

Redução, Emergência e a natureza da Ciência: implicações para a formação de professores.

Reduction, Emergency and the nature of Science: implications for teacher education.

Fabio Garcia Gatti 1

USP

fabiogatti@usp.br

Sandra Regina Teodoro Gatti 2

UNESP

sandragatti@fc.unesp.br

Resumo

A palavra redução, do latim *reducere*, (etimologicamente “re” significa para trás outra vez, enquanto “ducere” pode ser entendida como guiar ou chefiar) pode ganhar muitas interpretações nos dias de hoje. Entretanto, a maioria destas apontará no sentido de algo que se aproxime a uma diminuição, subtração ou quase a uma depreciação ingênua de algum assunto. Queremos neste artigo contribuir para uma visão um pouco mais detalhada do termo “redução”, bem como de sua antítese, a “emergência”. Trata-se de uma pesquisa qualitativa em andamento, cujo principal objetivo é aproximar as reflexões sobre as contribuições da História e Filosofia da Ciência (HFC) do ensino e da formação de professores. As discussões aqui apresentadas compõem um pano de fundo teórico para a elaboração e aplicação de um curso de formação continuada de professores.

Palavras chave: redução, emergência, Filosofia da Ciência, História da Ciência, formação de professores.

Abstract

The word reduction, from Latin *reducere*, (etymologically “re” means back again, while “ducere” can be understood as to guide or to head up) can get many interpretations today. However, most of them will point towards anything approaching a decrease, subtraction or almost a naive depreciation of some subject. In this article, we want to contribute to a slightly more detailed view of the term “reduction” as well as its antithesis, the “emergency”. It is a qualitative research in progress, whose main objective is to approximate the reflections on the contributions of History and Philosophy of Science (HPS) of teaching and teacher education. The discussions presented here make up a theoretical background for the development and implementation of a course of continuing education for teachers.

Key words: reduction, emergency, Philosophy of Science, History of Science, teacher education.

Introdução

O “projeto” de explicar o macro através do micro teve seus primeiros passos dados pelos atomistas, Demócrito e Leucipo, por volta do século V a.c., com a tese de que a matéria deveria ser constituída por um elemento básico, algum ente indivisível. Praticamente na mesma época, mas pertencendo a outra escola, Empédocles postula a existência de quatro elementos essenciais e irreduzíveis: terra, fogo, ar e água. Dois mil anos depois Isaac Newton também tentava explicar a luz como sendo formada por pequenas partículas, o que viria a ser conhecido como a hipótese da natureza corpuscular da luz. Já no século XIX, a termodinâmica começa a ter algumas de suas variáveis macroscópicas, como pressão e temperatura exprimidas através do movimento molecular.

No início século XX, detectamos elétrons e prótons (o nêutron fora detectado somente em 1932 por Chadwick); e finalmente por volta dos anos 20 deste mesmo século, com o desenvolvimento da mecânica quântica e a física de altas energias, foram elaborados grandes experimentos, utilizando os chamados aceleradores de partículas, cujas dimensões foram sendo paulatinamente aumentadas. Novas e interessantes subpartículas começam a preencher o chamado Modelo Padrão, cada vez mais aumentávamos a energia para podermos diminuir a escala da matéria. Até chegarmos ao estágio atual, no qual uma busca pela chamada partícula de Deus (Bóson de Higgs) chegou ao fim no ano de 2012, com a ajuda do super acelerador de partículas, conhecido como LHC.

Nossa intenção com a breve síntese histórica acima é ressaltar a necessidade humana, em compreender onticamente a estrutura da matéria. Desconstruir a matéria, pode dar um certo “ar” de superioridade a ciência que está a frente disto, neste caso a física de altas energias. (Gatti e Pessoa, 2012). Mas será que este “desmonte” da matéria possa garantir nosso total conhecimento sobre todas as outras interações que estão em escalas maiores? Existe um a teoria Final? Sou reducionista quando fundamento minhas ideias para um artigo, em elementos mais basais? A seguir tentaremos trabalhar em direção a estas questões.

Para começarmos, podemos lançar mão de um experimento mental, imaginemos que exista um primo do demônio de Laplace, um “Ser” extremamente inteligente, hábil e conhecedor de todas as leis do universo. De posse de uma pinça nanométrica, seu objetivo é a construção de um *Aedes aegypti*, mais conhecido como mosquito da dengue. Este ser, possuidor de uma sabedoria infinita iria juntar átomos, criando moléculas, que por sua interação formariam uma cadeia de proteínas, passando a tecidos, órgãos e finalmente chegando a criação do inseto.

Uma vez acabado, caso o *Aedes* resolva alçar voo, (e neste exato momento um garoto esteja passando próximo,) poderia o “Ser” com sua infinita sabedoria, prever em qual dos braços deste menino o mosquito irá escolher para picar? Caso sua resposta seja positiva, você faz parte do grupo dos reducionistas, pois acredita que da posse da totalidade de elementos basais, podemos determinar os acontecimentos sejam eles na escala espacial ou temporal.

Entretanto se sua opção for dizer que mesmo este demônio, dotado de uma magnífica sapiência e capacidade de processamento de dados, não poderia concluir em qual dos braços o inseto recém-construído iria optar para picar, seu grupo é o dos emergentes.

Reduzindo

Logicamente a opção por um grupo ou outro é de certa forma simplista, pois sua resposta poderia ficar mais alinhada com um reducionista ôntico ao invés de um reducionista epistemológico. Adotaremos aqui três tipificações de reducionismo que parecem suficientes

para expor a ideia geral da tese aqui apresentada (GATTI e PESSOA 2012, p.95), todos discutidos em nosso grupo de estudo REDUX, orientado pelo professor Osvaldo Frota Pessoa Jr., o qual era composto de pessoas de várias áreas do conhecimento, como Física, Química, Educação Física, Geologia e Filosofia:

Reduccionismo Ôntico: Na realidade, independentemente de nossas teorias e observações, um corpo macroscópico é um monte de moléculas organizadas, assim um inseto é constituído de um certo número de moléculas disponibilizadas (organizadas) de certa maneira, e nada mais.

Reduccionismo Metodológico: Buscar reduzir um domínio macroscópico a seus elementos microscópicos é um bom método para a pesquisa científica. Decompor um sistema complexo seria uma maneira “rica” de analisá-lo. Não há necessariamente um comprometimento com o reduccionismo ôntico.

Reduccionismo Teórico: Redução de uma teoria a outra. Podendo conter a redução de uma área a outra, num caso limite. Por exemplo, as leis biológicas que regem um inseto seriam deriváveis de leis físico-químicas de suas partes.

Um físico de matéria condensada poderia justificar perfeitamente o Efeito Hall clássico, sem a necessidade de utilizar-se da mecânica quântica, não aceitando assim uma suposta redução metodológica. No entanto ele será reducionista ôntico, caso aceite que aquele pedaço de material seja constituído de subpartículas com certa organização (que por sua vez obedecem a dinâmica da MQ), as quais não afetam a escala dos fenômenos comuns ao qual está tratando (matéria condensada).

Já com relação à redução teórica, envolvemos um contexto no qual ocorre uma hierarquização de áreas. Neste caso, a ciência responsável por tratar dos elementos basais da natureza poderia adquirir um caráter privilegiado em relação às demais. Este conceito está muito presente na argumentação dos físicos que trabalham com a dinâmica subatômica. Podemos usar como um exemplo a seguinte frase de Paul Dirac, um dos pais da mecânica quântica, dita em 1929:

As leis físicas subjacentes necessárias para a teoria matemática de uma grande parte da física e de toda a química estão, portanto conhecidas completamente, e a dificuldade é apenas que a aplicação exata dessas leis levam a equações complicadas demais para de serem solúveis. (DIRAC, 1929, p.714).

Dirac faz uso de um conceito ao qual chamamos de reduccionismo teórico, que por sua vez carrega o metodológico junto. Neste caso, toda a área da química, seria reduzida à física.

Um dos maiores defensores da prática reducionista na ciência, é o físico Stephen Weinberg, autor da célebre obra de divulgação científica “Dreams of Final Theory” (Sonhos de uma Teoria Final). Esta obra é totalmente dedicada a defesa de que as leis fundamentais da natureza, caso sejam descobertas, estariam inseridas na física de altas energias. Para Weinberg:

Reduccionismo não é uma prescrição geral para o progresso da ciência, mas uma afirmação da ordem da natureza, que penso ser correta. (WEINBERG, 1994, p.41).

É novamente Weinberg que demonstra um viés reducionista quando da tomada de decisão por escolher uma ou outra explicação. Seu exemplo é o de uma pessoa que possui escrófula, (uma doença associada a inflamação dos gânglios,) que curou-se. No entanto este paciente passou por dois tipos de terapia, a primeira é baseada no princípio explicativo do toque de um rei, a segunda associada ao caldo de galinha.

Para Weinberg, não há qualquer dúvida de que uma pessoa razoavelmente culta iria optar pela explicação do caldo de galinha, pois associado a ele, reivindicaria os princípios ativos de alguma molécula ali presente, resultando em efeitos claros a cura da doença. Quanto ao toque de um rei, isso estaria mais associado a credices, ou situações mágicas, que passariam longe do mesmo indivíduo razoável citado a pouco.

Emergindo

A antítese da redução é descrita pelo termo “emergência”, e assim como a redução, será tipificada neste artigo. Nos anos 70 do século passado, outro físico, Phillip Anderson argumenta no artigo *More is diferente*, que dependendo da escala, as ciências contariam com propriedades autônomas, que apresentam suas próprias fundamentações, sem a necessidade de as levarmos ao interior da matéria a fim de as justificarmos.

A tabela abaixo exemplifica a Hierarquização da Estrutura da Ciência, onde segundo o físico, Philip Anderson, as entidades elementares da ciência da coluna X, obedecem as leis da ciência Y. (Anderson, 1972, p. 393).

X	Y
Física da Matéria Condensada ou de Muitos Corpos.	Física das Partículas elementares.
Química.	Física de muitos corpos.
Biologia molecular.	Química.
Biologia Celular.	Biologia molecular.
...	...

Tabela 1: Entidades elementares da Ciência X, dependentes da estrutura da ciência Y.

Jaegwon Kim (1999), filósofo norte americano descreve cinco tipificações para a emergência, entretanto vamos sintetiza-las em dois grandes grupos:

- Emergência Fraca – Todas as propriedades de um entidade de nível superior surgiriam (ou “superviriam”) das propriedades e relações que caracterizam suas partes constituintes. Algumas dessas propriedades seriam “emergentes”, outras apenas “resultantes”.
- Emergência Forte – As propriedades emergentes não poderiam ser explicadas nem reduzidas em termos das condições basais, ao contrário das propriedades resultantes. Propriedades emergentes teriam poderes causais próprios, que seriam irreduzíveis às propriedades causais dos constituintes basais.

Voltando ao nosso demônio, poderíamos supor que caso os elementos mais complexos sigam a lógica da emergência fraca, então não haveria nenhum problema quanto a previsibilidade do comportamento do mosquito, pois aqui, nosso demônio contaria com um altíssimo poder de processamento podendo prever os elementos e propriedades que emergiriam a partir dos seus fragmentos.

Agora caso nosso ente demoníaco se depare com um sistema que obedeça a doutrina da emergência forte, então o comportamento do nosso Aedes jamais seria possível de prever, à partir de leis mais fundamentais da natureza. Não por falta de técnicas numéricas ou qualquer outra coisa parecida, mas pelo fato da independência das leis e propriedades de escala superiores serem intrínsecas a natureza da ciência.

Implicações para a formação de professores

Enfim, a discussão levantada a pouco poderia contribuir na direção da melhoria do ensino de ciências? Em que medida tais reflexões de cunho filosófico chegam à formação de professores?

Apesar do consenso presente na literatura sobre a importância de uma aproximação de aspectos da História e Filosofia da Ciência ao ensino (MATTHEWS, 1995; MATTHEWS, 2014; ALLCHIN, 1995, CARVALHO e VANNUCCHI, 2000, PEDUZZI, 2001, GATTI, SILVA e NARDI, 2010; HÖTTECKE e CELESTINO, 2011 ADURIZ-BRAVO, 2012, entre outros, das indicações presentes nos documentos oficiais, tais como os PCNs (BRASIL, 2000) e PCN+ (BRASIL, 2002), uma efetiva aplicação de tais reflexões no ensino e na formação de professores ainda permanece, na maior parte dos casos, no campo das ideias.

Poucos tem sido os trabalhos que envolvem alguma intervenção didática. Ao analisarem os trabalhos publicados em importantes revistas científicas da área, Teixeira et. al. (2012) concluem que 87% dos trabalhos publicados sobre essa temática não correspondem a pesquisas de natureza empírica. Resultados semelhantes foram encontrados no âmbito internacional (TEIXEIRA et. al.; 2009).

Alguns dos principais obstáculos envolveriam, segundo Höttecke e Celestino (2011):

1. A cultura do ensino de Física, incluindo a compreensão epistemológica dos professores e suas implicações para o ensino. Nesse sentido, a Física acaba sendo ensinada como uma coleção de fatos imutáveis, em um processo de transmissão que não dá margem à reflexão;
2. Atitudes, crenças e habilidades dos professores, considerando suas concepções sobre os processos de ensino e aprendizagem, sobre as possíveis contribuições de aspectos da HFC no ensino e como tais concepções influenciam a prática em sala de aula.
3. A questão do currículo, que em muitos casos ignora a importância de tais aspectos no que diz respeito a aprender ciência e aprender sobre a ciência e
4. O livro didático que ainda aparece como uma das principais fontes de consulta de professores, situação que se torna ainda mais complexa se considerarmos que muitos docentes não tiveram tais reflexões durante a formação.

Mas como aproximar aspectos de HFC ao ensino e à formação de professores? Com quais objetivos?

Nessa pesquisa, a partir das reflexões acima, temos desenvolvido um curso de formação continuada de professores buscando discutir a natureza da ciência por intermédio dos temas redução e emergência no contexto da Termodinâmica e Mecânica Estatística. Algumas das principais questões que vem sendo debatidas referem-se à problemática de se determinar quais critérios foram utilizados para tentar responder a questão se a Termodinâmica foi ou não

¹*Ciência & Educação (C&E), Investigações em Ensino de Ciências (IENCI), Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF), Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF), Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC) e Enseñanza de las Ciencias (Enz).*

reduzida à Mecânica Estatística.

Concordamos com Martins (2007) de que “o estudo cuidadoso da História da Ciência pode ajudar bastante a entender a natureza da Ciência”, especialmente em relação à algumas importantes componentes da visão contemporânea, tais como:

1. Uma observação significativa não é possível sem uma expectativa pré-existente.
2. A natureza não fornece evidências simples o suficiente que permitam interpretações sem ambigüidade.
3. Teorias científicas não são induções, mas sim hipóteses que vão necessariamente além das observações.
4. Teorias científicas não podem ser provadas.
5. O conhecimento científico não é estático e convergente, mas sim mutável e sem fim.
6. Uma formação prévia dentro de um mesmo paradigma é uma componente essencial para que haja acordo entre os cientistas.
7. O pensamento científico não se constrói sem influência de fatores sociais, morais, espirituais e culturais.
8. Os cientistas não constroem deduções incontestáveis, mas sim julgamentos complexos e especializados.
9. O desacordo é sempre possível. (PUMFREY, 1991, apud MARTINS, 2007, p. 55).

Considerações Finais

Apesar das implicações descritas neste artigo, podemos perceber que, na contramão das indicações, muitas pesquisas têm mostrado as concepções de senso comum sobre a ciência sustentadas por estudantes e professores e que sobrevivem ao ensino formal (LEDERMAN, 1992, CANAVARRO, 2000, DENG et. al., 2011, entre outros).

Tais resultados demonstram que não temos conseguido ensinar a estrutura conceitual da ciência e seus aspectos epistemológicos como parte da educação científica (MATTHEWS 1998A; MCCOMAS et al., 1998).

Isto reforça a necessidade da inclusão de cursos apropriados de HFC na formação de professores, não apenas na formação inicial, já que isto não garante a inclusão dos temas em sua prática.

É preciso também investir na formação continuada e em trabalhos de cunho colaborativo entre a universidade e as escolas da educação básica como estratégia para aprimorar a formação de professores e aproximar os resultados de pesquisa da sala de aula.

Isto implica em encarar o professor não como um técnico, um mero consumidor dos resultados de pesquisas, mas como um intelectual crítico (GIROUX, 1997).

Neste momento poderemos nos remeter as reflexões iniciais deste trabalho, e de modo lúdico questionarmos se poderemos ou não prever com exatidão o comportamento do nosso mosquito *Aedes*? Sejamos ou não adeptos do time de Anderson ou Weinberg, o fato é que discutir a questão da redução e da emergência contribui para a reflexão sobre HFC e NOS, utilizando-se de elementos presentes em cada área das ciências básicas.

Referências

ADÚRIZ-BRAVO, A.; IZQUIERDO, M.; ESTANY, A. (2002). Una propuesta para

estructurar la enseñanza de la Filosofía de la Ciencia para el profesorado de Ciencias em formación. *Enseñanza de Las Ciencias*, v. 20, n. 3, p. 465-476.

ALLCHIN, D. How NOT to teach history in science. In F. Finley, D. Allchin, D. Rnees, and S. Fifield (eds), *Proceedings of the Third International History, Philosophy, and Science Teaching Conference*, Vol. 1 (Minneapolis: University of Minnesota), 13-22. 1995.

ANDERSON, P. More is Different. *Science*, Vol 177, 393-396, 1972.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCN+) - Ciências da Natureza e suas Tecnologias*. Brasília: MEC, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio)*. Brasília: MEC, 2000.

CANAVARRO, J. M. *O que se pensa sobre a ciência*. Coimbra: Quarteto, 2000. 216 p.

CARVALHO, A. M. P. de.; VANNUCCHI, A. I. History, Philosophy and Science Teaching: some answers to “how”? *Science & Education*, Dordrecht, v. 9, n. 5, p. 427-448, 2000.

DENG, F. et. al. ‘Students’ views of the nature of science: a critical review of research’, *Science Education* 95: 961–999. 2011.

DIRAC, Paul A. M. Quantum mechanics of many-electron systems . *Proceedings of the Royot Society of London* A123:714-733, 1929.

GATTI, F.G.; PESSOA Jr., O. "O debate entre as interpretações reducionista e emergentista da física". In: Silva, C.C.; Salvatico, L. (orgs.). *Filosofia e história da ciência no Cone Sul: seleção de trabalhos do 7º encontro da AFHIC*. Porto Alegre: Entrementes, pp. 93-101. 2012.

GATTI, S. R. T.; SILVA, D.; NARDI, R, *História da Ciência no Ensino de Física: Um Estudo sobre o Ensino de Atração Gravitacional desenvolvido com Futuros Professores*. *Investigações em Ensino de Ciências*. v15, n1, p. 7-59, 2010.

GIROUX, H. A. *Os professores como intelectuais: rumo a uma pedagogia crítica da aprendizagem*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997. 270p.

HOTTECKE, D.; SILVA, C. C. Why implementing History and Philosophy in school Science Education is a challenge: an analysis of obstacles. *Science & Education*, v. 20, n. 3-4, p. 293–316, 2011.

KIM, J. Making sense of Emergence, *Philosophical Studies* v.95, p. 3–36.1999.

LAPLACE, P.S. Probability. In: HUTCHINS, M.A., ADLER, M.J., FADIMAN, C. *Gateway to the great books. - Mathematics*. Chicago: Encyclopaedia Britannica, 1990.

LEDERMAN, N.G. Students’ and teachers’ conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (4), 331–359.1992.

MARTINS, R. A. A Teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da História da Ciência em sala de aula. *Ciência & Educação*, v. 9, n. 1, p. 53-65, 2003.

MATTHEWS, M. R. (Ed.). *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*. Springer. 2014. ISBN 978-94-007-7653-1

MATTHEWS, M. R. ‘The nature of science and science teaching’. In: B. Fraser & K. Tobin (eds) *International Handbook of Science Education* . Dordrecht: Springer, pp 981–999. 1998.

MATTHEWS, M. R.; “História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de

reaproximação”, Caderno Catarinense Ensino de Física, vol. 12, nº 3, p. 164-214, Dez. 1995.

MCCOMAS, W. F., CLOUGH, M. P. & ALMAZROA, H. (1998). ‘The role and character of the nature of science in science education’. In: W. F. McComas (ed.) *The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies*. Hingham: Kluwer Academic Publishers, pp 3–40.

PEDUZZI, Luiz O. Q. Sobre a utilização didática da história da ciência. In: PIETROCOLA, Maurício. (Org.). *Ensino de Física: metodologia e epistemologia numa concepção integradora*. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.

TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I. M.; FREIRE, J. O. Uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil sobre o uso didático de História e Filosofia da Ciência no ensino de física. In: PEDUZZI, L. O.; MARTINS, A. F.; FERREIRA, J. M. H. (Org). *Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino*. Natal: EDUFRN, p. 9-40, 2012.

TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I.; FREIRE, O. *The History and Philosophy of Science in Physics Teaching: A Research Synthesis of Didactic Interventions*. Science and Education, Netherlands, 2009. DOI 10.1007/ s11191-009-9217-3.

WEINBERG, S. *Dreams of Final Theory*. Phanteon Books, NY, 1994