saberes necessários à prática educativa. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

GADOTTI, M. *Convite à leitura de Paulo Freire*. São Paulo: Scipione, 1991.

GALILI, I. *History of physics as a tool for teaching*, 2008. Disponível em <http://web.phys.ksu.edu/icpe/Publications/teach2/Galili.pdf>. Acesso em 02/05/2014.

GALILI, I. Promotion of Cultural Content Knowledge Through the Use of th History and Philosophy of Science. *Science & Education*, 21, pp.1283-1316, 2012.

GARE, A. From Kant to Schelling and Process Metaphysics: On The Way to Ecological Civilization. *Cosmos and History*: The Journal of Natural and Social Philosophy, 7(2), 2011.

GIANNOTTI, M. Apresentação. In: GOETHE, J.W. *Doutrina das cores*. São Paulo: Nova Alexandria, 1993.

GIL, D.; MONTORO, I.; ALÍS, J.; CACHAPUZ, A.; J. PRAIA. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação*, 7(2), pp.125-153, 2001.

GOLDRING, H.; Osborne, J. Students' difficulties with energy and related concepts. *Physics Education*, 29, pp.26–31, 1994.

GOMES, C. *Revolução Industrial*. Disponível em <http://www.infoescola.com/historia/revolucao-industrial/>. Acesso em 05/01/2015.

GOMES, L.C. A ascenção e queda da teoria do calórico. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 29(3), pp.1030-1073, 2012.

GONÇALVES, M.C.F. Filosofia da Natureza. Schelling: filósofo da natureza ou cientista da imanência? In: PUENTE, F.R.; VIEIRA, L.A. (Orgs.) *As filosofias de Schelling*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

GONÇALVES, M.C.F. A crítica às ciências mecanistas na Física Especulativa de Hegel. *Revista Eletrônica Estudos Hegelianos*, 11(1), pp.113-124, 2009.

GONÇALVES, M.C.F. Introdução. In: SCHELLING, F.W.J. *Aforismos para introdução à filosofia da natureza e aforismos sobre filosofia da natureza*. Rio de Janeiro: Ed. PUC-Rio; Loyola, 2010.

GOWER, B. Speculation in physics: the history and practice of *Naturphilosophie*. *Studies in History and Philosophy of Science*, 3(4), pp.301-356, 1973.

GOULD, S.J. *Pilares do Tempo*: ciência e religião na plenitude da vida. Trad. F. Rangel. Riode Janeiro: Rocco, 2002.

GRANGER, G.G. *A ciência e as ciências*. São Paulo: Editora da UNESP, 1994.

GRAY, J. Foreword by John Gray. BERLIN, I. *The Roots of Romanticism*. New Jersey: Princeton University Press, 2013 (livro eletrônico).

GUERRA, A.; FREITAS, J.; REIS, J.C.; BRAGA, M. *Galileu e o nascimento da ciência moderna*. São Paulo: Atual, 1997.

GUERRA, A.; FREITAS, J.; REIS, J.C.; BRAGA, M. A interdisciplinaridade no ensino das ciências a partir de uma perspectiva histórico-filosófica. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 15(1), pp.32-46, 1998.

GUERRA-RAMOS, M.T. Representaciones sobre los procedimientos científicos em el discurso de los docentes de ciencias de secundaria. In: SILVA, C.C.; PRESTES,

M.E.B. (Orgs.) *Aprendendo ciência e sobre sua natureza*: abordagens históricas e filosóficas.São Paulo: Tipographia Editora Expressa, 2013.

GUINSBURG, J. Romantismo, Historicismo e História. In: GUINSBURG, J. (Org.) *O Romantismo*. São Paulo: Perspectiva, 2008.

GUISASOLA, J.; MONTERO, A.; FERNÁNDEZ, M. La historia del concepto de fuerza electromotriz en circuitos eléctricos y la elección de indicadores de aprendizaje comprensivo. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 30(1), 1604, 2008.

GUISASOLA, J.; MORENTIN, M. Comprenden la naturaleza de la ciencia los futuros maestros y maestras de educación primaria? *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), pp.246-262, 2007.

HACKING, I. *Representar e intervir*: tópicos introdutórios de filosofia da ciência natural. Trad. Pedro Rocha de Oliveira. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2012.

HADZIGEORGIOU, Y.; SCHULZ, R. Romanticism and Romantic Science: Their Contribution to Science Education. *Science & Education*, 23(10), pp.1963-2006, 2014.

HARBOLA, M. K. Energy flow from a battery to other circuit elements: Role of surface charges. *American Journal of Physics*, 78(11), pp.1203-1206, 2010.

HARDENBERG, F. *The novices of Sais*. Trad. Ralph Manheim. New York: Archipelago Books, 2005.

HARDY, H. Editor's Preface. BERLIN, I. *The Roots of Romanticism*. New Jersey: Princeton University Press, 2013 (livro eletrônico).

HARMAN, P.M. *Energy*, *Force,* and *Matter*: The Conceptual Development of Nineteenth-Century Physics. Cambridge University Press, 1982.

HENRIQUE, A.B. *Discutindo a natureza da ciência a partir de episódios da história da cosmologia*. Dissertação de mestrado em ensino de ciências. São Paulo: FEUSP, 2011.

HENRIQUE, A.B.; SILVA, C.C. Discutindo a natureza da ciência a partir de episódios da história da cosmologia: o universo teve um começo ou sempre existiu? In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS - ENPEC, 7, 2009.

HEWITT, P.G. *Conceptual physics*: a high school physics program. California: Addison-Wesley Publishing Company, pp.299-348, 1987.

HOBSBAWN, E.J. *A era das revoluções*. Trad. Maria Tereza Teixeira e Marcos Penchel. São Paulo: Paz e Terra, 2012.

HODSON, D. *Teaching and learning about science*: language, theories, methods, history, traditions and values. New Jersey: Wiley-Blackwell, 2009.

HOLMES, R. *The age of wonder*. How the romantic generation discovered the beauty and terror of science. London: Harper Press, 2008.

HOOYKAAS, R. *A religião e o desenvolvimento da ciência moderna*. Trad. de Fernando Dídimo Vieira. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1988.

HÖTTECKE, D.; SILVA, C.C. Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles. *Science & Education*, 20(3), pp.293-316, 2011.

HULME, T.E. *Romanticism and Classicism*, 1911. Disponível em <http://www.poetryfoundation.org/learning/essay/238694>. Acesso em 14/07/2014.

IRZIK G.; NOLA, R. A family resemblance approach to the nature of science for science education. *Science & Education*, 20, pp.591-607, 2011.

ITAIPU BINACIONAL. Disponível em <https://www.itaipu.gov.br/>. Acesso em 02/08/2014.

KANT, I. *Prolegómenos a toda a metafísica futura*. Trad. Artur Morão. Lisboa: Edições 70, 1988.

KANT, I. *Primeiros princípios metafísicos da ciência da natureza*. Trad. Artur Morão. Lisboa: Edições 70, 1990.

KANT, I. *Crítica da Razão Pura*. São Paulo: Editora Martin Claret, 2003.

KAPER, W.H.; GOEDHART, M.J. 'Forms of energy', an intermediary language on the road to thermodynamics? Part I. *International Journal of Science Education*, 24(1), pp.81-95, 2002.

KAPER, W.H.; GOEDHART, M.J. 'Forms of energy', an intermediary language on the road to thermodynamics? Part II. *International Journal of Science Education*, 24(2), pp.119-137, 2002.

KLEINERT, A. Volta, the German Controversy on Physics and *Naturphilosophie* and his Relations with Johann Wilhelm Ritter. *Nuova Voltiana*, 4, 2002.

KLOPFER, L.E. *History of science cases*: Frogs and batteries (teacher's guide). Chicago, Illinois: Science Research Associates, 1966.

KNELLER, G.F. *A ciência como atividade humana*. Trad. Antonio José de Souza. Rio de Janeiro: Zahar; São Paulo: EDUSP, 1980.

KOYRÉ, A. O significado da síntese newtoniana. In: COHEN, B.; WESTFALL, R.S. (Org.) *Newton*: textos, antecedentes, comentários. Trad. Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto; EDUERJ, 2002.

KOYRÉ, A. *Estudos de história do pensamento científico*. Trad. Márcio Ramalho. Rio de janeiro: Forense, 2011.

KOYRÉ, A. *Estudos de história do pensamento filosófico*. Trad. Maria de Lourdes Menezes. Rio de janeiro: Forense, 2011.

KUHN, T. Notas sobre Lakatos, In: LAKATOS, I. *Historia de las ciencias y sus reconstrucciones racionales*. Madrid: Tecnos, 1987.

KUHN, T.S. *A tensão essencial*: estudos selecionados sobre tradição e mudança científica. Trad. Marcelo Amaral Penna-Forte. São Paulo: Editora Unesp, 2011.

KURNAZ, M.A. ; CALIK, M. A thematic review of 'energy' teaching studies: focuses, needs, methods, general knowledge claims and implications. *Energy Education Science and Technology Part B*: Social and Educational Studies, issue, 1(1), pp.1-26, 2009

LAKATOS, I. O falseamento e a metodologia dos programas de pesquisa, In: LAKATOS, I.; MUSGRAVE, A. (Org.) *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento*. São Paulo: Editora Cultrix, 1979.

LAKATOS, I. *Historia de las ciencias y sus reconstrucciones racionales*. Madrid: Tecnos, 1987.

LEDERMAN, N.G. Student's and teacher's conceptions of the nature of science: a review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*. 2994), pp.331-359, 1992.

LEDERMAN, N.G. Nature of science: past, present and future. In: ABELL, S.K.; LEDERMAN, N.G. (Eds.) *Handbook of research on science education*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, pp.831-879, 2007.

LEHRMAN, R.L. Energy is not the ability to do work. *The Physics Teacher*, 11, pp.15-18, 1973.

LEWIN, W. *8.01 Physics I*: Classical Mechanics. Massachusetts Institute of Technology: MIT Open Course Ware, 1999. Disponível em <http://ocw.mit.edu>. Acesso em 14/08/2014. License: Creative Commons Attribution-Noncommercial-Share Alike.

LÖWY, M.; SAYRE, R. *Revolta e melancolia*: o romantismo na contramão da modernidade. Trad. Guilherme João de Freitas Teixeira. Petrópolis, RJ: Vozes, 1995.

LINDSAY, R.B. The Concept of Energy and its Early Historical Development. *Foundations of Physics*, 1(4), 1971.

LIMA, C.C. Causalidade e auto-organização. In: PUENTE, F.R.; VIEIRA, L.A. (Orgs.) *As filosofias de Schelling*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

LIU X.; PARK M. *Contextual Diensions of the Energy Concept and Implications for Goals of Energy Teaching and Learning*. Disponível em <http://esummit-msu.net/content/contextual-dimensions-energy-concept-and-implications-energy-teaching-and-learning>. Acesso em 15/10/2014.

MAGALHÃES, G. Ciências e filosofia da natureza no século XIX: eletromagnetismo, evolução e idéias. In: X SEMINÁRIO NACIONAL DE HISTÓRIA DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, Belo Horizonte - MG, 2005.

MARQUES, A.J. Apresentação. In: GOETHE, J.W. *Ensaios científicos*: uma metodologia para o estudo da natureza. São Paulo: Barany Editora; Ad Verbum Editorial, 2012.

MARTINS, A.F.P. História e filosofia da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho... *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 24(1), pp.112-131, 2007.

MARTINS, A.F.P. *Física ainda é cultura?* Editora Livraria da Física, 2009.

MARTINS, A.F.P. História, filosofia, ensino de ciência e formação de profesores: desafios, obstáculos e possibilidades. *Educação*: Teoria e Prática, 22(40), 2012.

MARTINS, L.A.P. História da Ciência: Objetos, Métodos e Problemas. *Ciência & Educação*, 11(2), pp.305-317, 2005.

MARTINS, R.A. Mayer e a conservação da energia. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, 6, pp.63-95, 1984.

MARTINS, R.A. Sobre o papel da história da ciência no ensino. *Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência*, 9(3-5), 1990.

MARTINS, R.A. Como Não Escrever Sobre História da Física - um Manifesto Historiográfico. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 23(1), 2001.

MARTINS, R.A. A maçã de Newton: história, lendas e tolices. In: SILVA, C.C. (Ed.) *Estudos de história e filosofia das ciências:* subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Livraria da Física, pp.167-189, 2006.

MARTINS, R.A. A história das ciências e seus usos na educação. In: SILVA, C.C. (Org.) *Estudos de história e filosofia das ciências*: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

MARTINS, R.A.; SILVA, C.C. Newton and colour: the complex interplay of theory and experiment. *Science & Education*, 10(3), pp.287-305, 2001.

MARX, K. *El Capital*: libro 1, tomo 3. Madrid: Ediciones Akal, 2000.

MATTHEWS, M. *Science teaching*: the role of history and philosophy of science. New York: Routledge, 1994.

MATTHEWS, M. História, filosofia e ensino de ciências: A tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 12(3), pp.164-214, 1995.

MAXWELL, J.C. *Theory of heat*. London: Longmans, Green, and CO., 1872.

MAYOS, G. *Ilustración y Romanticismo*. Barcelona: Editorial Herder, 2004.

MCCOMAS, W.F. Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. *Science & Education*, 17, pp.249-263, 2008.

MCCOMAS, W.F.; ALMAZROA, H.; CLOUGH, M.P. The nature of science in science education: na introduction. *Science & Education*, 7, pp.511-532, 1998.

MCCOMAS, W.F.; OLSON, J.K. The nature of science in international science education standards documents. In: MCCOMAS, W.F. (Ed.) *The nature of science in science education: rationales and strategies*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998.

MELLO, V.D.S.; DONATO, M.R. O pensamento iluminista e o desencantamento do mundo: modernidade e a Revolução Francesa como marco paradigmático. *Revista Crítica Histórica*, ano II, 4, 2011.

MENEZES, L.C. O novo público e a nova natureza do ensino médio. *Estudos Avançados*, 15(42), 2001.

MENEZES, L.C.; CANATO, O.; KANTOR, C.A.; PAOLIELLO, L.A.; BONETTI, M.C.; ALVES, V.M. *Física, 1º ano*: ensino médio. São Paulo: Editora PD, 2010.

METZ, D.; KLASSEN, S.; MCMILLAN, B.; CLOUGH, M.; OLSON, J. Building a foundation for the use of historical narratives. *Science & Education*, 16, pp.313-334, 2007.

MIGUEL. L.R. William Whewell: as motivações e os objetivos de um filósofo da ciência. In: VIDEIRA, A.A.P. (Org.) *Perspectivas contemporâneas em filosofia da ciência*. Rio de janeiro: EdUERJ, 2012.

MILLAR, R. Teaching about energy. *Research paper of University of York's Department of Educational Studies*, 2005.

MILLER, G. L. Introduction. In: GOETHE, J.W. *The metamorphosis of plants*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2009.

MIRANDA, F.S.M.P. A Mudança do Paradigma Econômico, a Revolução Industrial e a Positivação do Direito do Trabalho. *Revista Eletrônica Direito, Justiça e Cidadania*, 3(1), 2012.

MONTIEL, L. Una Summa de la Filosofía de la Naturaleza del Romanticismo Alemán: El Lehrbuch der Naturphilosophie de Lorenz Oken (II). *Asclepio*, LI(2), 1999.

MORAIS, A.; GUERRA, A. História e filosofia da ciência: caminhos para a inserção de temas de física moderna no estudo de energia na primeira série do Ensino Médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 35(1), 1502, 2013.

MORIN, E. Para além do Iluminismo. *FAMECOS*, 26, 2005.

MORUJÃO, C. Introdução. In: SCHELLING, F.W.J. *Ideias para uma filosofia da natureza*: prefácio, introdução e aditamento à introdução. Trad. Carlos Morujão. Lisboa: Centro de Filosofia da Universidade de Lisboa, Imprensa Nacional - Casa da Moeda, 2001.

MOZENA, E.R.; OSTERMANN, F. Uma revisão bibliográfica sobre a interdisciplinaridade no ensino das ciências da natureza. *Revista Ensaio*, 16(2), pp.185-206, 2014.

MOURA, M. Da Magia a Kant: Considerações sobre a Relação de Goethe com a Filosofia. *Matraga*, 18(29), 2011.

NASCIMENTO, C.K.; BRAGA, J.P.; FABRIS, J.D. Reflexões sobre a contribuição de Carnot à primeira lei da termodinâmica. *Química Nova*, 27(3), pp.513-515, 2004.

NC - The National Curriculum. *Secondary curriculum key stages 3 & 4*, 2007. Disponível em <http://curriculum.qcda.gov.uk/. Acesso em 08/04/2014.

NUNES, A.W.; SILVA, M.M. O Conceito de Intuição Intelectual nas Cartas Filosóficas sobre o Dogmatismo e o Criticismo de Schelling. In: Anais do XIX ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, Guarapuava - PR, 2010.

NUNES, B. A visão Romântica. In: GUINSBURG, J. (Org.) *O Romantismo*. São Paulo: Perspectiva, 2008.

OCHOA, H. Filosofia do Idealismo Transcendental: O dilema de Schelling. In: PUENTE, F.R.; VIEIRA, L.A. (Orgs.) *As filosofias de Schelling*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

PAPADOURIS, N.; CONSTANTINOU, C.P.; KYRATSI, T. Students' Use of the Energy Model to Account for Changes in Physical Systems. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(4), pp.444-469, 2008.

PASSOS, J.C. Os experimentos de Joule e a primeira lei da termodinâmica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 31(3), 3603, 2009.

PATTON, L. Hermann Von Helmholtz. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. 2014. Disponível em <http://plato.stanford.edu/archives/fall2014/entries/hermann-helmholtz/>. Acesso em 01/01/2015.

PAULA, J.A. A idéia de nação no século XIX e o marxismo. *Estudos Avançados*, 22(62), 2008.

PAVIANI, J. *Interdisciplinaridade*: conceitos e distinções. Caxias do Sul, RS: Educs, 2008.

PECKHAM, M. Toward a theory of romanticism. *PMLA*, 66, pp.5-23, 1951.

PEDUZZI, L.O.Q. Sobre a utilização didática da história da ciência. In: PIETROCOLA, M. (Org.) *Ensino de Física*: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis: Editora UFSC, 2001.

PETERSON, K.R. Translator's introduction. In: SCHELLING, F.W.J. *First outline of a system of the philosophy of nature*. Albany: State University of New York, 2004.

PIETROCOLA, M. A matemática como estruturante do conhecimento físico. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 19(1), pp.88-108, 2002.

PIETROCOLA, M.; POGIBIN, A.; OLIVEIRA, R.C.A.; ROMERO, T.R.L. *Física em contextos*: pessoal, social e histórico, volume 2, energia, calor, imagem e som. São Paulo: FTD, 2010.

PIETROCOLA, M.; ZYLBERSZTAJN, A. The use of the principle of relativity in the interpretation of phenomena by undergraduate physics students. *International Journal of Science Education*, 21(3), pp.261-276, 1999.

POINCARÉ, H. *A ciência e a hipótese*. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 1984.

POMBO, O. Epistemologia da Interdisciplinaridade. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL: INTERDISCIPLINARIDADE, HUMANISMO, UNIVERSIDADE. Porto, 2003.

POMBO, O. Interdisciplinaridade e Integração dos Saberes. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO SOBRE EPISTEMOLOGIA E INTERDISCIPLINARIDADE NA PÓS-GRADUAÇÃO, Porto Alegre, 2004.

PONCZEK, R.L. A polêmica entre Leibniz e os cartesianos: mv ou mv^2? *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 17(3), pp.336-347, 2000.

PONCZEK, R.L. *Deus ou seja a Natureza*: Spinoza e os novos paradigmas da Física. Salvador: EDUFBA, 2009.

POSSEBON, E. Introdução. In: GOETHE, J.W. *Contribuições para a Óptica (parte I)*. São Paulo: Antroposófica, 2011.

PRAIA, J.; GIL, D.; VILCHES, A. O papel da natureza da ciência na educação para a cidadania. *Ciência & Educação*. 13(2), pp.141-156, 2007.

PRAXEDES, G.; JACQUES, V. O princípio de conservação da energia: a convergência dos diferentes sentidos. In: VII ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS - ENPEC, Florianópolis - SC, 2009.

PRESTES, M.E.B.; CALDEIRA, A.M.A. Introdução. A importância da história da ciência na educação científica. *Filosofia e História da Biologia*, 4(1-16), 2009.

PUENTE, F.R. As concepções antropológicas de Schelling. São Paulo: Edições Loyola, 1997. In: PUENTE, F.R.; VIEIRA, L.A. (Orgs.) *As filosofias de Schelling*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

PUMFREY, S. History of science in the National Science Curiculum: a critical review of resources and their aims. *British Journal of History of Science*, 24, pp.61-78, 1991.

PUPI, A. De Kant a Fichte. In: ROVIGHI, S.V. *História da filosofia moderna*: da revolução científica a Hegel. Trad. Marcos Bagno e Silvana Cobucci Leite. São Paulo: Edições Loyola, 2002.

QUADROS, P.P.; SANTOS, R.P. A energia nossa na leitura de cada dia. *Acta Scientiae*, 9(2), pp.27-38, 2007.

QUEIRÓS, W.P.; NARDI, R. História do princípio de conservação da energia: alguns apontamentos para a formação de professores. In: XVII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA - SNEF, Vitória - ES, 2009.

RAMOS, P.L.P.; PONCZEK, R.L. A evolução histórica dos conceitos de energia e quantidade de movimento. *Caderno de Física da UEFS*, 9(1-2), pp.73-83, 2011.

REGO, T.C. *Vygotsky*: Uma perspectiva histórico-cultural da educação. Petrópolis: Vozes, 1996.

REIS, J.C.; GUERRA, A.; BRAGA, M. Estudo de cosmologia moderna no ensino médio através da história da física: diálogos interdisciplinares. In: SILVA, C.C.; PRESTES, M.E.B. (Orgs.) *Aprendendo ciência e sobre sua natureza*: abordagens históricas e filosóficas.São Paulo: Tipographia Editora Expressa, 2013.

RICARDO, E.C.; FREIRE, J.C.A. A concepção dos alunos sobre a física do ensino médio: um estudo exploratório. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29(2), pp.251-266, 2007.

RIZAKI, A.; KOKKOTAS, P. The Use of History and Philosophy of Science as a Core for a Socioconstructivist Teaching Approach of the Concept of Energy in Primary Education. *Science & Education*, 22(5), pp.1141-1165, 2009.

RODRÍGUEZ, R.Y.A.; BRAVO, A.A. Naturaleza de la ciencia: acuerdos teóricos em la comunidad iberoamericana de didática de las ciencias. In: SILVA, C.C.; PRESTES, M.E.B. (Orgs.) *Aprendendo ciência e sobre sua natureza*: abordagens históricas e filosóficas.São Paulo: Tipographia Editora Expressa, 2013.

ROLLER, D. *The early development of the concepts of temperature and heat*: the rise and decline of caloric theory. Cambridge: Harvard University Press, 1950.

ROSA, C.W.; ROSA, A.B. Ensino de física: objetivos e imposições no ensino médio. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), 2005.

ROSALES, J.R. Limite e realidade: Os primeiros passos no sistema do Idealismo Transcendental. In: PUENTE, F.R.; VIEIRA, L.A. (Orgs.) *As filosofias de Schelling*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

ROSENFELD, A.; GUINSBURG, J. Romantismo e Classicismo. In: GUINSBURG, J. (Org.) *O Romantismo*. São Paulo: Perspectiva, 2008.

ROUANET, S.P. *As razões do iluminismo*. São Paulo: Companhia das Letras, 1987.

ROVIGHI, S.V. *História da filosofia moderna*: da revolução científica a Hegel. Trad. Marcos Bagno e Silvana Cobucci Leite. São Paulo: Edições Loyola, 2002.

RUTHERFORD, F.J.; HOLTON, G.; WATSON, F.G. *Projecto Física, unidade 3*: O triunfo da mecânica. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1978.

SAFRANSKI, R. *Romantismo*: uma questão alemã. Trad. Rita Rios. São Paulo: Estação Liberdade, 2010.

SAMANIEGO, L.E.Q. O positivismo e as ciências físico-matemáticas no Brasil. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 11(2), pp.105-114, 1994.

SÁNCHEZ-GARNICA. D.E. La biología romántica de los Naturphilosophen. In: GONZÁLEZ-RECIO, J.L. (Ed.) *El Taller de las Ideas*: Diez lecciones de historia de la ciencia. México: Plaza y Valdés, S.A. de C.V., 2005.

SANTORO, T.S. Intuição Intelectual na Filosofia Tardia de Fichte. *Revista Filosófica de Coimbra*, 31, 2007.

SANTOS, J.L. *O que é cultura*. São Paulo: Editora Brasiliense, 1987.

SANTOS, M.E. *A cidadania na "voz" dos manuais escolares*. Lisboa: Livros Horizonte, 2001.

SÃO TIAGO, M.F. *Aspectos de 'natureza da ciência' num curso de física do ensino médio*: uma abordagem histórica. Dissertação de mestrado em ensino de física. Rio de Janeiro: UFRJ, 2011.

SASSERON, L.H.; BRICCIA, V.; CARVALHO, A.M.C. Aspectos da natureza das ciências em sala de aula: exemplos do uso de textos científicos em prol do processo de alfabetização científica dos estudantes. In: SILVA, C.C.; PRESTES, M.E.B. (Orgs.) *Aprendendo ciência e sobre sua natureza*: abordagens históricas e filosóficas.São Paulo: Tipographia Editora Expressa, 2013.

SCHELLING, F.W.J. *Ideias para uma filosofia da natureza*: prefácio, introdução e aditamento à introdução. Trad. Carlos Morujão. Lisboa: Centro de Filosofia da Universidade de Lisboa, Imprensa Nacional - Casa da Moeda, 2001.

SCHELLING, F.W.J. *First outline of a system of the philosophy of nature*. Trad. Keith R. Peterson. Albany: State University of New York, 2004.

SCHELLING, F.W.J. *Aforismos para introdução à filosofia da natureza e aforismos sobre filosofia da natureza*. Trad. Márcia C. F. Gonçalves. Rio de Janeiro: Ed. PUC-Rio; Loyola, 2010.

SCHERR, R.E.; CLOSE, H.G.; MCKAGAN, S.B.; VOKOS, S. Representing energy. I. Representing a substance ontology for energy. *Physical Review Special Topics, Physics Education Research*, 8, 2012.

SEARS, F.W.; ZEMANSKY, M.W. *Física*. Trad. Carlos Campos de Oliveira. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S.A. - Rio, 1962.

SEARS, F.W.; ZEMANSKY, M.W.; YONG, H.D. *Física 2*: mecânica dos fluidos, calor e movimento ondulatório. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 1984.

SEEDUC - Secretaria de estado de Educação. *Currículo Mínimo de Física 2012*: Física. Disponível em <http://www.conexaoprofessor.rj.gov.br/curriculo_aberto.asp>. Acesso em 27/09/2014.

SEGURA, C. Reflexiones em torno al concepto de energia: implicaciones curriculares. *Enseñanza de Las Ciencias*, 4(3), pp.247-252, 1986.

SELOW, E. Schelling, Frederick. In.: GILLISPIE, C.C. (Org.) *Dicionário de biografias científicas*. Trad. Carlos Almeida Pereira. Rio de Janeiro: Contraponto, 2007.

SENRA, C.P.; BRAGA, M. Pensando a natureza da ciência a partir de atividades experimentais investigativas numa escola de formação profissional. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 31(1), pp.7-29, 2014.

SHANAHAN, T. Kant, Naturphilosophie, and Oersted's Discovery of Eletromagnetism: A Reassessment. *Studies in History and Philosophy of Science*, 20(3), pp.287-305, 1989.

SIERRA, C.E. El caballo de fuerza. *Revista Universidad de Antioquia*, 299, 2010.

SILVA, A.P.B.; FORATO, T.C.M.; GOMES, J.L.A.M.C. Concepções sobre a natureza do calor em diferentes contextos históricos. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 30(3), pp.492-537, 2013.

SILVA, B.R. *A "Descoberta" da cultura popular no Romantismo Alemão*. Disponível em <http://cpd1.ufmt.br/bocadatribo/adm/bocaconvida/BocaConvida_Descoberta_revista4.pdf>. Acesso em 10/11/2014.

SILVA, C.C. (Org.) *Estudos de história e filosofia das ciências*: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

SILVA, J.L.P.B.; MORADILLO, E.F. Sobre o ensino da conservação da energia. In: V ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS - ENPEC, Bauru - SP, 2005.

SILVA, L.H.O.; PINTO, F.N.P. Interdisciplinaridade: as práticas possíveis. *Revista Querubim*, ano 5, 2009.

SILVA, O.H.M.; LABURÚ, C.E.; NARDI, R. Reflexões para subsidiar discussões sobre o conceito de calor na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 25(3), pp.383-396, 2008.

SILVEIRA, R.W.D. Para pensar a unidade do primeiro romantismo alemão. *Existência e Arte*, ano VIII, VII, 2012.

SOLBES, J.; GUISASOLA, J.; TARÍN, F. Teaching Energy Conservation as an Unifying Principle in Physics. *Journal of Science, Education & Technology*, 18, pp.265-274, 2009.

SOLBES, J.; TRAVER, M. Resultados obtenidos introduciendo historia de la ciencia en las classes de Física y Química: mejora de la imagen de la ciencia y desarrollo de actitudes positivas. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(1), pp. 151-162, 2001.

SOLÉ, J. *A Revolução Francesa em Questões*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 1989.

SOLOMON, J. Learning about energy: How pupils think in two domains. *European Journal of Science Education*, 5(1), pp.49-59, 1983.

SOLOMON, J. Teaching the conservation of energy. *Physics Education*, 20, pp.165-170, 1985.

SOUSA, E.; MIGUELOTE, A. Y.; NOVIKOFF, C. Energia em diferentes contextos: uma proposta atual para sua definição. *Cadernos UniFOA*, 20, 2012.

SOUZA FILHO, O.M. A física de Helmholtz e suas bases filosóficas. *Revista da SBHC*, 13, pp.53-64, 1995.

SMITH, C. *The science of energy*: a cultural history of energy physics in Victorian Britain. Chicago: The University of Chicago Press, 1998.

SNOW, C.P. *As Duas Culturas e uma Segunda Leitura*: uma Versão Ampliada das Duas Culturas e a Revolução Científica. São Paulo: EDUSP, 1995.

SPENGLER, O. *A decadência do Ocidente*: esboço de uma morfologia da História Universal. Rio de Janeiro: Zahar, 1973.

STAUFFER, R.C. Speculation and Experiment in the Background of Oersted's Discovery of Eletromagnetism. *Isis*, 48, 1957.

STEINER, R. *O método cognitivo de Goethe*: linhas básicas para uma gnosiologia da cosmovisão goethiana. Trad. Bruno Callegaro e Jacira Cardoso. São Paulo: Antroposófica, 2004.

STORK, R.Y. *El Origen de la Energeia em Aristoteles*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Navarra, 2008.

SÜSSEKIND, P. Considerações sobre a teoria filosófica do gênio. *Revista Eletrônica de Estética, Cadernos de Estética Aplicada*, 7, 2009.

SWACKHAMER, G.: *Cognitive Resources for Understanding Energy*. Disponível em <http://modeling.asu.edu/modeling/CognitiveResources-Energy.pdf>. Acesso em 28/05/2014.

TATAR, E.; OKTAY, M. Students' Misunderstandings about the Energy Conservation Principle: A General View to Studies in Literature. *International Journal of Environmental & Science Education*, 2(3), pp.79-86, 2007.

TEIXEIRA, O.P.B. *Desenvolvimento do conceito de calor e temperatura*: a mudança conceitual e o ensino construtivista. Tese de doutoramento em didática. São Paulo: USP, Faculdade de Educação, 1992.

THIESEN, J.S. A interdisciplinaridade como um movimento articulador no processo ensino-aprendizagem. *Revista Brasileira de Educação*, 13(39), 2008.

THOMSON, W. Sobre uma tendência universal da natureza para a dissipação de energia. *Revista Brasileira de ensino de Física*, 29(4), pp.491-492, 2007.

THUILLIER, P. *De Arquimedes a Einstein*: a face oculta da invenção científica. Trad. Maria Inês Duque-Estrada. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 1994.

TIPLER, P.A. *Física, volume 1*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S.A., 1978.

TOLLE, O. Herder e a metafísica. *Cadernos UFS Filosofia*, 10, 2011.

TORRES FILHO, R.R. Schelling: Vida e obra. In: SCHELLING, F.W.J. *Obras escolhidas*. São Paulo: Abril Cultural, 1979.

TORRES FILHO, R.R. Fichte: Vida e obra. In: FICHTE, J.G. *A doutrina-da-ciência de 1794 e outros escritos*. São Paulo: Abril Cultural, 1980.

TOTTA, S. *Crítica de Marx ao materialismo mecânico*: diferenças ontológicas, 2012. Disponível em <https://marxemmaio.files.wordpress.com/2012/06/selmatotta_marxemmaio.pdf>. Acesso em 05/04/2015.

TRUMPER, R. Being constructive: An alternative approach to the teaching of the energy concept - part one. *International Journal of Science Education*, 12(4), pp.343-354, 1990.

TRUMPER, R. Children's energy concepts: a cross-age study. *International Journal of Science Education*, 15(2), pp.139-148, 1993.

VAIDEANU, G. A interdisciplinaridade no ensino: esboço de síntese. In: POMBO, O.; GUIMARÃES, H.M.; LEVY, T. (Orgs.) *Interdisciplinaridade*: Antologia. Porto: Campo das Letras, 2006.

VALENTE, M.J.P. *A Pedagogia do Conceito de Energia*: contributo para a utilização formativa do conceito de energia. Dissertação de mestrado em ciências da educação. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, 1993.

VALENTE, M.J.P. *Uma leitura pedagógica da construção histórica do conceito de energia*. Tese de doutoramento em ciências da educação. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, 1999.

VÁSQUEZ-ALONSO, Á.; MANASSERO-MAS, M.A.; ACEVEDO-DÍAZ, J.A.; ACEVEDO-ROMERO, P. Consensos sobre a Natureza da Ciência: a Ciênca e a Tecnologia na Sociedade. *Química Nova na Escola*, 27, pp.34-50, 2008.

VIANNA, A.M. Revolução Industrial: um breve ensaio crítico. *Revista Espaço Acadêmico*, 90, 2008.

VIDEIRA, A.A.P. O Naturalismo como Atitude: Mach em Disputa com a Metafísica. *Principia*, 13(3), 2009.

VIDEIRA, A.A.P. (Org.) *Perspectivas contemporâneas em filosofia da ciência*. Rio de janeiro: EdUERJ, 2012.

VIDEIRA, A.A.P. *A Defesa da Universidade Alemã como Solução para a Superação da Cisão entre as Ciências e a Vida*: Hermann Von Helmholtz, Goethe e a Popularização da Ciência. Disponível em <http://cbpfindex.cbpf.br/publication_pdfs/cs00411.2011_02_10_10_52_04.pdf>. Acesso em 29/11/2014.

VIGLIETTA, L. 'Efficiency' in the teaching of energy. *Physics Education*, 25, pp.317-321, 1990.

VITAL, A.; GUERRA, A. A natureza da ciência no ensino de Física: estratégias didáticas elaboradas por professores egressos do mestrado profissional. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 31(2), pp.225-257, 2014.

VOLOBUEF, K. *Frestas e Arestas*: A prosa de ficção do romantismo na Alemanha e no Brasil. São Paulo: Editora da UNESP, 1999.

WARREN, J.W. The nature of energy. *European Journal of Science Education*, 4, pp.295-297, 1982.

WARREN, J.W. At what stage should energy be taught? *Physics Education*, 21(3), pp.154-156, 1986.

WATTS, D.M. Some alternative views about energy. *Physics Education*, 18, pp.213-217, 1983.

WATTS, M.; GILBERT, J. Enigmas in school science: Students' conceptions for scientifically associated words. *Research in Science & Techological Education*, 1(2), pp.161-171, 1983.

WELLS, G.A., Goethe, Johann Wolfgang von. In.: GILLISPIE, C.C. (Org.) *Dicionário de biografias científicas*. Trad. Carlos Almeida Pereira. Rio de Janeiro: Contraponto, 2007.

WESTPHAL, K.R. Does Kant's Metaphysics Foundations of Natural Science fill a Gap in the Critique of Pure Reason? *Synthese*, 103(1), pp.43-86, 1995.

WOODWARD, W.R. Hermann Lotze's critique of Johannes Müller's Doctrine of Specific Sense Energies. In: SIXTH ANNUAL MEETING OF THE CHEIRON SOCIETY AT DURHAM, New Hampshire, 1974.

ZAMMMITO, J. Reconstructing German Idealism and Romanticism: Historicism and Presentism. *Modern Intellectual History*, 1(3), pp.427-438, 2004.

ZANETIC, J. *Física também é cultura*. Tese de doutoramento em educação. São Paulo: FEUSP, 1989.

ZEMANSKY, M.W. The use and misuse of Word heat in physics teaching. *The Physics Teacher*, 8(6), pp.294-300, 1970.

Apêndice Apoio histórico-filosófico para o ensino da grandeza energia

- Introdução

O presente módulo surge como uma alternativa para o ensino de energia. Tal módulo tem como motivação central a *Naturphilosophie* schellinguiana (filosofia da natureza ou ciência romântica). Certas noções metafísicas apregoadas pelos *Naturphilosophen* (filósofos da natureza ou cientistas românticos) possivelmente desempenharam um papel relevante no processo de emergência - desenvolvimento e estabelecimento - do construto energia (e de tantos outros) no âmbito científico; tais elementos, acreditamos, subjazeram à construção do princípio de conservação dessa importante grandeza.

A energia é um conceito unificador, ou seja: serve como elemento minimizador da notória e excessiva fragmentação do conhecimento humano; figura como “ponte”, através da qual, possivelmente, “ilhas de conhecimentos” - ditas exatas e humanas - são conectadas; favorece a criação de vínculos e estreitamentos entre cientistas; pode ser utilizada em prol de um ensino mais orgânico - que aproxima domínios do conhecimento, currículos e professores; beneficia o ideal de um ensino interdisciplinar e transdisciplinar.

Notadamente, a energia está na física, na química, na biologia, nos jornais, na TV, nas revistas... nas decisões políticas. Os neurocientistas querem mensurar o custo metabólico - em calorias - de certa quantidade de informação transmitida através de uma sinapse; os antropólogos, os sociólogos e os economistas estão interessados no consumo energético *per capita* ou mesmo se as pessoas trabalham em busca da optimização de suas próprias eficiências etc. Aquilo que chamamos de energia relaciona-se diretamente com as questões ambientais e de sustentabilidade atuais.

Podemos dizer que o conceito de energia é um dos principais construtos presentes no domínio científico; através do princípio de conservação da energia resolvemos uma série de problemas, de interesse tanto teórico quanto prático, relacionados com os fenômenos naturais. Sem qualquer dúvida, a construção do princípio de conservação da energia foi uma vitória do intelecto humano e está longe de ter sido fruto de um processo indutivo novecentista; há uma fascinante trajetória atrelada à história do construto analisado - repleta de vínculos sociais com a Europa do final do século XVIII e início do século XIX. Parte do legado cultural científico, historicamente e filosoficamente, a energia é um poderoso instrumento pedagógico, adequado à implementação de discussões relevantes e concernentes à Natureza da Ciência (NdC).

- Objetivos do módulo

O presente módulo tem por objetivo principal ser uma alternativa - um apoio histórico-filosófico para professores - minimizadora dos excessos do formulismo. Ao voltarmo-nos excessivamente para o formalismo matemático, deixamos de lado aspectos deveras importantes atrelados à grandeza em questão; aspectos relacionados com: o caráter unificador do construto energia; a HC, em especial, com a história subjacente ao princípio de conservação da energia; a NdC e dos construtos científicos.

O ensino escolar, em geral, é propedêutico. A escola - salvo as escolas técnicas - não tem por objetivo formar especialistas. Portanto, por que as aulas de física costumam enfatizar tanto o desenvolvimento de habilidades tão específicas - o domínio pleno das fórmulas, dos cálculos? Não estamos formando especialistas.

As equações mencionadas têm, de fato, muito valor, contudo, por que insistir numa abordagem meramente operacional-formulesca, uma vez que (tanto historicamente quanto filosoficamente) é bastante rico o episódio concernente à construção do princípio de conservação da energia? Voltemo-nos para um ensino que contemple de maneira equilibrada tanto os produtos científicos quanto certos aspectos importantes e concernentes à produção de tais saberes.

Tal módulo pretende: combater o mitológico Método Científico; opor-se ao ensino tradicional-formulesco; salientar a importância da HFC - viés benéfico, adequado ao ensino de ciências e sobre tal empreendimento humano; incentivar discussões acerca da NdC nas salas de aula de física; humanizar a ciência; apresentar uma alternativa interdisciplinar mais valorosa, voltada para a introdução do tema energia nas salas de aula; representar uma possibilidade mais equilibrada - que mescla aspectos qualitativos e quantitativos atrelados ao tema energia; adequar as visões de ciência dos estudantes, geralmente, bastante distorcidas.

Não se trata de um módulo típico. Propomos que mecânica e termodinâmica conversem mais durante as discussões do tema energia. Somente assim, evidenciar-se-á o caráter unificador do construto referido. Optamos por não contemplar o eletromagnetismo, ao menos nesse momento. A ênfase nos dois domínios supracitados - mecânica e termodinâmica - deveu-se, tão somente, para que fosse possível cumprirmos com nosso objetivo anteriormente sobressaltado: apontar o caráter totalizador da energia.

- Habilidades as quais serão desenvolvidas

- Ampliar a capacidade de abstração dos estudantes;
- fomentar reflexões sobre a ciência e seus construtos dentro e fora da sala de aula;

- melhorar a visão de ciência dos alunos;
- auxiliar o processo de desenvolvimento do senso crítico dos educandos diante das questões sociocientíficas - e, por conseguinte, da autonomia dos mesmos.

- Aspectos relativos à NdC contemplados, em especial

- A atividade científica é empreendida por homens imersos em contextos específicos, que especulam filosoficamente, cada qual com sua respectiva bagagem cultural;
- durante o fazer científico, controvérsias são comuns;
- a metafísica é cara ao processo de construção dos saberes científicos.

- Apoio histórico-filosófico relacionado com o assunto considerado

A construção do princípio de conservação da energia demandou um plano de fundo filosófico adequado. a ciência necessita da filosofia, assim como da técnica experimental e da matemática. Cada período histórico é dominado por certas características - maneiras de estar no mundo, de pensar etc.; tais características - inevitavelmente - influenciam o fazer científico. No que tange ao estudo do processo de construção do princípio supracitado, a análise do contexto, das perguntas e das ideias os quais fomentaram tal construção, é fundamental. E isso, pois os elementos contextuais referidos propiciam condições adequadas para a produção de um saber científico qualquer.

❖ **Sobre a metafísica**

A metafísica - domínio filosófico que tem por finalidade a resolução de certos problemas inevitáveis aos homens - investiga os fundamentos, as causas e o ser íntimo de todas as coisas; à metafísica - que já fora considerada rainha de todas as ciências, cabem perguntas do tipo: Por que tais coisas existem? Por que alguma coisa é o que é?

Foi Andronico de Rodes quem cunhou o termo metafísica - em 50 a.C.; o fizera para classificar e denominar os escritos de Aristóteles posteriores aos seus estudos - também de Aristóteles - sobre física. O prefixo *meta* refere-se ao que está além de - contudo, num sentido de superioridade, de estar acima de, de ser superior a ou de ser condição para. Assim, o termo metafísica designa o estudo de algo: que está acima e além das coisas físicas - ou naturais; que condiciona a existência e o conhecimento de tais coisas - físicas ou naturais.

A influência fecunda da metafísica sobre a física é inegável. As teorias científicas agregam uma série de elementos, dentre os quais há aqueles ditos metafísicos; de maneira

geral, a criação de conceitos e teorias ocorre a partir de princípios metafísicos básicos - ou seja, que não podem ser empiricamente testados, princípios *a priori*.

A ideia metafísica de conservação, segundo a qual, certa grandeza - ou alguma coisa - conserva-se em quantidade durante um processo qualquer de - suposta - interconversão fenomênica foi crucial para o estabelecimento do princípio de conservação da energia. Somente em consequência da emergência de tal quadro conceitual, o qual instaura como características da energia - ou força, mais precisamente - a conservabilidade e a conversibilidade, houve condições plenas para o estabelecimento de uma relação quantitativa de cunho prático entre grandezas associadas a fenômenos distintos - por exemplo, trabalho e calor.

A sofisticação técnica foi importante, visto que houve, em seguida, a necessidade de um ou mais aparatos experimentais adequados, mediante os quais fosse possível aferir a suposta invariabilidade da grandeza energia ao hipoteticamente converter-se ou ser convertida. Contudo, sem um quadro conceitual adequado, não poder-se-ia interpretar os dados experimentais convenientemente ou fixar quaisquer correspondências entre os mesmos; nem ao menos poder-se-ia atribuir um significado à grandeza energia. Não há como fazer ciência sem certa dose de elementos metafísicos.

❖ Iluminismo

Em certa medida, podemos dizer que o Iluminismo dominou o pensamento Europeu do século XVIII; e essa dominação é nítida, uma vez que é comum chamar-se o referido século de “Século das Luzes” - período marcado por uma intensa crítica às instituições religiosas, sociais e políticas até o período dominantes. O Iluminismo marca a preponderância da razão - assinala certa empolgação com a ideia de progresso intelectual; mas, não mais uma razão repleta de considerações metafísico-teológicas - tal qual aquela que governara até então o pensamento europeu.

Os iluministas avivaram a ideia de um Universo-máquina. A visão de ciência mecanicista tornara-se dominante. A mecânica newtoniana - a qual possibilitara uma explicação universal tanto para os fenômenos celestes quanto para aqueles ditos terrestres - exerceu um enorme e importante papel nesse ínterim. Segundo tal visão, todos os fenômenos naturais deveriam ser remetidos ao domínio mecânico - ou seja, estudados através dos conceitos mecânicos.

Newton foi venerado pelos iluministas. Newton estabeleceu alguns princípios matemáticos os quais relacionou com certas regularidades da natureza; além disso, Newton também defendera um caminho investigativo específico para a física. De acordo com o caminho mencionado, dever-se-ia partir da observação direta dos fatos explícitos - dos

fenômenos - para que então pudesse-se seguir rumo aos princípios ou leis matemáticas representativas e empiricamente testáveis, num processo indutivo e teoricamente livre de hipóteses.

O método newtoniano fora considerado universalmente válido pelos iluministas; tais indivíduos consideraram o método referido adequado ao atingimento de todo e qualquer saber. Sabemos que o método proposto por Newton não é cabível; nem mesmo Newton conseguiu segui-lo rigorosamente. Diversas pressuposições metafísico-teológicas podem ser encontradas nos escritos de Newton. A ideia de uma força que atua à distância - a gravidade - , por exemplo, é absolutamente hipotética - apriorística, metafísica; aquela - ideia - de um espaço absoluto também. Para Newton, o espaço relaciona-se com os sentidos de Deus - ou *sensorium Dei* - e é necessariamente absoluto - assim como o próprio suposto criador, para os que nele creem. Tal espaço é, de acordo com Newton, um órgão de Deus, o responsável pela onisciência, onipresença e onipotência divinas.

❖ Revolução Francesa

A Revolução Francesa impulsionou grandemente a Alemanha durante o final do século XVIII. O sentimento nacionalista pré-romântico certamente representou esse impulso. O ideal - libertário, igualitário e fraterno - revolucionário francês cativou os românticos; a tirania - os massacres, as imagens da prepotência - napoleônica, imediatamente conseguinte, causou-lhes enorme repulsa, acompanhada por certo sentimento de desencanto.

Os românticos efetivaram no mundo das idéias e da cultura aquilo que os franceses revolucionários empreenderam no campo político. Os românticos - que viveram a experiência universitária e o início de sua militância cultural entre os *slogans* da revolução da França - almejavam a efetivação do ideal revolucionário referido, contudo, apregoaram a impossibilidade temporária de tal realização - e isso, pois consideravam incompleta a Revolução promovida em solo francês: o advento do primado da justiça e da liberdade fora adiado. A Revolução não conduzira à libertação plena; não houve igualdade e nem fraternidade entre todos os franceses.

❖ O Romantismo

O período correspondente ao final do século XVIII e às primeiras décadas do século XIX abarcou tanto a ascensão quanto a propagação de certa escola européia - bastante influente - de pensamento, o Romantismo. Esse amplo movimento emergiu na Alemanha e espalhou-se pela Europa no final do século XVIII. Tal fato histórico ou evento sócio-cultural foi mais intenso na Alemanha.

De maneira ampla, o Romantismo foi um movimento: intelectual; cultural; crítico, rebelde, inquisitivo, revelador; reativo; controverso; de oposição; que abrangera o cenário científico das principais nações européias do período supracitado. Talvez o Romantismo tenha sido o primeiro grande movimento de oposição ao dito mundo moderno - contrário à civilização científico-racional pós-século XVII. Tal movimento reagiu à tendência analítica - ou fragmentadora do todo - moderna. A reação fora um traço marcante do Romantismo - movimento contrário à visão de mundo racionalista-iluminista do “Século das Luzes”.

Os românticos: sobrevalorizavam as emoções - os sentimentos lhes eram caros; tentavam exprimir por meio de palavras aquilo que sentiam quando em contato com a natureza; opuseram-se à soberania - supremacia - da razão; exaltaram o sentimento e as emoções em detrimento da razão e dos frios cálculos; abandonaram as severas armas da reflexão metódica em prol da imaginação artístico-poética - da genialidade; opuseram-se às secas realidades racionais do universo físico-matemático - originadas pela visão moderna de natureza e de ciência; opuseram-se ao resoluto raciocínio mecânico e materialista do século XVIII; combateram os valores característicos de seu tempo; buscaram edificar uma nova forma de viver a vida, de pensar e encarar o mundo.

❖ O que foi a *Naturphilosophie* de Schelling?

No seio do movimento romântico emergiu certa visão de ciência e de natureza, a *Naturphilosophie* de Schelling - ou romântica. F. Schelling (1775-1854) - um profundo estudioso das questões filosófico-científicas de seu tempo - fazia parte do círculo romântico de Jena - ao lado de outros românticos, dentre os quais podemos citar A. Schlegel (1767-1845), F. Schlegel (1772-1829), Novalis (F. Hardenberg) (1772-1801) e F. Schleiermacher (1768-1834). Schelling almejara o atingimento da essência dos objetos, de todas as coisas do mundo; tal objetivo movia Schelling.

A *Naturphilosophie* schellinguiana pode ser interpretada como uma reação verdadeiramente poderosa contra determinada forma de se fazer ciência: o mecanicismo. Os *Naturphilosophen* - ou cientistas românticos - buscaram explicações para os fenômenos naturais não mais orientadas pelo quadro teórico mecânico do final do século XVIII e início do século XIX.

Os *Naturphilosophen* defenderam pressupostos científicos e metodológicos distintos daqueles proferidos pelos iluministas. Os cientistas românticos opuseram-se ao modelo científico moderno, segundo os mesmos, demasiadamente restrito - bastante limitado; e isso, pois tal modelo relaciona-se tão somente com as partes componentes do todo natural e não propriamente com o todo. Para os *Naturphilosophen*, dever-se-ia considerar a natureza holisticamente.

Notadamente, à época já era evidente a divisão - fragmentação - do domínio científico em áreas específicas - particulares. Tal divisão causa a falsa impressão de que a própria natureza e os fenômenos são fragmentados - algo, segundo os *Naturphilosophen*, absurdo.

No tocante à física que no período em questão vigorava, havia uma clara separação entre o sujeito-cientista e o objeto-natureza. Os cientistas românticos: escudavam uma relação alternativa entre o sujeito cognoscente e a natureza cognoscível; defendiam uma compreensão da natureza e dos fenômenos condicionada por uma relação de contemplação - mais do que isso, de adoração -, de harmonia, de prazer entre sujeito-homem e objeto-natureza.

Para os românticos, os cientistas modernos deveriam se harmonizar com a natureza, e não - danosamente - tentar controlá-la. De acordo com Schelling, a *Naturphilosophie* opera - ou ao menos pretende operar - de modo distinto: não exige que a natureza responda um questionário imposto; substitui a "metodologia da coação" pela "metodologia da contemplação" - a humanidade deveria cuidar e apreciar a natureza, ao invés de tentar controlá-la. Os românticos buscavam o fortalecimento da ideia de aprender com a natureza.

À ciência faltava um tanto de sensibilidade, acreditavam os cientistas românticos. A ciência romântica enfatizava e estimulava o pensamento imaginativo, criativo. Os *Naturphilosophen* caminhavam concomitantemente por entre a razão analítica e a alma inspirada.

Com a emergência da *Naturphilosophie*, avançara uma visão ambígua, fundamentada tanto pela lógica quanto pela intuição, baseada na busca por uma harmonia entre razão e emoção. Para os românticos e, por conseguinte, para Schelling, a razão, embora útil, é limitada - incapaz de alcançar a essência das coisas; os românticos buscavam ultrapassar os limites de um modelo explicativo que, apesar de produzir conhecimentos aproveitáveis, no que tange à sintese do todo, não se mostrava vantajoso; os *Naturphilosophen* pretendiam ir além dos limites da razão, assim como pretendiam ir além dos limites mecânicos.

Nesse ínterim, tal linguagem - ou ferramenta - tornara-se um viés conveniente, através do qual, poder-se-ia obter objetivamente todo e qualquer conhecimento - supostamente seguro e adequado - relacionado com a natureza - concernente aos fenômenos naturais. Os românticos não aceitavam a ideia de um mundo regular, calculável, geométrico e mecânico.

Como bem sabido, a sociedade européia do século XVII atribuiu à matemática uma grande importância. Hoje, pode parecer trivial que as leis físicas sejam expressas em linguagem matemática, entretanto, a HC nos mostra que nem sempre foi assim. Antes do advento da ciência moderna, também eram sistematicamente elaboradas leis físicas, contudo, não tomava-se a linguagem matemática como critério de cientificidade. Privilegiou-se a matemática como linguagem, visto que trata-se de uma linguagem que não fica à mercê da relatividade das opiniões.

Os cientistas românticos pagaram um alto preço pela adoção de uma forma de pensamento específica e repleta de misticismo, acompanhada por uma linguagem poética - diferente daquela dos cientistas modernos. São bastante comuns considerações depreciativas - demeritórias - voltadas para Schelling; e isso, principalmente no que tange à *Naturphilosophie* schellinguiana. As contribuições da *Naturphilosophie* romântica para o desenvolvimento da ciência - principalmente - novecentista têm sido subvalorizadas - costumam ser ignoradas, desvalorizadas ou mesmo consideradas perniciosas; entretanto, a *Naturphilosophie* se alastrou por diversos países como tendência filosófica - ou visão de ciência específica.

Tal tendência atingiu seu apogeu durante as duas primeiras décadas do século XIX. A influência romântica sobre as pesquisas científicas empreendidas durante o início do século XIX foi muito grande, principalmente no que tange à ideia de força - contudo, não num sentido newtoniano.

Concisamente, assim como o próprio Schelling fizera, podemos chamar a *Naturphilosophie* romântica de "física especulativa". A especulação fora um dos traços mais característicos dos *Naturphilosophen*; e isso, pois Schelling quis ir além: dos produtos da ciência iluminista; da análise quantitativa; da então típica descrição das regularidades naturais expressas pelas leis - matemáticas - científicas.

❖ A metafísica apregoada pelos *Naturphilosophen*

No interior do movimento romântico é explicitamente valorizada a metafísica, à época considerada pelos cientistas modernos digna de repúdio - muito embora fosse inconscientemente ou até conscientemente, entretanto, não assumidademente e inevitavelmente praticada. Algo que na ciência moderna é velado, na ciência romântica é explícito.

Uma característica dos *Naturphilosophen* é a preocupação com questões metafísicas de natureza muito ampla e abstrata. Para os *Naturphilosophen*, o pensamento científico incorpora - ou depende de - considerações *a priori* que podem, e devem, ser elucidadas dentro de contextos metafísicos; para os *Naturphilosophen*, a metafísica não pode ser ignorada pela ciência - e isso, pois com o auxílio da metafísica, supunham, poder-se-ia recuperar a unidade do todo.

Talvez a principal ideia presente na ciência romântica seja a de unidade; e essa ideia relaciona-se com a de totalidade - de todo. No contexto referido, as ideias de unidade e totalidade são interdependentes; tais ideias acompanham a suposição de uma possível síntese - e, como dito anteriormente, os *Naturphilosophen* buscaram incessantemente a promoção dessa síntese - ou reconciliação entre os homens e o todo natural.

De acordo com a *Naturphilosophie* de Schelling: a natureza é um todo unificado, um organismo vivo; cada indivíduo na natureza é uma expressão desse todo. As ideias de unidade e totalidade relacionam-se com a hipótese fundamental da *Naturphilosophie* schellinguiana: aquela, segundo a qual, mundo ideal e real, orgânico e inorgânico, sujeito e objeto, o homem e natureza... em suma, tudo e todos relacionam-se intimamente, visto que são essencialmente idênticos.

Tal identidade essencial possibilita e justifica a unificação apregoada por Schelling. Para Schelling: a natureza não é um amontoado de matéria morta, é algo vivo e bem ativo em essência; o homem, também dinâmico, faz parte da natureza viva; o sujeito faz parte do objeto, encontra-se a ele integrado; sujeito e objeto são inseparáveis.

Com a especulativa *Naturphilosophie* avançara - antes mesmo do advento da pilha de Volta - a discussão acerca de uma possível correlação entre os fenômenos naturais - especificamente, tal movimento estimulou a crença na unidade de tais fenômenos. A *Naturphilosophie* - possivelmente - proveu um plano de fundo filosófico adequado ao estabelecimento da estrutura metafísico-qualitativa do princípio de conservação da energia, influenciando diversos indivíduos envolvidos nesse processo - seja essa influência alegada ou declarada.

Suponhamos um sujeito cognoscente e um objeto cognoscível. Um ato bem sucedido qualquer de conhecer tem como efeito um conhecimento. Pode-se dizer que tal conhecimento consiste numa união profícua entre o sujeito cognoscente e o objeto cognoscível referidos. Em Schelling, tal união somente é possível, pois existe algo que subjaz a ambos.

Os *Naturphilosophen* criam na unidade ou interconexão dos fenômenos naturais; tais indivíduos acreditavam na existência de um princípio unificador do todo, de algo essencial subjacente, inclusive, às diversas manifestações da natureza - ditos processos de conversão disponíveis à época.

Os *Naturphilosophen* procuraram certa grandeza - fundamento de todo saber e de todo ser, de toda ciência - a qual pudesse ser associada ao princípio unificador supracitado. Nesse processo, os *Naturphilosophen* perseguiram algo absolutamente profundo, tipos ideais - além dos limites daquilo que é aparente ou passível de ser sentido -, supostas verdades essenciais e relativas ao todo natural-fenomênico. Tais indivíduos encontraram na ideia de força aquilo que buscavam.

Para Schelling, todos os fenômenos são distintas manifestações de uma mesma força polar que perpassa absolutamente tudo que existe. Em Schelling, força é aquilo que podemos conceber como princípio, no cume das ciências naturais - no limear entre a física e metafísica da natureza corpórea, ou seja, da matéria. De acordo com Schelling, há uma só força, suscetível a infinitas modificações, que reina por toda a natureza. O conceito de energia pode

ser visto como aquele que exprime cientificamente a ideia de uma unificadora e abrangente romântica força da natureza.

❖ O caso de Mayer

É interessante perceber que a formação universitária disponível na Alemanha do período por nós analisado - final do século XVIII e início do século XIX -, pela qual passara J. Mayer (1814-1878) - cronologicamente, o primeiro a calcular um valor para o equivalente mecânico do calor -, pode ter sido determinante para a construção do princípio salientado: rica em estudos e debates filosóficos. A doutrina de Schelling - a *Naturphilosophie* romântica - dominou os centros universitários alemães e muitas universidades vizinhas ao longo do primeiro terço do século XIX.

Num ambiente universitário tão fértil como o mencionado, poder-se-ia optar tanto por vieses baseados na coleta e análise de dados experimentais quanto de pura especulação e intensa formulação de hipóteses não-testáveis - dentre outros. A especulação era encorajada - embora não seja possível dizer que, no tocante ao domínio científico, as especulações excessivas agradassem consensualmente.

Na obra de Mayer, a ideia de conservação da força parece ser anterior a todo o resto, como se as pesquisas seguintes não pudessem acometê-la. A obra de Mayer sobre a conservação da - à época - força evidencia certas ideias similares as dos *Naturphilosophen*; tais ideias relacionadas com tal visão de ciência possivelmente influenciaram Mayer, dentre muitos indivíduos alemães.

De acordo com Mayer: forças são causas; causas são objetos quantitativamente indestrutíveis e qualitativamente conversíveis; tão somente existe uma única força. Como dito previamente, Schelling também falou da existência de uma única força essencial, subjacente aos fenômenos naturais.Podemos dizer, afirmara - aprioristicamente - Mayer, que a força, qualquer que seja sua forma, pode ser transformada numa outra.

Segundo Mayer, podemos derivar todos os fenômenos de uma força primordial a qual tem como efeito a anulação de todas as diferenças existentes e une todas as coisas existentes. Aqui, podemos perceber as ideias de unidade e de todo presentes no discurso de Mayer.

Mayer - assim como os *Naturphilosophen* - não acreditava que o domínio mecânico fosse capaz de lidar convenientemente com a questão da força. De acordo com Mayer, a mecânica anatomiza, disseca os objetos naturais com os quais lida, até que os mesmos correspondam a números e, por isso, afasta-se do mundo natural-fenomênico. A mecânica, segundo Mayer, procede de modo analítico, ou seja, não-sintético. Mayer, assim como

Schelling, opôs-se à análise cartesiana; preferiu, por sua vez, um viés holístico, voltado para a totalidade dos fenômenos naturais.

Mayer pretendia algumas coisas: tornar o conceito de força inteligível; através do conceito referido representar e conectar os fenômenos naturais; interpretar os fenômenos fisiológicos através da ideia de conservação da força. Mayer foi movido por uma convicção: pela ideia de uma natureza unificada - e, por isso, perseguiu a unificação do todo natural-fenomênico. E unificada em decorrência de uma única força

Filosoficamente, a ideia de conservação - de identidade entre causa e efeito - relaciona-se com a de imanência. Num sentido mais corrente, imanente é aquilo que faz parte de ou substancialmente compõe algo - também pode ser aquilo que sustenta essencialmente alguma coisa.

Quanto à invariabilidade da quantidade de força, disse Mayer que a mesma implica num princípio de igualdade entre causas e efeitos: *causa aequat effectum*. Segundo Mayer, uma causa qualquer converte-se integralmente em seu próprio efeito. Tal ideia de imanência é apriorística. Mayer tão somente argumenta que não faz sentido pensarmos em algo surgido do nada, assim como não é plausível acreditarmos que alguma coisa possa transformar-se em nada.

Mayer falou sobre uma força que pode assumir diversas formas. E isso sem que a quantidade da mesma se altere. Tal força deve, ao transformar-se, respeitar uma relação de causa e efeito. Assim, durante uma transformação qualquer, a primeira forma deve ser necessariamente a causa da segunda forma; e se a causa é força, o efeito também é uma força. É interessante notar que Mayer queria tornar evidente uma suposta relação causal entre as forças - entre as manifestações relacionadas com a grandeza à época chamada de força. Tal força, segundo Mayer, é indestrutível e mutável.

Todos os fenômenos - movimento, calor, luz, eletricidade, reações químicas etc. - conhecidos por Mayer e seus contemporâneos, relacionados com os ditos processos de conversão, eram considerados efeitos do mesmo objeto - supostamente capaz de assumir diferentes formas -, a força. Não temos como precisar de que maneira ocorre a conversão referida. Mais do que isso, não sabemos se, de fato, ocorre uma conversão. Logo, a conversão é uma especulação; e a conservação idem.

Imbuído de tais ideias - metafísicas -, Mayer voltou-se para a construção de uma relação de equivalência quantitativa entre domínios fenomênicos distintos: entre movimento e calor ou movimento e eletricidade ou eletricidade e calor etc. Para Mayer, o calor é uma força. Mayer poderia ter dito tão somente que o calor é um movimento, visto que - como Joule e tantos outros - também acreditava nisso, entretanto, buscou algo supostamente mais genérico e concernente à natureza de ambos os fenômenos.

❖ Revolução Industrial

Diversas inovações técnicas ocorreram no período por nós analisado. Avançaram as máquinas de fiar, os teares hidráulicos e, em seguida, os mecânicos; prosperaram também as máquinas a vapor.

Durante a Revolução Industrial, as máquinas a vapor tiveram uma grande relevância. A mineração inglesa voltava-se principalmente para a extração do carvão. Tal matéria-prima servia de combustível tanto industrial quanto doméstico. No contexto referido, primeiramente, a máquina a vapor foi aplicada à mineração. O artefato considerado foi amplamente utilizado para o bombeamento de água das minas que, de outra forma, ficariam inundadas e teriam de ser abandonadas. T. Savery (1650-1715), um engenheiro militar inglês, foi o primeiro construtor de uma máquina a vapor - em 1702 - a qual servira ao propósito de drenar a água empoçada das minas de carvão inglesas.

A máquina de Heron, por exemplo - um dispositivo arcaico, provavelmente construído durante o período helenístico (IV a. C. - II a. C.), contudo, já um tipo de máquina a vapor - apesar de muito mais antiga, não tinha um propósito semelhante. Através de tal máquina, era possível abrir e fechar as portas de um templo. E isso mediante o ato de acender ou apagar o fogo de um altar. A máquina de Savery foi construída em decorrência de uma demanda distinta - especificamente, de um interesse econômico.

As rodas hidráulicas têm um problema óbvio: necessitam de um fluxo razoável de água. Assim, muitos viram na máquina a vapor uma opção mais viável e que supriria as necessidades industriais. As primeiras máquinas a vapor eram pouco eficientes, todavia, muito promissoras; tais máquinas pareciam estar destinadas à produção de uma grande revolução no mundo civilizado. E, de fato, tal revolução ocorreu.

Em 1732, T. Newcomen (1664-1729) também construíra uma máquina a vapor. É interessante notar que, por ofício, Newcomen era ferreiro; não passara por um processo formal de educação em ciências, entretanto, foi capaz de promover uma impressionante inovação técnica. A máquina de Newcomen era superior àquela de Savery; além de mais segura, podia erguer cargas e não somente bombear água.

Antes das máquinas a vapor, eram utilizados animais - principalmente cavalos - para erguer tais cargas. Atrelado à atividade discutida, outro conceito, o de potência - o qual se refere à quantidade de trabalho realizado num determinado intervalo de tempo -, tornou-se muito relevante durante o período da Revolução Industrial. Nada mais natural do que relacionar a potência de uma máquina com a de um cavalo. Assim, surge a unidade de medida “poder de cavalo”, “potência de cavalo” ou “cavalo-vapor” (*horsepower*).

Foi J. Watt (1736-1819), um construtor e reparador de instrumentos muito hábil, quem estabeleceu a referida relação. Watt estudou a máquina de Newcomen e aprimorou-a;

adicionou à referida máquina um condensador externo. Desse modo, além dos elementos comuns à máquina de Newcomen, a máquina de Watt é composta por um condensador o qual assume a função de reservatório “frio”. Costuma-se chamar de caldeira o reservatório “quente”.

Sabido que 1 CV ≈ 735,5 W, adiante, são apresentadas - tanto em cavalo-vapor quanto em watts - algumas potências típicas:

- Homem movendo uma manivela → ≈ 0,06 CV ≈ 44,13 W
- Roda hidráulica → ≈ 3 CV ≈ 2206,5 W
- Máquina a vapor de Savery → ≈ 1 CV ≈ 735,5 W
- Máquina de Watt → ≈ 14 CV ≈ 10297 W
- Usina nuclear Angra 1 → ≈ 640 MW
- Usina Nuclear Angra 2 → ≈ 1350 MW
- Usina hidrelétrica Itaipu → ≈ 14000 MW

Apesar de mais eficiente, à época, a máquina de Watt - de 1778 - era muito avançada, de difícil construção e, por conseguinte, bastante cara. Isso dificultava bastante as vendas da mesma. Por isso, diversos compradores ainda preferiam as máquinas de Newcomen.

O rendimento dos motores automotivos mais modernos é de aproximadamente 40%. A eficiência da máquina de Newcomen é de aproximadamente 0,5%. Algo ínfimo, contudo, útil para um país com abundantes reservas de carvão. Era preciso aprimorar as máquinas; o adiantamento das mesmas requeria torná-las cada vez mais econômicas. Dever-se-ia diminuir tanto os custos de fabricação de tais artefatos quanto aqueles dispêndios relacionados com o próprio funcionamento das máquinas. A máquina a vapor ainda era um dispositivo empírico, fruto de um avanço técnico. Tornara-se imprescindível explicar teoricamente o funcionamento de tais artefatos; por conseguinte, poder-se-ia aprimorá-los ainda mais, ou seja, torná-los mais eficientes. À ciência coube explicá-los.

A construção de uma explicação de fato termodinâmica para o funcionamento de tais máquinas somente surge no século XIX, após o estabelecimento da primeira e da segunda lei da termodinâmica. Assim, das máquinas empíricas pôde-se chegar ao domínio termodinâmico. Tal episódio evidencia que nem sempre a tecnologia é produzida a partir de um conhecimento científico. O sentido oposto pode prevalecer, ou seja, uma tecnologia pode fomentar a produção de um conhecimento científico.

Em meados do século XIX, a grandeza força - dotada de sentido distinto daquele da força newtoniana - relacionada com o princípio de conservação da força foi renomeada; passou a ser chamada de energia. tal mudança foi motivada por razões mais do que linguísticas. A instauração de uma nova linguagem era tão somente sintomática de uma série de profundas mudanças conceituais que resultaram em uma nova visão científica.

Ainda não existia uma ciência estruturada do calor há época de Sadi Carnot (1796-1832); havia uma série de especulações acerca da natureza do calor.

Os franceses J. Fourier (1768-1830), B. Clapeyron (1799-1864) e o próprio Sadi, dentre outros, ocuparam-se da supracitada estruturação - de uma ciência consistente do calor. A efetivação de tal intento requeria encarar os fenômenos então estudados como uma ordem especial de fenômenos; especial e distinta daquela dos efeitos mecânicos. Como dito anteriormente, muitos fenômenos trouxeram problemas para o quadro teórico mecanicista. E isso, pois, através desse, não se conseguia explicar aqueles. O avanço técnico reclamava o desenvolvimento de um quadro conceitual adequado e distinto.

A concretização do intento referido também requeria um tratamento matemático, o estabelecimento de leis as quais se relacionassem com aqueles “fenômenos especiais”. Imbuído do ímpeto necessário, Sadi partira em direção a tal execução; o fez a partir de diversos estudos acerca das máquinas disponíveis em seu tempo; além disso, partira também da ideia, segundo a qual, o fluido calórico conserva-se em quantidade.

Sadi utilizara o conceito de fluido calórico para assentar sua obra. Sadi ainda supôs que, durante a atividade de uma máquina térmica, todo calórico proveniente da “fonte quente” dirige-se e chega à “fonte fria”. Para Sadi, o calórico é carregado pelo vapor até o condensador, atravessa as paredes da caldeira e a água fria do condensador se apodera, então, como resultado final, do calórico”.

Sadi também estabeleceu uma analogia entre o dispositivo das rodas hidráulicas e o das máquinas a vapor: assim como, quando certa quantidade de água cai de uma altura superior à uma inferior, há produção de trabalho, quando certa quantidade de fluido calórico move-se de uma “altura térmica” superior à uma inferior, há produção de trabalho.

Mais precisamente, Sadi referiu-se à produção de “potência motriz” - visto que não supunha uma conversão de calor em trabalho ou mesmo uma distinção entre os conceitos de trabalho e potência. De acordo com Sadi, uma máquina a vapor produz “potência motriz” quando certa quantidade de fluido calórico dirige-se de uma fonte dita “quente” para uma fonte dita “fria”. Visivelmente, a ideia de produção de trabalho não era um problema filosófico para Sadi.

Em 1843, Joule - assim como Mayer já havia feito - estabelecera uma relação de proporcionalidade entre calor e trabalho mecânico. Joule supunha - como Mayer, em 1842 e Colding, também em 1843 - uma conversão total do calor em trabalho mecânico e vice-versa. Para Joule, a destruição da força é aparente; acreditava numa restituição da mesma sob outra forma. É como se na natureza existisse um equilíbrio entre débito e crédito. Através de dados obtidos mediante o estudo de dínamos e motores elétricos, Joule calculou diversos valores para o equivalente mecânico do calor. Tais medidas - correspondentes à 1 cal - oscilam entre 3,2 J e 5,5 J.

Para que seja sustentada uma relação constante entre calor e trabalho, os resultados apresentados - os quais variam em até 2,3 J - mostram-se insatisfatórios. Apesar dos resultados atingidos, é interessante notar que as convicções de Joule - atreladas às ideias de conversão e conservação - permaneceram inabaladas; Joule manteve-se em defesa da indestrutibilidade dos ditos grandes agentes da natureza. E ainda apelou para justificativas teológicas - metafísicas. Joule argumentara que somente “o Criador” poderia destruir os agentes referidos; por conseguinte, dissera que não perderia mais tempo repetindo tais experiências - e isso, pois quando se gasta poder mecânico, obtêm-se sempre um calor exatamente equivalente.

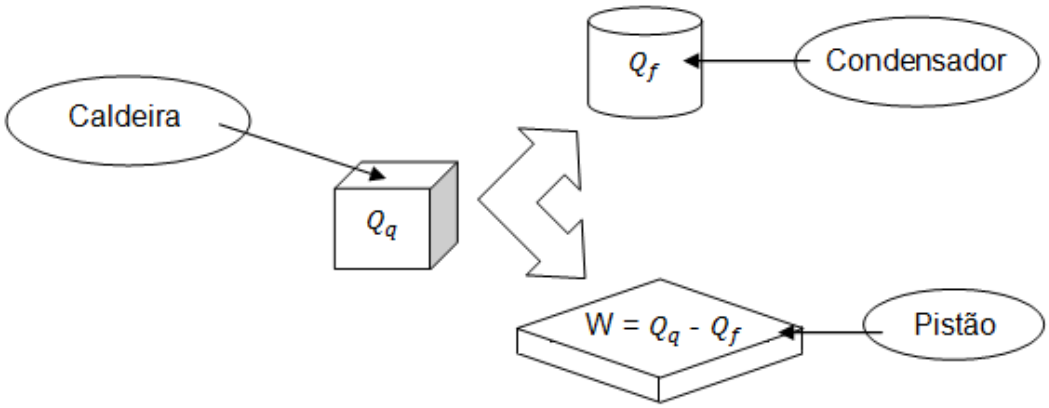
Obviamente, Sadi havia notado o efeito mecânico - bem diante dos olhos de qualquer um que observe uma máquina a vapor em atividade - decorrente do funcionamento de uma máquina térmica. É possível que Sadi tenha sido o primeiro a supor uma transformação de calor em trabalho - ou, mais precisamente, em potência motriz, como sugerem seus manuscritos póstumos, revelados por seu irmão, L. Carnot (1801-1888), em 1878 -, todavia, não o fez em sua obra de 1824, *Réflexions sur la puissance motrice du feu - sur les machines propres a développer cete puissance* (Reflexões sobre a potência motriz do calor). A ideia de conversão não é óbvia; não advém de imediato, em decorrência de uma simples observação. Joule teve motivos particulares para crer - de antemão - numa conversão de calor em trabalho mecânico; e, por isso, mesmo após a obtenção de dados experimentais inconsistentes, manteve sua crença.

Pensemos no seguinte: se numa máquina térmica todo calórico - ou calor - oriundo da “fonte quente” termina necessariamente na “fonte fria”, como disse Sadi, de que maneira harmonizamos tal afirmativa com aquilo que disse Joule acerca da transformação do calor em trabalho mecânico? W. Thomson (1824-1907) foi - possivelmente - o primeiro a notar o problema mencionado. Aparentemente, não há uma harmonia entre as suposições de Sadi e aquelas de Joule. Uma parecia acometer a outra, visto que, durante a atividade de uma máquina térmica, ou o calor transferir-se-ia integralmente da “fonte quente” para a “fonte fria” ou transformar-se-ia integralmente em trabalho.

A dificuldade era ainda mais profunda, visto que Sadi e Joule optaram por interpretações distintas acerca da natureza do calor - embora tal afirmativa seja posta em dúvida pelos manuscritos póstumos de Sadi. Em tais escritos, Sadi afirma que o calor não é outra coisa que a potência motriz, ou o movimento que muda de forma.

Foi R. Clausius (1822-1888) quem resolveu o problema soerguido por Thomson. Clausius conciliou satisfatoriamente aquilo que disse Sadi e aquilo que afirmara Joule. Após analisar as argumentações de ambos, Clausius concluiu que durante o funcionamento de uma máquina térmica, parte do calor oriundo da “fonte quente” é convertida em trabalho mecânico; e o restante do calor segue para a “fonte fria”.

Clausius analisou tanto aquilo que disse Sadi acerca do processo quanto o que havia dito Joule. Daquilo que disse Sadi, Clausius sobressaltou o seguinte: trabalho é constatado durante um processo - ou ciclo - no qual certa quantidade de calórico passa de uma “fonte quente” para uma “fonte fria”; ao longo da atividade, a quantidade de calórico transferida correlaciona-se com a quantidade de trabalho empreendida pela máquina; além disso, não há perda alguma de calórico durante todo o processo. Clausius conciliou tais hipóteses com aquela de Joule, segundo a qual, calor transforma-se em trabalho.



Modelo que explica, grosso modo, o funcionamento de uma máquina térmica

O rendimento de uma máquina é calculado da seguinte forma:

$$R = \frac{\text{Energia útil}}{\text{Energia total}} = \frac{\text{Trabalho realizado pela máquina}}{\text{Energia térmica total advinda da fonde quente}} = \frac{W}{Q_q}$$

Sadi idealizara um ciclo o qual proporcionaria um rendimento máximo a uma máquina térmica. Tal rendimento depende somente das temperaturas das fontes ditas “quente” e “fria”: $R = 1 - \frac{T_f}{T_q}$.

- Certas considerações importantes

❖ **Trabalho e rendimento**

Alguns conceitos científicos surgiram em decorrência das demandas ocasionadas pela Revolução Industrial. Os conceitos de trabalho mecânico e eficiência foram construídos nesse período.

O termo trabalho remete-nos a qualquer tipo de atividade que requeira algum esforço físico ou mental. A ideia de trabalho relaciona-se intimamente com as noções de força e

deslocamento. Pensemos numa fábrica repleta de operários. Enquanto estiver parado, um operário qualquer não estará produzindo nada. Para que haja a produção de algo, torna-se indispensável que os operários orientem suas forças, se movimentem, que se voltem para o processo produtivo. Através dessas forças, os operários atuarão sobre a matéria-prima, de modo que a transformem num produto final, decorrente de todas as etapas do processo referido. Naturalmente, com as máquinas - instrumentos que serão utilizados em prol da produção - ocorre o mesmo.

Operários ou máquinas parados não são úteis. Quanto menos dispendiosos, mais rápidos e eficientes, mais lucro proporcionarão aos donos das fábricas. Tornou-se necessário mensurar o trabalho realizado tanto pelo trabalhador quanto pelas máquinas; foi preciso estabelecer um conceito de eficiência, intimamente relacionado com o de produtividade.

❖ Princípio de conservação da energia

Um princípio físico é sempre um axioma, ou seja, algo assumido como hipótese auto-evidente ou necessariamente verdadeira. Grosso modo, um princípio é algo apriorístico - não são verificáveis ou demonstráveis - e do qual deve-se partir.

Não sabemos o que é energia. A natureza da grandeza nos é desconhecida. É curioso perceber que não há uma definição científica consensual para o termo - energia - mencionado.

O princípio de conservação da energia afirma que num sistema isolado o qual evolui, composto por certo contingente de pontos materias, determinada - ou determinável - quantidade acessível à experimentação deve permanecer constante - a energia total do sistema (E). Tal quantidade equivale numericamente à soma entre certa grandeza - possivelmente calculada (indiretamente) num instante t e de natureza idêntica à da energia - tão somente dependente da posição dos pontos materias - componentes do sistema - analisados (chamada de energia cinética) e outra - também possivelmente aferida (especificamente, calculada indiretamente) no mesmo instante t e de natureza idêntica à da energia - tão somente dependente do quadrado das velocidades desses mesmos pontos analisados (chamada de energia potencial); e isso se considerarmos que a massa dos pontos e a aceleração da gravidade permanecem constantes.

Imaginemos que:

- Energia cinética no instante $t_1 \rightarrow E_{c1}$
- Energia cinética no instante $t_2 \rightarrow E_{c2}$
- Energia cinética no instante $t_n \rightarrow E_{cn}$
- Energia potencial no instante $t_1 \rightarrow E_{P1}$
- Energia potencial no instante $t_2 \rightarrow E_{P2}$

- Energia potencial no instante $t_n \rightarrow E_{Pn}$
- Energia total do sistema num instante t qualquer → E

De acordo com o princípio de conservação da energia, E = E_{c1} + E_{p2} = E_{c2} + E_{p2} = ... = E_{cn} + E_{pn} = constante.

Mas, isso não é tudo. Nessa equação, devem ser consideradas todas as formas de energia presentes no sistema (E_x) - não somente a chamada energia mecânica (E_c + E_p).

Logo, E = E_c + E_p + E_x = constante.

Todavia, como divisaremos "todas as formas de energia" as quais devem ser consideradas como "presentes no sistema"? Não temos, o que nos guiar nesse sentido. O princípio de conservação da energia - ou qualquer outro - é axiomático, ou seja, encontra-se fora do alcance da experiência: instaura que a soma das energias de um sistema é constante, contudo, não se sabe nem ao menos o que é energia. Assim, como falar dos possíveis tipos de algo desconhecido - que não se sabe nem ao certo o que é - supostamente presentes em um sistema? Como distinguir a força da energia? Como falar de um tipo qualquer de energia? Por que acreditar no princípio referido? Tais perguntas são provocativas.

Embora não haja uma definição consensual para o termo energia, existem certas características relacionadas com a grandeza em questão as quais foram impostas à mesma. O conceito de energia mescla de maneira harmônica quatro ideias: de transformação - ou conversão; de conservação; de transferência; de degradação.

❖ Impossibilidade de um movimento perpétuo

Caso um ciclo fosse totalmente reversível, tornar-se-ia possível retomar o primeiro passo do mesmo e, assim, obter-se-ia um movimento perpétuo. A suposta identidade entre causa e efeito - apregoada por Mayer, por exemplo - reclama uma equivalência quantitativa; e isso no que concerne à quaisquer que sejam os pares de fenômenos envolvidos em um processo dito de conversão. Tal equivalência conduz à ideia de uma possível recorrência cíclica - à hipótese de um movimento perpétuo. Ao longo da história do pensamento científico, muito se discutiu sobre a possibilidade - ou impossibilidade - de um movimento desse tipo.

Apesar de controversa, aparentemente, a impossibilidade do movimento referido tornou-se uma hipótese mais plausível. Tendo em vista o atingimento de tal movimento, diversos dispositivos falharam; tantas máquinas foram construídas em vão, sem êxito algum. Após muitas controvérsias, em 1775, a *Académie Royale des Sciences* (Academia Real de Ciências) francesa anunciou que tal problemática havia sido resolvida - com desfecho favorável à impossibilidade; assim, foi decretada a impossibilidade de um movimento perpétuo.

Imaginemos o seguinte: uma máquina opera de modo que calor seja convertido em trabalho e uma segunda máquina opera de modo que trabalho seja transformado em calor. Se acoplarmos tais máquinas, podemos utilizar o trabalho decorrente da atividade da primeira para que a segunda seja posta em atividade.

Caso não supuséssemos a conversão de tão somente parte do calor oriundo da "fonte quente" em trabalho - ou seja, caso supuséssemos uma conversão total do calor advindo da "fonte quente" em trabalho - "abriríamos uma larga porta" para a ideia de movimento perpétuo.

Ainda no que tange às duas máquinas térmicas imaginadas, se tais máquinas operam acopladas, acerca do funcionamento da máquina 1, podemos estabelecer o seguinte:

- Quantidade de calor fornecida pela "fonte quente" → Q_q
- Quantidade de calor recebida pela "fonte fria" → Q_f
- Quantidade de calor convertida em trabalho mecânico → Q_q - Q_f

Tal trabalho mecânico é - supostamente - utilizado para que a máquina 2 seja posta em atividade. Assim, na máquina 2, por sua vez, o trabalho referido inicia um outro processo, acerca do qual podemos afirmar o seguinte:

- Trabalho que será convertido em calor → Q_q - Q_f
- Quantidade de calor oriunda da "fonte fria" → $Q_f{'}$
- Quantidade de calor recebida pela "fonte quente" → (Q_q - Q_f) + $Q_f{'}$ = $Q_q{'}$ ∴ $Q_q{'}$ = $Q_q + Q_f{'} - Q_f$

Visto que fora rechaçada a possibilidade de um movimento perpétuo: $Q_f{'} - Q_f > 0$. E isso, pois $Q_q{'} < Q_q$.

Caso $Q_f{'} - Q_f \leq 0$, então: $Q_q{'} \geq Q_q$; logo, teríamos um movimento perpétuo. Uma total conversão de calor em trabalho requereria um sistema no qual não houvesse rejeição alguma, ou seja, fluxo algum de calor para a "fonte fria".

Conclusões análogas conduziram Clausius a afirmar que o fluxo natural do calor é dos corpos quentes para os frios. A atividade da máquina 2 não é natural. Acerca da irreversibilidade dos processos anteriormente descritos, disse Thomson que qualquer tentativa de restituição ou reversibilidade plena é impossível.

A hipótese, segundo a qual, em todo processo dito de transformação de um tipo de energia em outro, ao menos parte dessa energia é dissipada sob a forma de calor - se degrada -, fora tomada como plausível; e isso, pois acomoda tão bem as ideias de conservação e conversão quanto a de impossibilidade de um movimento perpétuo. O calor é uma forma de energia menos elástica ou reversível do que as outras; e esse é o - suposto - motivo da degradação da energia. A energia total do sistema perde capacidade ou qualidade

num processo como aquele mencionado no início desse parágrafo - de diminuição da energia útil de um sistema.

❖ 1ª lei da termodinâmica e 2 ª lei da termodinâmica

Chama-se de 1ª lei da termodinâmica a consideração para os sistemas termodinâmicos do princípio de conservação da energia. A equação matemática representativa da referida lei é "$\Delta U = Q - W$", onde:

- Energia interna → U
- Para um gás ideal monoatômico → $U = \frac{3}{2} nRT$
- Número de mols do gás → n
- Constante universal dos gases ideais → $R \approx 8{,}31 \frac{J}{mol.K}$
- Temperatura do gás em Kelvin → T
- Variação da energia interna → $\Delta U = U_f - U_i = \Delta U = \frac{3}{2} nR \Delta T = \frac{3}{2} nR (T_f - T_i)$.
- Quantidade de calor - ou energia térmica - cedido ou recebido pelo corpo ou sistema → Q
- Quantidade de calor latente → $Q_L = m . L$
- Quantidade de calor latente → $Q_s = m . c . \Delta\theta = m . c . (\theta_f - \theta_i)$
- Massa → m
- Calor latente → L
- Calor específico → c
- Temperatura em celsius → θ
- Trabalho realizado pelo ou sobre o corpo ou sistema → W

A 2ª lei da termodinâmica pode ser enunciada de diversas maneiras:

1. Não há máquina térmica real na qual toda a energia térmica em trânsito seja integralmente convertida em energia mecânica.
2. A energia térmica não transita espontaneamente rumo à dita "fonte quente", ou seja, à temperatura mais elevada.
3. Em qualquer sistema físico, a tendência natural é o aumento da desordem ou entropia; o restabelecimento da ordem só é possível mediante o dispêndio de energia.

É importante salientar que, numa situação ideal, a energia mecânica total de um sistema pode ser convertida em energia térmica; porém, o contrário, ou seja, a conversão de energia térmica em energia mecânica, em processos de trocas de calor, só ocorre parcialmente.

Supomos que no decorrer dos ciclos empreendidos por uma máquina térmica, por exemplo, ocorre um processo de transferência, conversão e conservação de energia. Ainda

acerca do referido processo, consideramos a impossibilidade de um movimento perpétuo. Até então não fomos capazes de construir máquinas de movimento perpétuo, algo que compromete a definição de energia enquanto uma capacidade ou habilidade de realizar trabalho.

À energia associamos certa característica: trata-se de algo cuja quantidade se conserva; a energia é uma quantidade conservada em todo e qualquer processo. Se a capacidade de realizar trabalho de um sistema qualquer fosse conservada, poderíamos considerar como algo inútil a criação de usinas nucleares. Para que um elevador operasse precisaríamos erguê-lo uma só vez. Ao descer, a capacidade de realizar trabalho iria converter-se num outro tipo de energia; e poderíamos armazená-la de alguma maneira - numa bateria, por exemplo. Se inalterada - se conservada - tal habilidade de realizar trabalho poderia ser utilizada para elevar novamente o elevador - e assim sucessivamente, num processo *ad eternum*. Não haveria mais o amplamente discutido problema da diminuição das fontes energéticas.

Grosso modo, tanto a energia quanto a entropia relacionam-se com a possibilidade de ocorrência de um fenômeno. A quantidade de energia útil inevitavelmente declina ao longo das transformações de energia efetivadas, acredita-se. E isso se relaciona com aquilo que chamamos de entropia.

Qualquer fenômeno real dito de transformação de um tipo de energia em outro ocasiona um processo chamado calor. O termo entropia foi cunhado por Clausius, em 1865. Ao falarmos de entropia nos referimos à grandeza que mensura o grau de irreversibilidade ou desordem de um sistema. E isso implica que, no que tange a um sistema isolado, embora toda a energia de movimento ou mecânica - do mesmo - possa ser convertida em energia térmica, o processo recíproco não é possível.

❖ A *Naturphilosophie* schellinguiana em prol da transversalidade

Os temas transversais - os quais podem ser abordados a qualquer momento - enriquecem as aulas com discussões valorosas. Tais temas - os quais abarcam assuntos presentes na vida cotidiana dos educandos - correspondem a questões importantes, urgentes e presentes. A *Naturphilosophie* schellinguiana trás consigo a defesa de alguns ideais: uma completa reformulação da relação então estabelecida entre homens e natureza; um compromisso ético e político daqueles para com essa.

A *Naturphilosophie* de Schelling "*pode ajudar-nos neste momento histórico de extrema alienação diante da natureza, ilustrada principalmente pela crise ecológica (...), a reconstruirmos nossa relação com a natureza, nossa intuição de natureza, nossa atuação na*

natureza, e, por fim, nossa autoconsciência de que somos seres da e na natureza" (GONÇALVES, 2005, p.71).

Quando defendemos a preservação da Floresta Amazônica, ou a das baleias do Pacífico, o fazemos por amor à natureza?; afinal, como é possível construir um sentimento de proximidade entre o homem e a natureza? Como os homens poderiam amar algo que desconhecem - que lhes parece radicalmente distante?

O estudo de Schelling é importante à medida que o tema da natureza volta a ser não apenas interessante, mas dramaticamente urgente; certos estudos mostram a proximidade da *Naturphilosophie* de Schelling com o espírito do pensamento ecológico atual. Podemos dizer que tal visão de ciência e de natureza é atual e "*poderá servir de inspiração para todos aqueles que acreditam não simplesmente em um progresso cego da ciência fundado no domínio egoísta do ser humano sobre o meio natural, mas antes na possibilidade ainda presente de encontrarmos um sentido menos predador de nossa espécie em meio à complexa cadeia de processos da natureza*" (GONÇALVES, 2010, p.8).

Através do estudo da ciência romântica e da ênfase na ideia de identidade essencial - apregoada por Schelling -, esperamos que os estudantes sintam-se parte componente e indissociável do todo natural; que tais indivíduos se vinculem emocionalmente à natureza que os cerca, desenvolvam uma consciência ecológica e, por conseguinte, que valorizem mais a natureza. Que os estudantes pensem, por exemplo, no seguinte: se a natureza forma comigo uma unidade, ao respeitá-la, automaticamente respeito-me. E na frase anterior o verbo respeitar poderia dar lugar a qualquer outro verbo. Ainda sob o patrocínio da noção de unidade, um fenômeno, por exemplo, encontra-se intimamente atrelado a um indivíduo qualquer. Fenômenos e homens compõem um só todo. Logo, ao estudar os fenômenos, os educandos estudam algo com o qual se relacionam.

Também podemos pensar em outros processos de conscientização motivados por certas ideias de Schelling. A ideia de identidade essencial, por exemplo, segundo a qual, - tudo e - todos são idênticos em última instância. Através de tal ideia, poder-se-ia buscar e explorar discussões acerca de gênero e étnico-raciais, por exemplo. Não se deve olvidar a equidade de gênero e étnico-racial. Assim, combater-se-ia o preconceito, voltar-se-ia para o ideal de um ensino o qual contempla, dentre tantas coisas, temas transversais, polêmicos e de suma relevância nos dias atuais; através do estudo da *Naturphilosophie*, pode-se concretizar - visto que possivelmente abarca questões ambientais, de gênero e étnico-raciais - tal ideal de educação. Como visto em linhas anteriores, o tema transversal meio ambiente também pode ser contemplado através da discussão da *Naturphilosophie* de Schelling.

- No que concerne à implementação do módulo, algumas sugestões

1. Sugerimos que o módulo seja implementado no final do 1º ano do ensino médio ou início do 2º.

2. O módulo deve ser contemplado após a discussão dos conceitos de força, trabalho e calor.

3. O professor deve problematizar o construto energia; pode fazê-lo através da seguinte questão: O que é energia? Tal pergunta - ontológica - pode gerar boas discussões acerca do conceito unificador energia; e isso, visto que: não há uma definição consensual para o termo em questão; incita reflexões importantes sobre a natureza dos construtos científicos - e, por conseguinte, acerca da NdC.

4. O professor deve diferenciar os conceitos de força e energia. Deve fazê-lo apresentando aos alunos o conceito formal de energia - baseado nas ideias de conservação, conversão, transferência e degradação. Aqui, o professor pode salientar que durante um período considerável o termo força - persistiu em “estado de fluxo” - foi utilizado para descrever aquilo que já há algum tempo - desde a segunda metade do século XIX - entende-se como energia. Tal ambiguidade perdurou por um bom tempo. Aparentemente, a atribuição de uma acepção estritamente newtoniana ao termo força não era digna de consenso.

5. O professor deve discutir a importância - histórica e hodierna - da grandeza energia.

6. Deve-se a todo o momento incentivar uma postura não apassivada por parte dos estudantes;

7. O professor pode - e deve -, inclusive, solicitar aos estudantes que façam uma pesquisa prévia acerca da importância da energia nos dias de hoje. Assim, poder-se-á, em seguida, haver uma discussão ampla sobre tal importância, baseada nas pesquisas dos alunos. Dessa maneira, contemplar-se-á o ideal de um ensino dialógico, que discute os conteúdos ao invés de tão somente expô-los.

8. O professor pode - e deve - enfatizar a questão da crise energética tão em voga atualmente.

9. O professor deve também buscar acometer o senso comum - as concepções, em geral, pouco refletidas ou mesmo irrefletidas, nutridas pelos educandos.

10. O professor deve salientar em seu discurso o contexto no qual emergira a grandeza energia - deve, portanto, apontar a relevância do Iluminismo, da Revolução Francesa e do Romantismo durante tal período histórico (final do século XVIII e início do século XIX). O professor deve, em especial, sobressaltar a importância da *Naturphilosophie* romântica no período mencionado.

11. O professor deve enfatizar a controvérsia “Ciência Moderna x Ciência Romântica”.

12. O professor deve discutir explicitamente certos aspectos relativos à NdC com os educandos, por exemplo: a importância da metafísica para o fazer científico. O professor deve discutir a metafísica - apregoada pelos *Naturphilosophen* - subjacente ao conceito de energia e ao princípio de conservação da energia. Aqui, o professor deve enfatizar as ideias de conservação da energia e (inter)conversão entre tipos de energia - bases sobre as quais encontra-se assentado o conceito de energia; tal professor deve discutir o que é um princípio com os alunos.

13. O professor deve salientar alguns tipos de energia - os quais relacionam-se com fenômenos naturais específicos.

14. O professor deve problematizar a grandeza energia. É imprescindível que os alunos percebam os problemas filosóficos por trás do construto em questão.

15. O professor deve discutir a importância da Revolução Industrial para a emergência dos conceitos de trabalho e eficiência - ou rendimento. Além disso, o professor deve ressaltar a importância das máquinas nesse ínterim.

16. O professor deve discutir o formalismo matemático atrelado ao princípio de conservação da energia, contudo, não sem que antes discuta o princípio referido qualitativamente.

17. O professor deve conversar com os alunos sobre o cálculo do equivalente mecânico do calor. Pode-se dizer que o último “nó para amarrar” o princípio de conservação da energia foi a quantificação de um fator de - suposta - interconversão entre calor e trabalho mecânico, o chamado equivalente mecânico do calor. Antes ainda do cálculo de um equivalente mecânico do calor, o avanço técnico - a pilha de Volta (artefato construído por volta de 1800), por exemplo - havia possibilitado a observação de novos fenômenos - elétricos, magnéticos e químicos - aparentemente interrelacionados. Explicar alguns dos fenômenos referidos através do quadro teórico mecanicista tornou-se um problema. Deve-se, portanto, salientar o caráter dialético do fazer científico - explícito na crítica romântica ao mecanicismo.

18. O professor deve discutir a possível influência do meio universitário alemão sobre Mayer e Helmholtz - ambos alemães. Tal influência é inevitável, embora não saibamos em que medida ocorrera.

- Leitura adicional

- AMORA, K.; O lugar da “Introdução a um projeto de um sistema da filosofia da natureza” na filosofia da natureza de Schelling. Princípios, 17(28), pp.237-256, 2010.
- BARBOZA, J. Polaridade, alma cósmica, graus de desenvolvimento da natureza: o nascimento da Naturphilosophie de Schelling. Discurso, 32, 2001.
- BRAGA, M.; GUERRA, A.; FREITAS, J.; REIS, J. Newton e o triunfo do mecanicismo. São Paulo: Atual, 1999.
- BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. Breve história da ciência moderna, volume 3: das luzes ao sonho do doutor Frankenstein. Rio de Janeiro: Zahar, 2011.
- BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. Breve história da ciência moderna, volume 4: A belle-époque da ciência. Rio de Janeiro: Zahar, 2011.
- GONÇALVES, M.C.F. A fundamentação do problema da liberdade sobre os princípios da Filosofia da Natureza de Schelling. Analytica, 15(1), pp.91-108, 2011.
- GUINSBURG, J. (Org.) O Romantismo. São Paulo: Perspectiva, 2008.
- MAGALHÃES, G. Ciências e filosofia da natureza no século XIX: eletromagnetismo, evolução e idéias. In: X Seminário Nacional de História da Ciência e Tecnologia, Belo Horizonte - MG, 2005.
- SCHELLING, F.W.J. Ideias para uma filosofia da natureza. Trad. MORUJÃO, C. Lisboa: Imprensa Nacional-Casa da Moeda, 2001.
- SCHELLING, F.W.J. Obras escolhidas: Friedrich von Schelling. Seleção, tradução e notas de Rubens Rodrigues Torres Filho. São Paulo: Abril Cultural, 1979.