



ALEXANDRIA

ALEXANDRIA

Revista de Educação em Ciência e Tecnologia

Um Olhar para o Conceito de Átomo: Contribuições da Epistemologia de Bachelard

A look at the Concept of Atom: Epistemological Contributions of Bachelard

Jheniffer Micheline Cortez dos Reis^a; Neide Maria Michellan Kiouranis^a; Marcelo Pimentel da Silveira^a

^a Departamento de Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil - jheniffcortez@gmail.com, nmmkiouranis@gmail.com, martzelops@gmail.com

Palavras-chave:

Ensino de química.
Modelo atômico.
Epistemologia
bachelardiana.

Resumo: Neste artigo discutimos o conceito de átomo na perspectiva epistemológica de Gaston Bachelard, filósofo e poeta francês do século XX. Com o objetivo de promover reflexões acerca da teoria atômica, valemo-nos das obras: *Pluralismo Coerente da Química Moderna* (1932) e *Experiência do Espaço na Física Contemporânea* (1937), publicadas por Bachelard na década de 1930. Inicialmente apresentamos um cenário que diz respeito às principais contribuições epistemológicas e posições pedagógicas discutidas nestas obras. Num segundo momento, buscamos alguns resultados de pesquisas sobre o ensino de teoria atômica na área científica com foco epistemológico. Por fim, entendemos que o olhar para as obras em questão e os resultados das pesquisas trazidos neste trabalho, permitem reflexões importantes sobre o contexto histórico e suas implicações para o ensino dos conceitos relacionados ao modelo atômico.

Keywords:

Chemistry teaching.
Atomic model.
Bachelardian
epistemology.

Abstract: In this article we discuss the concept of atom from the epistemological perspective of Gaston Bachelard, a twentieth century French poet and philosopher. With the objective of promoting reflections about atomic theory, we use the following titles: *The Coherent Pluralism of Modern Chemistry* (1932) and *The Experience of Space in Contemporary Physics* (1937). We initially present a scenario concerning the main epistemological contributions and pedagogical positions discussed in these works. We later seek research results about atomic theory teaching in the scientific area, with an epistemological focus. Lastly, we understand that consideration of the books in question and the research results from this article allow important reflections about historical context and its implications for the teaching of concepts related to the atomic model.



Esta obra foi licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Introdução

O conceito de átomo discutido neste trabalho está fundamentado na epistemologia de Gaston Bachelard (1884 – 1962), um filósofo e poeta que contribuiu para importantes reflexões acerca do conhecimento científico no século XX. Bachelard possui uma vasta produção nos campos da ciência, da filosofia e da poética. Sua epistemologia tem sido utilizada na pesquisa em ensino de ciências de modo que os “pensamentos e os livros do filósofo francês Gaston Bachelard (1884- 1962) tem atravessado disciplinas, nações e épocas” (LABERGE, 2003, p. 535, tradução nossa). O autor destaca que Bachelard ainda é um dos filósofos franceses mais traduzidos e que inspira pesquisas em sociologia, história, história da ciência, epistemologia, bem como em estudos literários e culturais.

Barbosa e Bulcão (2011, p. 12) destacam que “Bachelard não é um filósofo fácil. Sua obra é como a sua vida, que vai se construindo em instantes e, por isso, ele se impõe como um pensador desafiador e instigante que convida a todos que tem uma mente plural a pensar com ele”. Ainda de acordo com as autoras, a abrangência e a complexidade da obra de Bachelard o fez alcançar diferentes campos do saber. Seguindo essa linha de pensamento, discorrem sobre como o impacto do pensamento de Bachelard asseguram a atualidade de suas reflexões em diversos países, como os europeus e, de modo surpreendente, para estudiosos franceses, o Brasil.

No Brasil, a epistemologia bachelardiana tem contribuído de maneira significativa para o desenvolvimento de diversas pesquisas, sendo que as primeiras em ensino de química surgiram, principalmente a partir da década de 1970. Entre os pesquisadores brasileiros desse período, destacam-se Japiassú (1976), Parente (1985, 1990), Lopes (1990) e Oliveira (1990). Essas pesquisas foram importantes para a reflexão a respeito dos conceitos epistemológicos de Bachelard no ensino e na pesquisa. Nessa mesma lógica, outros autores, a exemplo dos referidos, adotam a epistemologia bachelardiana nas pesquisas em ensino de ciências na busca de respostas a diversas questões que permeiam o processo de ensino e aprendizagem das ciências (CHAGAS, 2002; SILVEIRA, 2003, MARTINS, 2004; MELO, 2005; MALUF, 2006; PIAI, 2007; SOUZA, 2008; LINO, 2010; SUART JUNIOR, 2010; BERNARDINO, 2010; FERREIRA, 2013; PESSANHA, 2014; CEDRAN, 2015; REIS, 2015).

Segundo Laberge (2003), a produção abundante e variada de Bachelard foi interpretada de diversas maneiras. Martins (2007a) destaca algumas contribuições da epistemologia bachelardiana para a pesquisa em ensino de ciências e descreve que “do ponto de vista teórico-metodológico, a perspectiva oferecida por esse referencial tem muito mais a oferecer do que aquilo que tem sido efetivamente considerado” (MARTINS, 2007a, p. 10). Nessa perspectiva, Beltran e Saito (2011, p. 3) abordam que:

Entre os principais aspectos do pensamento de Bachelard destacados pelos educadores, a descontinuidade no desenvolvimento da ciência ligada à ideia de obstáculo epistemológico e o papel positivo do erro são altamente considerados. Da mesma forma, os historiadores da ciência também reconhecem o papel de Bachelard na elaboração de perspectivas historiográficas não continuístas. Entretanto, para se pensar nas contribuições de Bachelard tanto para a história da ciência quanto para a educação, seria necessário considerar o contexto científico e social à época em que Bachelard elaborava sua proposta epistemológica.

Nesse sentido, há interpretações da obra bachelardiana no que tange à ideia de ruptura que fundamentam noções como a de obstáculo epistemológico, perfil epistemológico e o papel do erro no processo de ensino e aprendizagem, bem como a relação dessa noção de ruptura, a história da ciência e o ensino (BELTRAN; SAITO, 2011; SAITO, 2013; BELTRAN, 2013). Os autores enfatizam que “embora Bachelard tenha rompido com a visão continuísta do desenvolvimento da ciência, tão cara aos positivistas e neo-positivistas, sua ideia de progresso continuou fundamentada naquelas escolas” (BELTRAN; SAITO, 2011, p. 5). Isso se deve, principalmente, à utilização de exemplos históricos por Bachelard, na ilustração de momentos de rupturas fazendo uso do olhar presente, ou seja, sem a consideração do contexto em que foram desenvolvidas (SAITO, 2013; BELTRAN, 2013, BELTRAN et al, 2014).

De encontro com essa perspectiva, Paiva (2005) destaca que a história da ciência em Bachelard objetiva compreender que o conhecimento rompe com o pensamento anterior à época em que foi produzido. Para a autora, “[...] a ideia bachelardiana de progresso da história da ciência erradica qualquer similitude com o pensamento positivista. Para essa vertente, os erros passados constituem uma inferioridade em relação ao estado atual do conhecimento.” (PAIVA, 2005, p. 80).

Na perspectiva discutida por Paiva (2005), a noção de ruptura e de progresso da ciência em Bachelard leva em consideração que a ciência não se desenvolve de forma contínua e que a história não se trata apenas de relatos de fatos, como admitido pelo positivismo, no entanto, ao admitir a presença de erros epistemológicos que obstaculizariam a ciência, de certo modo, para Bachelard o conhecimento científico é construído quando supera tais obstáculos e, portanto, pressupõe alguns avanço no conhecimento de períodos anteriores e, portanto, epistemologicamente superior. Nesse ponto reside uma das críticas à epistemologia histórica de Bachelard, que, embora tenha rompido com o pensamento dominante em seu tempo, o contexto histórico, no qual se fundamenta sua produção científica e epistemológica, era permeado de uma visão fortemente positivista de ciências.

É indubitável que Bachelard historiciza e caracteriza os obstáculos epistemológicos como próprios do ato de conhecer, entretanto, é importante destacar que essa noção de ruptura bachelardiana contribuiu para que a história da ciência fosse entendida de modo descontínuo e

para que fosse admitida a noção de que o progresso científico se dá por meio de uma construção.

Eichler (2009) também apresenta algumas considerações feitas sobre a obra de Gaston Bachelard no colóquio internacional, realizado em Lyon, na França, em 2006, e argumenta que “obras filosóficas e literárias são sujeitas às múltiplas interpretações, por isso suas análises críticas são constantes” (EICHLER, 2009, p. 171). O autor destaca que as diversas interpretações da obra bachelardiana estiveram presentes nas discussões feitas no colóquio; Paolo Montanna, professor da Universidade de Milão, Itália, trouxe algumas reflexões importantes, tais como a articulação de Bachelard epistemológico e poético, uma vez que a obra de Bachelard fora marcada por um primeiro momento do racionalismo e um segundo momento em que a poética é predominante. Nesse sentido, Montanna reflete acerca da seguinte questão: “a falta de conhecimento aprendido (ou ensinado) poderia ser um obstáculo epistemológico para a compreensão da obra de Bachelard?” (EICHLER, 2009, p. 176). Ainda, é importante ressaltar que uma possível causa para as múltiplas interpretações dadas à obra de Bachelard podem ser geradas pela complexa construção de seu texto (EICHLER, 2009).

Ao refletirmos sobre o pensamento de Bachelard, no que diz respeito à epistemologia, pode-se depreender que o filósofo mostrou-se à frente de seu tempo, visto que constantemente questionava a construção da ciência e a noção de progresso científico. Nesse sentido, Bulcão (2009) destaca que ao denunciar a inadequação das filosofias de sua época, Bachelard “impõe novas categorias que vão permitir melhor compreensão da dinamicidade e do processo de racionalização vividos pelas ciências atuais” (BULCÃO, 2009, p. 21).

No que se refere às ciências físicas e químicas, Bachelard constrói a noção de que os conhecimentos científicos, inicialmente empíricos, foram sendo modificados de modo a atingir uma perspectiva racionalista. Ao discutir sobre essa questão, Bulcão (2009, p. 33) destaca que “a crítica de Bachelard é relativa a essas filosofias que, ao se situarem num dos polos, se transformam em filosofias do imobilismo, pois só consideram um dos aspectos do conhecimento: o empírico ou o racional”. Assim, para Bachelard, a mobilidade e a dinâmica da ciência, origina a constante transformação do conhecimento científico, numa tentativa de aproximar-se sucessivamente do real.

Com base nesse panorama, ao voltarmos para as obras de Bachelard, mais especificamente o conceito de átomo buscamos nestas reflexões contribuir para a compreensão da noção epistemológica deste conceito, uma vez que Bachelard viveu e escreveu sobre o átomo em um momento muito importante para o estabelecimento desse conhecimento científico.

Análise epistemológica do átomo na visão de Bachelard

Segundo Bensaude-Vicent (2012), a epistemologia bachelardiana é, muitas vezes, apresentada como uma filosofia da física e da matemática e, nesta ênfase subestima-se o papel da química. De acordo com a autora, Bachelard foi professor de física e química, e em seu doutoramento foi orientado por Léon Brunschvicg, cuja filosofia era inspirada na matemática, sendo as duas teses de Bachelard voltadas para a filosofia da física. Assim, fica evidente a influência de Brunschvicg sobre a epistemologia bachelardiana, no entanto, o autor argumenta que Bachelard foi emancipado dessa influência, dando maior importância à química no decorrer de sua carreira (BENSAUD-VICENT, 2012).

Com base nas reflexões de Bensaude-Vicent (2012) depreende-se houve uma profunda mudança nas ideias de Bachelard acerca da química durante sua trajetória acadêmica, com uma série de obras nas quais discutiu sobre esta ciência. Bensaude-Vicent (2012) relata que em *A formação do Espírito Científico*, Bachelard utiliza vários químicos para ilustrar suas discussões sobre os obstáculos epistemológicos; em *O pluralismo coerente da química moderna*, buscou uma tentativa de formulação da filosofia química; além de *A Filosofia do não* e *O Materialismo Racional*, obras nas quais Bachelard encontrou na química uma base de conceitos para discutir uma nova ontologia. Nesse sentido, Bensaude-Vicent (2012) afirma que as inovações conceituais mais duradouras de Bachelard foram inspiradas em suas reflexões sobre a química.

Para a análise do conceito de átomo, tomamos neste trabalho, principalmente as obras *O pluralismo coerente da química moderna (Le pluralisme cohérent de la chimie moderne – 1932)* e *A experiência do espaço na física contemporânea (L'Expérience de l'espace dans la physique contemporaine - 1937)*, para subsidiar nossas discussões.

Em *Pluralismo coerente da química moderna*, Bachelard (2009) discorre sobre o conceito de átomo e caracteriza sua epistemologia em função das revoluções científicas empreendidas no século XX, em decorrência das teorias da relatividade e quântica, o que teve implicações importantes no desenvolvimento do conhecimento científico relativo à compreensão e aplicação do conceito de átomo. O autor defende que não se trata de um livro de história da química, mas um ensaio de filosofia química, no qual os argumentos se embasam em fatos históricos.

Embora Bachelard não seja um historiador da ciência, utiliza muitos fatos históricos para a discussão de aspectos epistemológicos da ciência. Bulcão (2009) descreve que no início do século XX, a história da ciência teve um grande progresso e que a posição predominante na época era positivista. Nessa visão de ciência, a história é concebida como um simples relato das descobertas feitas no passado pelos cientistas, indicando uma noção de

progresso contínuo. Sendo assim, a autora discute que Bachelard introduziu a noção de ruptura ao assumir que “a ciência progride por retificações de erros e por reorganizações do saber que rompem inteiramente com as teorias passadas” (BULCÃO, 2009, p. 47). Essas rupturas se manifestam de duas maneiras: entre o novo conhecimento científico e o anterior, ou entre o conhecimento comum e o conhecimento científico.

Na obra *A experiência do espaço na física contemporânea*, Bachelard (2010) discute sobre a física quântica, apresentando inicialmente as características do que é real e como se pode localizá-lo, para, então, discutir o problema da localização do real na microfísica, que deu origem ao princípio da incerteza proposto por Heisenberg.

É importante ressaltar que as obras destacadas são da década de 1930, escritas por Bachelard pouco tempo depois da proposição dos modelos atômicos de J. J. Thomson, Rutherford e Bohr, elaborados entre o final do século XIX e as duas primeiras décadas do século XX (LOPES, 2009). Lecourt (2002) faz uma descrição do contexto científico da década de 1920, no qual mostra a novidade enfrentada por Bachelard, tais como a teoria probabilística do elétron, por Max Born; o princípio da incerteza de Heisenberg; a hipótese do universo em expansão de Lemaître; a descoberta dos raios cósmicos de Milikan; a mecânica ondulatória de Louis de Broglie, entre outros acontecimentos importantes na ciência. Nesse sentido, Bertoche (2014) afirma que o tema microfísica emergiu com intensidade nos textos de Bachelard posteriores a 1930, como resultado dos acontecimentos já mencionados. De acordo com Bertoche (2014, p. 270), “essa produção aconteceu no início dos anos 30; portanto, decorre de um pensamento que amadureceu desde a década de 1920, concomitantemente ao próprio desenvolvimento e à divulgação da Teoria Quântica”.

Para Bachelard, as primeiras teorias atômicas tinham sua maior preocupação na explicação de como o átomo seria e se, de fato, poderia ser provada sua existência. Com isso, a ideia de que a matéria seria constituída por átomos foi, por muito tempo, rejeitada pela comunidade científica, uma vez que “[...] não havia nenhuma prova direta de que o átomo tivesse uma estrutura; não existia nenhuma experiência cuja aplicação necessitasse da hipótese segundo a qual um átomo é divisível em partes” (CAMPBELL, 1924 apud BACHELARD, 2009, p. 140).

A noção de átomo divisível pode ser discutida após as pesquisas de J. J. Thomson e a “descoberta¹” do elétron. Bachelard (2009) afirma que com os fenômenos elétricos foi possível mostrar a complexidade do átomo de hidrogênio e de outros átomos, fato que não era possível até o final do século XIX, uma vez que “[...] antes da descoberta do elétron fora

¹ Neste caso, o termo descoberta está entre aspas, uma vez que a ideia de o átomo possuir elétrons compõe uma forma de pensar e como não haviam provas diretas de sua existência, ao invés de descoberta podemos pensar na proposição de um modelo atômico com o elétron como constituinte.

possível imaginar uma complexidade interna do átomo, mas era uma obra imaginativa, estética” (BACHELARD, 2009, p. 140).

O autor argumenta que a descoberta do elétron envolveu uma nova epistemologia, que une teoria e experimentação na tentativa de provar empiricamente a existência do átomo (BACHELARD, 2009). Para mostrar a ruptura entre as formas de experimentação, Bachelard (2009), por intermédio dos resultados apresentados por J. J. Thomson, discorre a respeito da diferença de interpretação dos experimentos, de acordo com a ordem de precisão das medidas:

Os progressos realizados ao considerar o átomo eletrizado [...] devem-se ao fato de que um átomo não eletrizado nos engana tão bem que, enquanto o número de átomos não ultrapassar 1 bilhão, não temos nenhum meio sensível para constatar sua presença; [...] O átomo ou a molécula eletrizada, porém, é bem menos discreto, a tal ponto que foi possível, em alguns casos, detectar a presença de um único átomo eletrizado (THOMPSON, 1919 apud BACHELARD, 2009, p. 141).

Com relação ao átomo eletrizado, Bachelard argumenta na década de 1930, que na química contemporânea, cada vez mais, os cátions e os ânions foram considerados elementos explicativos das reações químicas. A esse respeito, o autor destaca que basta uma consulta a “[...] um livro didático [...] para ver a novidade e a simplicidade que as considerações elétricas trazem à coordenação das experiências químicas” (BACHELARD, 2009, p. 141).

A experiência elétrica poderia estar no nível de um átomo, mas para perceber isso, “[...] era preciso encontrar meios, métodos, aparelhos apropriados às pesquisas atômicas e subatômicas” (BACHELARD, 2009, p. 143). Diante deste contexto, os tubos a vácuo de Crookes² poderiam ser os mais indicados para possibilitar o desenvolvimento de tais pesquisas, uma vez que por meio deles seria possível atingir um estado rarefeito da matéria, denominado como um estado irradiante. No entanto, Bachelard (2009) afirma que, mesmo nessas experiências balísticas, o número de átomos ainda era enorme, o que se tornava um problema na sua determinação experimental, tendo em vista que não era possível isolar um átomo para estudá-lo.

Uma das características que Bachelard atribui às ciências contemporâneas é a produção de fenômenos através de equipamentos modernos, intitulada por ele fenomenotécnica, e não mais a pura e simples observação de fenômenos da natureza. Segundo Sisson e Winograd (2012), embora a fenomenotécnica não seja uma das ideias mais comentadas por Bachelard, torna-se um dos conceitos organizadores de sua epistemologia histórica. Nas palavras das autoras, a problemática em torno da ideia da fenomenotécnica envolve uma relação entre ciência e técnica como “dimensões [que] estão presentes e

² William Crookes construiu em 1875 tubos rarefeitos que continham duas placas metálicas ligadas a uma fonte de tensão elétrica; a placa ligada ao polo negativo é o cátodo, e a outra, ligada ao polo positivo, é o ânodo; quando a tensão entre o cátodo e o ânodo fica bem elevada surge um feixe luminoso (raio catódico) que sai do cátodo e atravessa o tubo.

dependem uma da outra na invenção (construção) dos objetos científicos” (SISSON; WINOGRAD, 2012, p. 150). Isso torna-se evidente como no exemplo da criação de equipamentos com a finalidade de observar o experimento dos raios catódicos, sendo o real atômico não visível, mas construído pela observação indireta.

Além do experimento com o tubo de Crookes, as investigações acerca da condutibilidade elétrica³ da matéria foram importantes para a compreensão das características do átomo. Martins (1997) destaca que a descoberta dos raios X no final do século XIX e início do século XX impulsionaram pesquisas que contribuíram para esclarecer questões sobre a natureza elétrica da matéria. Em 1896, J. J. Thomson relatou a Royal Society que os raios X descarregavam um eletroscópio (MARTINS, 1997), e o aparelho se tornava um bom condutor de eletricidade, o que indica que os íons eram produzidos no interior do próprio gás contido no eletroscópio pelo efeito da radiação. Sobre desses resultados, Bachelard discorre a experiência por meio da explicação de Millikan, que a considerou como um ponto essencial para a ciência.

Até então, o único modo de ionização conhecido era o que se podia observar em solução. Neste caso, trata-se sempre de uma molécula complexa como, por exemplo, o cloreto de sódio⁴ (NaCl), que se separa espontaneamente em dois íons [...]. A ionização produzida nos gases pelos raios X era de espécie bem diferente, pois ela podia ser observada em gases como azoto [nitrogênio] e o oxigênio, e até em gases monoatômicos, como o argônio e o hélio. Ficou claro que os constituintes de um átomo neutro [...] deviam ser minúsculas cargas elétricas. Tínhamos a primeira prova direta, primeiro, de estrutura do átomo; segundo, de que cargas elétricas entram em sua constituição. Essa descoberta, nascida diretamente do emprego de um agente novo, os raios X, desacreditava para sempre a teoria da inescapabilidade⁵ do átomo e inaugurava a era do estudo dos constituintes do átomo (MILLIKAN, 1917 apud BACHELARD, 2009, p. 145).

Uma das consequências das várias descobertas sobre a natureza do átomo no século XIX, conforme discute Bachelard, é de que a indivisibilidade do átomo é deixada para trás, tornando possível o estudo de suas partes constituintes, como revelaram os experimentos promovidos por J. J. Thomson em 1897, que obteve seu fundamento no método de desvio de elétrons por um conjunto de campos elétrico e magnético, verificando que a partícula negativa tinha massa mil vezes menor do que a massa do átomo de hidrogênio (BACHELARD, 2009).

Como consequência, foi possível afirmar que “[...] com o elétron, a explicação científica ultrapassou o realismo, por assim dizer, no sentido de ter assimilado o real ao racional” (BACHELARD, 2009, p. 150). É importante destacar que o realismo ultrapassado na explicação científica do átomo está centrado no realismo ingênuo, isto é, uma perspectiva

³ De acordo com Medeiros (2002) até o final do XVIII existiam diversos instrumentos de medida de eletricidade, dentre os quais pode-se destacar o eletroscópio.

⁴ Embora o cloreto de sódio tenha sido mencionado como uma molécula, sabe-se que este é um composto iônico e não uma molécula.

⁵ Entendida como indivisibilidade.

do real fundamentado apenas na experiência perceptível macroscopicamente. Quando Bachelard afirma que o real atômico foi assimilado ao racional, o filósofo destaca uma perspectiva racionalista que considera a construção do objeto científico como resultado da fenomenotécnica, e, portanto, a construção de um real científico.

Além disso, o racionalismo discutido por Bachelard não é oposto ao empirismo, mas dialeticamente, o racional se relaciona com o empírico, configurando as diferentes zonas de racionalismo caracterizadas por Bachelard, tais como o racionalismo aplicado e o materialismo racional. Ao discutir sobre esses termos, Barbosa e Bulcão (2011, p. 30-31) enfatizam a “dialética entre a razão e a experiência, de coisas opostas que se integram no todo. O novo racionalismo é uma filosofia que admite o diálogo com a experiência”. Esse diálogo pode ser exemplificado nas considerações do modelo de átomo proposto por J. J. Thomson, em que a racionalização se dá por meio de experiências realizadas fenomenoteticamente.

Bachelard (2009) analisou os modelos de átomo em que os elétrons estão parados, chamando-os de modelos estáticos, assim como os que consideram os elétrons em movimento, chamando-os de modelos cinéticos. Acerca do primeiro, discute sobre o modelo proposto por J. J. Thomson, apontando algumas das inconsistências teóricas do mesmo, tais como a atração entre cargas positivas e negativas. Nas palavras do autor, “as cargas devem, portanto, vir ao contato e talvez se percam para sempre uma na outra, neutralizando-se definitivamente. [...] logo se percebe uma contradição” (BACHELARD, 2009, p. 153). De acordo com Bachelard, J. J. Thomson resolve o problema da atração das cargas opostas, acrescentando uma força repulsiva entre as cargas iguais e considera que “[...] nas pequenas distâncias, é a repulsão que predomina e impede o contato dos corpúsculos” (BACHELARD, 2009, p. 154).

Embora Bachelard (2009) tenha interpretado o átomo proposto por J. J. Thomson como estático, ao analisar os modelos atômicos do início do século XX, estudos mais recentes apontam que J. J. Thomson não discutia sobre constituintes positivos no átomo, todavia propunha que os corpúsculos (hoje chamados de elétrons) estavam circulando em anéis coplanares dentro de uma esfera uniformemente positiva (LOPES, 2009). Em artigo publicado no ano de 1904, J. J. Thomson apresentou seu modelo atômico:

Temos, portanto, em primeiro lugar uma esfera com carga elétrica positiva uniforme, e dentro dessa esfera um número de corpúsculos dispostos em uma série de anéis paralelos. O número de corpúsculos em um anel varia de anel para anel: cada corpúsculo está *viajando em alta velocidade em torno da circunferência do anel* em que está situado, e os anéis estão organizados de forma que aqueles com um grande número de corpúsculos estão próximos da superfície da esfera, enquanto aqueles em que há um menor número de corpúsculos estão mais para o interior (THOMPSON, 1904 apud LOPES, 2009, p. 39, grifo nosso).

Bachelard (2009, p. 155) argumenta que, “a linha de evolução do pensamento de J. J. Thomson leva naturalmente a prever átomos com número crescente de elétrons”, indicando que J. J. Thomson também discutiu a noção de valência. Neste caso, admite-se, a ideia das camadas ou órbitas, que comportariam determinada quantidade de elétrons: “Se agora se admitir que as propriedades químicas dependem da camada externa do átomo, explica-se a periodicidade dessas propriedades pelo ritmo de oito elementos” (BACHELARD, 2009, p. 156). O modelo de J. J. Thomson foi elaborado de tal modo que, em 1914, esse cientista havia construído uma teoria de valência com os períodos de oito elétrons (BACHELARD, 2009).

Assim, para Lopes e Marques (2010), J. J. Thomson teve uma preocupação com um “átomo químico” que estreitou relações entre a estrutura da matéria e suas transformações. Os autores afirmam que o modelo de J. J. Thomson forneceu “uma base sólida para o desenvolvimento de outras teorias no campo da química, que tem importância teórica, experimental e pedagógica até os dias de hoje, mesmo após o desenvolvimento da teoria quântica” (LOPES; MARQUES, 2010, p. 141).

Já acerca do modelo cinético, Bachelard (2009) problematiza o exemplo clássico do modelo atômico proposto por Rutherford, por meio do experimento da emissão de partículas α em películas metálicas. De acordo com Lopes (2009), em 1911, Rutherford descreve sobre a estrutura do átomo nuclear, tendo como ponto de partida os experimentos de Geiger, Marsden e Crowther com as partículas α e β bombardeadas em diversos metais e explica que o átomo possui “uma carga central concentrada em um ponto e rodeada por uma distribuição esférica uniforme de carga elétrica oposta, de mesmos valores” (RUTHERFORD, 1911 apud LOPES, 2009, p. 89).

O fato de que a maior parte das partículas atravessava a superfície metálica sem nenhum desvio, indicou que o átomo não era maciço, como era compreendido até o início do século XX. Nesse sentido, Bachelard (2009, p. 162) descreve que “a partir dessa simples experiência, já não se pode atribuir ao átomo a característica compacta que era tão natural na hipótese primitiva do átomo indivisível. Essa experiência marca, portanto um momento decisivo da evolução das ideias atomísticas”.

É importante ressaltar que Rutherford não tinha intenção de formular um novo modelo para o átomo, mas realizava pesquisas a respeito do espalhamento de partículas elétricas da matéria (MARQUES, 2006). Segundo Marques (2006), a maior contribuição das pesquisas feitas por Rutherford está relacionada à estrutura nuclear do átomo. Lopes (2009) afirma que o átomo de Rutherford não foi muito debatido na época, visto que o foco de suas pesquisas estava no núcleo e os físicos da época buscavam explicações para o comportamento dos elétrons. Apenas em 1913, o modelo de Rutherford passa a ter importância, por ser o ponto de

partida para o modelo proposto por Bohr. Marques (2006) ainda enfatiza que mesmo após a publicação dos artigos de Bohr indicando problemas com a estabilidade do átomo, Rutherford “insistia na ideia desse tipo de átomo de acordo com as leis clássicas da Mecânica de Newton” (MARQUES, 2006, p.122).

Acerca do modelo de Rutherford, Bachelard (2009, p. 164), afirma que “[...] do momento que se postula que o elétron gira com rapidez prodigiosa em torno do núcleo, cabe concluir que o elétron emite ondas magnéticas”. Dessa forma, a questão proposta por Bachelard seria: como os elétrons irão reagir à perda de energia causada pela emissão da radiação? E argumenta que se o elétron, conforme emite radiação, perde velocidade, chegará a um ponto em que diminuirá a força, aproximando-se do núcleo. Se isso ocorresse, a emissão de radiação deveria ser contínua, no entanto, a experiência contradiz esse fato, visto que os espectros dos elementos tinham características de linhas. Nesse ponto, Bachelard (2009, p. 165) argumenta que “[...] ou é preciso renunciar ao átomo cinético, ou é preciso retirar o movimento do elétron das regras da eletrodinâmica clássica”.

Diante desse cenário, uma nova forma de pensar é necessária para compreender o mundo atômico e, de acordo com Bachelard, a teoria de Bohr buscava essa explicação. Em 1913, Bohr publica três artigos intitulados “Sobre a composição dos átomos e moléculas”, sendo que no primeiro discute acerca da teoria da constituição dos átomos, com base nos estudos com o átomo de hidrogênio; no segundo artigo, ampliou sua discussão para átomos com mais de um elétron e no terceiro artigo discutia sobre a ligação entre os átomos (LOPES, 2009). No primeiro deles, Bohr apresenta as ideias de Rutherford e J. J. Thomson e partindo da ideia proposta por Rutherford considera que “a eletrodinâmica clássica não consegue descrever o comportamento de sistemas de dimensão atômica. [...] parece necessário introduzir nas leis em questão uma quantidade alheia à eletrodinâmica clássica, a constante de Planck, ou quantum” (BOHR, 1913 apud LOPES, 2009, p. 127).

Bohr propõe uma condição algébrica para a radiação e afirma que os valores de energia do elétron sobre duas órbitas estáveis, entre as quais ocorre o salto, são iguais aos valores da constante de Planck⁶ multiplicado pela frequência da radiação que se propaga. Essa fórmula⁷ passa a ser a chave para o mundo atômico (BACHELARD, 2009).

Conforme o filósofo “[...] na base da teoria atômica de Bohr encontra-se [...] um conjunto muito desajustado de suposições” (BACHELARD, 2009, p. 167), uma vez que “[...]

⁶ A constante de Planck, representada por h , equivale a $6,62606957 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg / s}$.

⁷ $W - W' = hv$, em que W e W' representam valores da energia do elétron sobre cada uma das órbitas estáveis entre as quais ocorre o salto, h a constante proposta por Planck no problema da radiação do corpo negro e v a frequência da radiação que se propaga [...] em consequência da contração energética do átomo (BACHELARD, 2009, p. 172).

as órbitas de Bohr estão separadas por um nada energético” (BACHELARD, 2009, p. 170). Essa afirmação do filósofo nos indica a inadequação dos conceitos desenvolvidos por Bohr em relação à teoria clássica da matéria. As proposições de Bohr acerca da estabilidade da matéria e a interpretação do espectro de hidrogênio se contrapõem à racionalidade predominante na teoria clássica e por isso são vistas como “conjunto desajustado de suposições”.

A partir das reflexões bachelardianas, pode-se perceber nessa discussão feita pelo filósofo, as características do novo racionalismo proposto por Bachelard: o racionalismo aplicado e o materialismo racional, em que o racional e o empírico não se tornam polos opostos, mas que podem convergir para construção dos conhecimentos. Para o modelo atômico de Bohr, o racionalismo aplicado fica evidente quando o comportamento do elétron proposto a partir dos experimentos com os espectros não é estável a partir da teoria clássica, e, portanto, seria necessária uma nova forma de explicar esse fenômeno em particular. A partir desse contexto, foi necessário condicionar a dimensão racional a determinantes materiais e caracterizando o materialismo racional. No caso do modelo proposto por Bohr, o espectro do hidrogênio e a estabilidade da matéria como características da nova racionalidade, ainda se contrapõe à racionalidade oriunda da teoria clássica.

De acordo com Lopes (2009), o modelo de Bohr começou a utilizar a nova mecânica, mas ainda possuía noções pautadas na mecânica clássica. Bohr afirma: “Adotei um ponto de vista razoável em relação à questão delicada da utilização simultânea da antiga mecânica e dos novos pressupostos introduzidos pela teoria da radiação de Planck” (BOHR, 1956 apud LOPES, 2009, p. 142). Assim, o modelo de Bohr, embora tenha utilizado algumas ideias da teoria quântica, ainda possuía uma visão determinista nas órbitas.

Na descrição da teoria quântica, Bachelard (2010) mostra o problema da localização do elétron em sua obra “A experiência do espaço na física contemporânea” e explica o princípio da incerteza.

Por exemplo, se quisermos ver onde está o corpúsculo, temos de iluminá-lo. Para a região onde se pressente a presença de um corpúsculo em um dado momento dirige-se então um feixe de luz, um feixe de fótons. Pode-se esperar que um dos fótons seja desviado por um dos corpúsculos; o desvio do fóton, provocado pelo choque com o corpúsculo indicará a presença de corpúsculos na região bombardeada. [...] Após o choque, o corpúsculo terá saído da célula de localização? (BACHELARD, 2010, p. 27-28).

Desse modo, determinar com precisão a localização do elétron não seria possível e Heisenberg postula um princípio afirmando que “[...] é preciso ligar a incerteza do lugar com a incerteza do momento cinético medido ao longo desse eixo” (BACHELARD, 2010, p. 30),

propondo uma expressão⁸ na qual a incerteza sobre a coordenada (Δx) multiplicada pela incerteza sobre o momento cinético (Δp) é igual à constante de Planck, frequente nas explicações da microfísica.

Logo, a ideia das camadas fixas, ou seja, as órbitas de Bohr, não poderiam mais explicar o comportamento do elétron no átomo. Neste contexto, surge o conceito dos orbitais atômicos, que passa a ser caracterizado por três números quânticos. A ideia de que os quatro números quânticos definem o elétron no átomo deve ser atribuída a uma característica probabilística, ou seja, embora possamos pensar em regiões de maior probabilidade onde o elétron esteja presente, nunca será uma posição exata. Bachelard (2008, p. 20) afirma que “os elétrons têm valores que mudam com a sua localização” e nos atenta para a característica probabilística da localização e do comportamento dual do elétron. Assim, ocorre o que Bachelard (1988, p. 41) afirma ser a “[...] passagem do plano realista ao plano da matemática probabilística” ao discutir sobre a organização eletrônica. Essa passagem do realismo à matematização representa a nova racionalidade discutida por Bachelard, em que diversos fatores contribuem para a construção do conhecimento científico, tanto os resultados experimentais, quanto aspectos metafísicos e valores, corroborando para uma racionalidade aberta e dinâmica. Quando o elétron é colocado como objeto de investigação experimental, ora ele pode ser percebido como onda, ora como corpúsculo, ora está aqui, ora está ali, sua definição não é determinista, mas indeterminista.

Segundo Bertoche (2014), o atomismo moderno utiliza instrumentos construídos pela própria teoria e dão origem ao que Bachelard intitula de “atomismo experimental”, uma vez que os átomos são construídos fenomenotecnicamente. De acordo com o autor

a teoria quântica não poderia ser compreendida a partir de uma metafísica realista; ao elétron, não são acrescentados simplesmente propriedades e forças, mas números quânticos; é a partir desses números é que se estabelecem os lugares dos elétrons nos átomos, e os lugares dos átomos nas moléculas (BERTOCHE, 2014, p. 275).

Compreendemos que a crítica feita pelo autor, ao afirmar que a teoria quântica não poderia ser compreendida pela metafísica realista se refere ao realismo ingênuo, no entanto, quando consideramos que a proposição da teoria quântica utiliza os conceitos de quantum e a constante de Planck para compreensão da materialidade do espectro de hidrogênio, tais conceitos ilustram o materialismo racionalista e o racionalismo aplicado, que se estabelecem a partir de uma dialética entre o racionalismo e o realismo, bem como a construção do objeto científico como um processo de constante relação entre a perspectiva empírica e a racional.

⁸ $\Delta x \times \Delta p \geq h$, sendo Δx a incerteza sobre a coordenada, Δp a incerteza sobre o momento cinético e h a famosa constante de Planck que se insere em todos os fenômenos microfísicos, sem exceção (BACHELARD, 2010, p. 30).

Conforme Bachelard, com a teoria quântica a química deixou de se reduzir à perspectiva empírica, levando a um racionalismo dialético entre o empírico e o racional, característico do pensamento moderno (BACHELARD, 2009). Nesse sentido, vale ressaltar que a afirmação feita por Bohr de que “[...] a exploração do mundo dos átomos feita neste século⁹ praticamente não tem paralelos na história da ciência, no que concerne ao progresso do conhecimento e ao domínio da natureza de que nós mesmos somos parte” (BOHR, 1995, p. 105). Para o autor supracitado, a ciência atômica mostrou ao homem uma lição de natureza geral que tratou de problemas profundos do conhecimento, e ao longo da história vem sendo objeto de reflexão tanto na compreensão da ciência como sua aplicação nos diferentes campos da pesquisa e do ensino.

Nesse entendimento, consideramos pertinente resgatar algumas contribuições para o ensino, legitimadas pelas pesquisas que tratam sob diferentes aspectos, o conceito de átomo.

Algumas considerações sobre a abordagem do conceito de átomo no ensino de química

No contexto atual, os conhecimentos relacionados ao conceito de átomo são ensinados, geralmente, com base em modelos atômicos, tais como o Dalton, J. J. Thomson, Rutherford e Bohr. Visto na perspectiva do ensino e da aprendizagem dos conhecimentos científicos acerca do átomo, surge a necessidade de se refletir sobre a história e epistemologia do seu conceito, com o intuito de romper com visão descontextualizada, acrítica e dogmática da ciência e do conhecimento científico.

Consoante com essa ideia Bachelard (1996) afirma que para utilizar a história da ciência no ensino é necessário compreender o processo de desenvolvimento do conhecimento científico. Argumenta ainda que “sem dúvida, seria mais simples ensinar só o resultado. Mas o ensino dos resultados da ciência nunca é um ensino científico” (BACHELARD, 1996, p. 289). Assim, para o autor o ensino que considera aspectos históricos deixa de ser centrado na memorização e possibilita que o estudante “compreenda”, tornando-se, portanto, uma estratégia significativa do processo de ensino e de aprendizagem.

Em relação à necessidade de contribuir com essa perspectiva, Marques e Caluzzi (2005) destacam as sugestões contidas nos documentos oficiais, como por exemplo, as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, e enfatizam a importância da utilização da história da ciência para a significação de conhecimentos químicos, em detrimento de um ensino memorístico e mecânico, comumente proporcionado nas escolas.

⁹ A afirmação de Bohr refere-se ao século XX.

Nessa perspectiva, Vidal e Porto (2014) afirmam que embora a aplicabilidade da história da ciência no ensino tenha sido questionada anteriormente, nos dias atuais há um consenso sobre a importância de sua inserção no ensino. No entanto, os autores ressaltam

[...] ser de fundamental importância identificar qual o tipo de História da Ciência mais apropriada para o ensino, e refletir sobre o modo como ela deve ser trabalhada com os estudantes. Seja qual for o tipo de abordagem escolhida, parece ser necessária, por parte do educador em ciência, alguma compreensão geral da contemporânea historiografia da ciência – caso contrário, corre-se o risco de reforçar visões ingênuas acerca do empreendimento científico (VIDAL; PORTO, 2014, p. 72).

Concordando com as ideias discutidas, há na literatura inúmeros fatores que corroboram para que a história da ciência seja negligenciada e/ou abordada de forma inadequada. As discussões voltadas para a utilização de história da ciência no ensino e, também acerca da presença de disciplinas com enfoque histórico e epistemológico do conhecimento, tem sido objeto de reflexão em estudos direcionados à docência, nos diferentes âmbitos de formação (MATTHEWS, 1994, MARQUES; CALUZZI, 2005; MARTINS, 2006; PORTO, 2010; VIDAL; PORTO, 2014; BELTRAN et al., 2014).

Em vista disso, muitos professores se apoiam e utilizam a história da ciência presente nos livros didáticos, o que para Marques e Caluzzi (2005) é, geralmente, uma história que enfatiza nomes e datas, grandes cientistas e descobertas, que acabam por transmitir uma visão inadequada da ciência. De acordo com os autores, nos livros didáticos é comum a “valorização e a mitificação de alguns episódios, sempre associado a grandes gênios da Ciência. Muitas vezes os professores nem ao menos conhecem um pouco da biografia de tais gênios, tampouco como eles conseguiram elaborar tal raciocínio” (MARQUES; CALUZZI, 2005, p. 4).

Estudos relacionados à abordagem histórica dos modelos atômicos em livros didáticos foram realizados por diversos pesquisadores (MORTIMER, 1988; CHAVES, 2011; MOURA; GUERRA, 2013; SILVA et. al., 2013; CHAVES et. al., 2014). Ao analisar o conteúdo atomismo em livros didáticos, Mortimer (1988) afirma que muitos materiais apresentam aspectos de episódios históricos, no entanto, alguns fatos são apresentados como se tivessem ocorridos na mesma época, além de haver a mescla de fatos que ocorreram em épocas diferentes.

Chaves (2011) e Chaves et. al. (2014), analisaram os livros didáticos aprovados no Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2007, apontando lacunas e equívocos no que se refere aos modelos de Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr. Segundo os autores, a história apresentada em quatro dos seis livros analisados reforça uma visão descontextualizada e linear, e dois livros apresentam alguma contextualização histórica que contribui para uma visão menos dogmática.

Moura e Guerra (2013) analisaram cinco livros didáticos aprovados no PNLD de 2012 a respeito da presença de aspectos históricos e filosóficos dos modelos atômicos. Como resultados dessa pesquisa, dois dos livros analisados praticamente não apresentam abordagem histórico-filosófica, os demais englobam tal aspecto, sendo que um deles faz uso constante de história e filosofia da ciência nas unidades organizadas em formatos de textos que facilitam a abordagem histórica. No entanto, neste mesmo estudo, os autores enfatizam que embora existam materiais com a inserção de história e filosofia da ciência, o livro que domina mais de 50% do mercado editorial não apresenta essa abordagem, o que pode contribuir para que se perpetue a não utilização de aspectos histórico-filosóficas no ensino de química, mais especificamente, no ensino de modelos atômicos.

Neste ponto, é importante salientar na pesquisa de Moura e Guerra (2013), não apenas a importância da história dos modelos atômicos, mas também aspectos epistemológicos relacionados à construção da teoria atômica, como a noção de modelos e representações de átomos. Considerando tais aspectos, referimo-nos à pesquisa de Silva et. al. (2013), acerca dos livros aprovados no PNLD de 2012, na qual analisaram os recursos visuais utilizados na abordagem dos modelos atômicos, evidenciando que as imagens presentes nos seis livros didáticos são, na maioria, fotografias, e muitas vezes apresentam-se desconectadas do texto principal. Quanto à finalidade, a maior parte das imagens é utilizada para discussão de conceitos e explicação de fatos experimentais, e apenas um livro apresenta algumas imagens numa perspectiva problematizadora, sendo que as mesmas, em sua maioria, contemplam aspecto macroscópico e simbólico. Além disso, a representação mais frequente nos livros analisados é o átomo conforme proposto no modelo de Bohr.

Desse modo, Sangiogo e Zanon (2009), ao analisar modelos presentes em livros didáticos, destacam a importância de não correr o risco de cair no verbalismo ou realismo e afirmam que “para entender um modelo submicroscópico é preciso ir muito além da ilustração e descrição do livro didático, sendo fundamental a mediação didática do professor, sobre o uso de ‘modelos’” (SANGIOGO; ZANON, 2009, p. 7).

Bachelard (1996) também atenta para o papel dos modelos no processo de ensino e aprendizagem, enfatizando que o uso inadequado das imagens pode obstaculizar o conhecimento quando uma representação de átomo, por exemplo, é tomada como real e “[...] uma única imagem, ou até uma única palavra, constitui toda a explicação” (BACHELARD, 1996, p. 91).

O problema discutido por Bachelard sobre o uso das imagens é que elas são resistentes no pensamento e podem impedir uma visão abstrata do fenômeno, como pode ser exemplificado por meio do uso das analogias, comumente utilizadas para discutir os modelos

atômicos: o modelo de Dalton é comparado à bola de bilhar; o modelo de J. J. Thomson ao pudim de passas; o modelo de Bohr é também conhecido como modelo planetário, em uma analogia com o sistema solar. Nessas analogias, utilizam-se imagens familiares, buscando associá-las aos modelos, no entanto, Bachelard (1996, p. 93) afirma que “[...] o acúmulo de imagens prejudica evidentemente a razão, no qual o lado concreto, apresentado sem prudência, impede a visão abstrata e nítida dos problemas reais”.

Acerca do uso de analogias no ensino de modelos atômicos, pode-se destacar pesquisas com vários enfoques, como por exemplo, a inadequação das analogias aos modelos com base na proposta original dos cientistas (LOPES; MARTINS, 2009) e a não compreensão por parte dos alunos sobre o significado das analogias e o porquê o átomo pode possuir mais de uma analogia (SOUZA et. al., 2006).

As analogias são adotadas justamente pelo fato de o conceito de átomo ser abstrato e estudado por meio de modelos. Melo e Lima Neto (2013) discorrem que o fato de o conceito de átomo ser estudado por modelos é uma das dificuldades mais comuns entre estudantes e até professores de química, sendo que alguns questionamentos em situações de estudos sobre concepções de átomo são “como saber se o átomo existe se não pode vê-lo?”, “como o átomo foi descoberto?”, enfatizando a dificuldade de compreensão do que é um modelo e que o átomo é uma criação científica que se utiliza de modelos.

A respeito dos modelos, é importante enfatizar que os mesmos são inerentes ao conhecimento químico e aos processos de ensino e aprendizagem, estando presentes tanto em livros didáticos e nos discursos de professores nas aulas de química. Sangiogo e Zanon (2009) descrevem que embora sejam inevitáveis, “os modelos atômicos tendem a acarretar obstáculos, ao invés de potencializar aprendizagens significativas por parte dos estudantes, quanto à compreensão teórico-conceitual de ‘entidades químicas’ representadas” (SANGIOGO; ZANON, 2009, p. 4).

Assim, enfatizamos a necessidade constante de problematizar os modelos atômicos, as imagens e analogias empregadas nos livros e nas aulas de química, o desenvolvimento histórico do conceito de átomo e os aspectos epistemológicos acerca desse conceito. Para que isso ocorra, é necessário refletir sobre como aspectos históricos e filosóficos são inseridos, tanto na formação de professores quanto no contexto de sala de aula, para que, de fato, os conceitos científicos sejam considerados a partir do contexto de sua produção. Nossa intenção aqui não é apresentar uma proposta sobre a abordagem desse conceito em sala de aula, mas levantar alguns fatores intrínsecos à utilização de abordagens que levam em conta, aspectos aqui discutidos.

Diante disso, consideramos importante destacar que embora a utilização da história e filosofia seja consensual entre os profissionais da área, pouco se vê chegar efetivamente em sala de aula (MARTINS, 2007b). Em uma pesquisa empírica acerca das dificuldades e experiências sobre o uso de história e filosofia da ciência no ensino, Martins (2007b) destaca alguns pontos para reflexão, tais como a importância da utilização da história e filosofia para os sujeitos investigados, as dificuldades em trabalhar nessa perspectiva, bem como as experiências pessoais de estudo ou leitura sobre os conceitos científicos na perspectiva histórica e filosófica.

Martins (2007b) destaca que os sujeitos conseguem compreender a importância da história e filosofia para a formação do estudante no que se refere a melhor compreensão do conteúdo e da ciência que se estuda. Além disso, dentre as dificuldades elencadas para os sujeitos investigados destacam-se a falta de material adequado, o currículo voltado para exames, o pouco tempo disponível, as resistências dos alunos e a falta de preparo do professor. Ainda pode-se verificar que estes sujeitos conhecem aspectos históricos e filosóficos do conhecimento que lecionam e que grande parte já tentou utilizar essa abordagem em sala de aula.

A partir desses resultados, o autor considera alguns pontos para reflexão:

- Se a HFC é – quase – uma unanimidade, porque não a vemos contemplada nas salas de aula do ensino médio e em livros didáticos?
- A produção de material didático de qualidade, embora o mais citado, não é o único problema a ser considerado no contexto de dificuldades a serem enfrentadas. Há a necessidade de um trabalho em diversas outras frentes.
- Do ponto de vista da formação de professores, não basta que tenhamos disciplinas de HFC nas licenciaturas. É preciso refletir sobre o como fazer.
- [...] acreditamos que o trabalho na direção de um conhecimento pedagógico do conteúdo contribua para problematizar visões que consideramos ingênuas acerca do uso da HFC para fins didáticos.
- Há [...] um número reduzido de respostas que atribuem as dificuldades aos próprios professores. Ainda para a maioria, a fonte dos problemas está fora de sua alçada: são os materiais, os vestibulares, as escolas, os alunos. A culpa é sempre do “outro”. (MARTINS, 2007b, p. 127 – 128)

Nesse sentido, compreendemos que discussões desta natureza, embora não sejam tarefa simples, se fazem necessárias e contribuem para o processo de ensino e aprendizagem. Para que estas discussões estejam efetivamente presentes em sala de aula, é preciso formar profissionais capacitados que saibam como utilizar história e filosofia da ciência no ensino e buscar sempre inserir essas metodologias no contexto escolar, de modo a identificar quais as contribuições dessa metodologia para o processo de ensino e aprendizagem.

Por fim, cabe destacar que este estudo possibilitou uma reflexão importante acerca dos modelos atômicos, na perspectiva da história, da epistemologia e das implicações deste conceito no ensino de química. Com relação ao processo de ensino e aprendizagem do conceito de átomo, torna-se considerável a afirmação de Bachelard (1996, p. 18): “todo

conhecimento é resposta a uma pergunta. Se não há pergunta, não pode haver conhecimento científico. Nada é evidente. Nada é gratuito. Tudo é construído”.

Considerações finais

Neste trabalho discutimos sobre o conceito de átomo por meio da epistemologia de Gaston Bachelard, enfatizando algumas obras que discutem aspectos importantes acerca do desenvolvimento do conceito de átomo. Sem a pretensão de apresentar o contexto histórico, tampouco aprofundar episódios desse contexto, as discussões feitas com base nas obras de Bachelard aqui consideradas, sobre os modelos atômicos, podem ser utilizadas no processo de ensino e aprendizagem, buscando compreender a contribuição de cada cientista para o estabelecimento dos conceitos científicos. Além disso, pensando no processo de ensino e aprendizagem de um conceito tão complexo e abstrato quanto o átomo, é importante refletir e levar em consideração, alguns aspectos epistemológicos a respeito da construção deste conhecimento científico, tais como a noção de modelos como uma construção científica e o uso de imagens e analogias no ensino do conceito de átomo.

Considerando a importância da aprendizagem do conceito de átomo para o ensino de química, destacamos que as reflexões históricas, epistemológicas e pedagógicas acerca desse conceito, fundamentados em Bachelard, nos atentam para a necessidade de problematizar o conceito de átomo e a construção dos modelos atômicos, de modo a permitir que os estudantes possam compreender criticamente como a ciência se constrói, bem como a forma com que os conhecimentos científicos são modificados. Ainda destacamos a potencialidade de discussões dessa natureza para uma compreensão mais adequada da ciência e da construção científica. Finalizamos nossa reflexão destacando que para essas questões efetivamente possam se fazer presentes no processo de ensino e aprendizagem, enfatizamos a necessidade de abordagens do contexto histórico e epistemológico no ensino de ciências, tanto na formação de professores quanto na educação básica.

Referências

BACHELARD, G. *O novo espírito científico* (Os pensadores). Trad. Remberto Francisco Kuhnen, Antonio da Costa Leal, Lídia do Valle Santos Leal. São Paulo: Nova cultura, 1988.

BACHELARD, G. *A Formação do Espírito Científico*. Trad. Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BACHELARD, G. *Estudos*. Apresentação Georges Canguilhem; Trad. Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 2008.

- BACHELARD, G. *O pluralismo coerente da química moderna*. Trad. Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 2009.
- BACHELARD, G. *A experiência do espaço na física contemporânea*. Trad. Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 2010.
- BARBOSA, E.; BULCÃO, M. *Bachelard: pedagogia da razão, pedagogia da imaginação*. Petrópolis: Vozes, 2011.
- BELTRAN, M. H. R.; SAITO, F. História da Ciência, epistemologia e ensino: uma proposta para atualizar esse diálogo. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 8., 2011, Campinas. *Anais...* Campinas, 2011.
- BELTRAN, M. H. R. História da Química e Ensino: estabelecendo interfaces entre campos interdisciplinares. *Abakós*, v. 1, n. 2, p. 67-77, 2013. Disponível em: <http://periodicos.pucminas.br/index.php/abakos/article/download/P.2316-9451.2013v1n2p67/5324>, acesso em 11 nov. 2016.
- BELTRAN, M. H. R.; SAITO, F.; TRINDADE, L. S. P. *História da Ciência para Formação de Professores*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.
- BENSAUD-VINCENT, B. Gaston Bachelard (1884 – 1962). In: HENDRY, R. F.; NEEDHAM, P.; WOODY, A. I. (Ed.) *Handbook of the Philosophy of Science*. Vol. 6: Philosophy of Chemistry. Amsterdam: Elsevier BV, 2012, p. 141-150.
- BERNARDINO, M. A. D. *As analogias do livro didático público de química do estado do Paraná no processo ensino-aprendizagem*. 2010. 95 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciência e Matemática) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.
- BERTOCHÉ, G. A percepção da teoria quântica por um filósofo da década de 20. In: ENCONTRO NACIONAL DE PÓS-GRADUANDOS EM HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS, 3, Mariana, 2014. *Anais...* Mariana, 2014.
- BOHR, N. *Física atômica e o conhecimento humano: ensaios 1932 – 1957*. Trad. Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto, 1995.
- BULCÃO, M. *O racionalismo da ciência contemporânea: introdução ao pensamento de Gaston Bachelard*. Aparecida: Ideias & Letras, 2009.
- CEDRAN, J. C. *O Conceito de Estrutura dos Compostos Orgânicos: Uma Análise à Luz da Epistemologia de Gaston Bachelard*. 2015. 170f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2015.
- CHAGAS, J. A. S. *Obstáculos encontrados no processo de compreensão do conceito de reação química*. 2002. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2002.
- CHAVES, L.M.M.P. *Concepções de ciência reveladas nos conteúdos sobre modelos atômicos de livros didáticos de química*. 2011. Dissertação (Mestrado em Educação) - Universidade de Brasília, Brasília, 2011.
- CHAVES, L. M. M. P.; SANTOS, W. L. P.; CARNEIRO, M. H. S. História da Ciência no Estudo de Modelos Atômicos em livros didáticos de química e concepções de Ciência.

- Química Nova na Escola*, v. 36, n. 4, p. 269-279, 2014. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc36_4/05-HQ-176-12.pdf, acesso em 11 nov. 2016.
- EICHLER, M. L. Acerca dos possíveis compromissos entre as obras de Gaston Bachelard e de Jean Piaget. *Ciência & Cognição*, v. 14, n. 1, p. 171-194, 2009. Disponível em: <http://www.cienciasecognicao.org/revista/index.php/cec/article/view/32/36>, acesso em 11 nov. 2016.
- FERREIRA, L. M. *Atomismo: um resgate histórico para o ensino de química*. 2013. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 170 f., 2013.
- JAPIASSÚ, H. *Para ler Bachelard*. Rio de Janeiro: F. Alves, 1976.
- LABERGE, Y. La mondialisation de la philosophie: la réappropriation des idéesselon les cultures – L'exemple de Gaston Bachelard. *Lavalthéologique et philosophique*, v. 59, n. 3, p. 535-540, 2003. Disponível em: <https://www.erudit.org/revue/ltp/2003/v59/n3/008794ar.pdf>, acesso em 11 nov. 2016.
- LECOURT, D. *L'épistémologie historique de Gaston Bachelard*. Paris: Vrin, 2002.
- LINO, A. *Inserção de física moderna e contemporânea no ensino médio: a ligação entre teorias clássicas e modernas sob a perspectiva da aprendizagem significativa*. 2010. 176 f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência e a Matemática) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.
- LOPES, A. R. C. *Livros didáticos: obstáculos ao aprendizado da ciência química*. 1990. 289 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 1990.
- LOPES, C. V. M. *Modelos atômicos no início do século XX: da física clássica à introdução da teoria quântica*. Tese (Doutorado em História da Ciência) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. São Paulo, 173 p., 2009.
- LOPES, C. V. M.; MARQUES, D. M. Modelos atômicos de J. J. Thomson e Ernest Rutherford. In: BELTRAN, M. H. R.; SAITO, F. TRINDADE, L. S. (Org.) *História da Ciência: Tópicos atuais*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2010, p. 133-160.
- LOPES, C. V. M.; MARTINS, R. A. J. J. Thomson e o uso de analogias para explicar os modelos atômicos: o 'pudim de passas' nos livros texto. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 7., Florianópolis, 2009. *Anais...* Florianópolis, 2009.
- MALUF, V. J. *A contribuição da epistemologia de Gaston Bachelard para o Ensino de Ciências: uma razão aberta para a formação do novo espírito científico – O exemplo na Astronomia*. 2006. 167 f. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2006.
- MARQUES, D. M. *As investigações de Ernest Rutherford sobre a Estrutura da Matéria: Contribuições para o Ensino de Química*. 2006. 181f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciência) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2006.
- MARQUES, D. M.; CALUZZI, J. J. A história da ciência no ensino de química: algumas considerações. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5.. Bauru, 2005. *Anais...* Bauru, 2005.

- MARTINS, A. F. P. *Concepções de estudantes acerca do conceito de tempo: uma análise à luz da epistemologia de Gaston Bachelard*. 2004. 218 f. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- MARTINS, A. F. P. Algumas contribuições da epistemologia de Gaston Bachelard para o Ensino de Ciências. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 6., Florianópolis, 2007. *Anais...* Florianópolis, 2007a.
- MARTINS, A. F. P. História e Filosofia da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 24, n. 1, p. 112-131, 2007b. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/6056/12761>, acesso em 11 nov. 2016.
- MARTINS, R. A. Investigando o Invisível: as pesquisas sobre raio X logo após a descoberta por Röntgen. *Revista da SBHC*, n. 17, p. 81-102, 1997. Disponível em: http://www.sbhc.org.br/arquivo/download?ID_ARQUIVO=207, acesso em 11 nov. 2016.
- MARTINS, A. F. P. 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: Livraria da Física, 2006, p. 17 – 30.
- MATTHEWS, M. R. Historia, Filosofía y Enseñanza de las Ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 12, n. 2, p. 255-277, 1994. Disponível em: <http://www.raco.cat/index.php/ensenanza/article/viewFile/21364/93319>, acesso em 11 nov. 2016.
- MELO, A. C. S. *Contribuições da epistemologia histórica de Bachelard no estudo da evolução dos conceitos da óptica*. 2005. 198 f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
- MELO, M. R.; LIMA NETO, E. G. Dificuldades de Ensino e Aprendizagem dos Modelos Atômicos em Química. *Química Nova na Escola*, v. 35, n. 02, p. 112-122, 2013. Disponível em: http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc35_2/08-PE-81-10.pdf, acesso em 11 nov. 2016.
- MORTIMER, E. F. A evolução dos livros didáticos de química destinados ao ensino secundário. *Em Aberto*, v. 40, p. 25-41, 1988. Disponível em: <http://www.ufpa.br/eduquim/evoluo.htm>, acesso em 11 nov. 2016.
- MOURA, C. B.; GUERRA, A. Modelos atômicos em livros didáticos de química do PNLEM 2012: uma análise qualitativa à luz da história e filosofia da ciência. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 9., Águas de Lindóia, 2013. *Anais...* Águas de Lindóia, 2013.
- OLIVEIRA, R. J. *Ensino: o elo mais fraco da cadeia científica*. 1990. 256 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 1990.
- PAIVA, R. C. S. *Gaston Bachelard: a imaginação na ciência, na poética e na sociologia*. São Paulo: Annablume; Fapesp, 2005.
- PARENTE, L. T. S. *A ciência química: ensino e pesquisa na universidade brasileira*. 1985. 306f. Dissertação (Mestrado) – Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 1985.

PARENTE, L. T. S. *Bachelard e a química: no ensino e na pesquisa*. Fortaleza: Ed. da Universidade Federal do Ceará; Stylus Publicações, 1990.

PESSANHA, M. C. R. *Estrutura da matéria na educação secundária: obstáculos a aprendizagem e simulações computacionais*. 2014. 231f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

PIAI, D. *Hipóteses Sobre a Combustão Entre Alunos do Ensino Médio: A epistemologia de Gaston Bachelard*. 2007. 136f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007.

PORTO, P. A. História e Filosofia da Ciência no Ensino de Química: Em Busca dos Objetivos Educacionais da Atualidade. In: SANTOS, W. L. P.; MALDANER, O. A. (Org.) *Ensino de Química em Foco*. Ijuí: Editora Unijuí, 2010, p. 159-180.

REIS, J. M. C. *Obstáculos epistemológicos: implicações na aprendizagem do conceito de átomo*. 2015. 175 f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência e a Matemática) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2015.

SANGIOGO, F. A.; ZANON, L. B. Mobilização de linguagens e pensamentos necessários à compreensão de modelos de estruturas submicroscópicas em aulas de ciências. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 7., Florianópolis, 2009. *Anais...* Florianópolis, 2009.

SAITO, F. “Continuidade” e “Descontinuidade”: O processo da construção do conhecimento científico na história da ciência. *Revista da FAEEDBA – Educação e Contemporaneidade*, v. 22, n. 39, p. 183-194, 2013. Disponível em: <http://www.revistas.uneb.br/index.php/faeeba/article/view/338/288>, acesso em 11 nov. 2016.

SILVA, G. S.; BRAIBANTE, M. E. F.; MAZINATO, M. S. Os recursos visuais utilizados na abordagem dos modelos atômicos: uma análise nos livros didáticos de Química. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 13, n. 2, p. 159 - 182, 2013. Disponível em: <https://seer.ufmg.br/index.php/rbpec/article/download/2470/1870>, acesso em 11 nov. 2016.

SILVEIRA, M. P. *Uma análise epistemológica do conceito de substância em livros didáticos de 5ª e 8ª séries do ensino fundamental*. 2003. 144 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SISSON, N.; WINOGRAD, M. Bachelard e Freud: fenomenotécnica e psicanálise. *Arquivos Brasileiros de Psicologia*, v. 64, n. 3, p. 146-162, 2012. Disponível em: http://www.psi.puc-rio.br/site/index.php/2015-03-29-11-14-38/corpo-dopcente1/quadro-principal/item/download/98_84b26cb35b191ab8ead6f61916615f3, acesso em 11 nov. 2016.

SOUZA, P. H. *Tempo, Ciência, História e Educação: um diálogo entre a cultura e o perfil epistemológico*. 2008. 237 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SOUZA, V. C. A.; JUSTI, R. S.; FERREIRA, P. F. M. Analogias utilizadas no ensino dos modelos atômicos de Thomson e Bohr: uma análise crítica sobre o que os alunos pensam a partir delas. *Investigação em Ensino de Ciências*, v. 11, n. 1, p. 7-28, 2006. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID142/v11_n1_a2006.pdf, acesso em 11 nov. 2016.

SUART JÚNIOR, J. B. *A dialética do conhecimento científico, a prática e a experimentação: uma análise do ideário de licenciandos e sua relação com a epistemologia da ciência moderna*. 2010. 230f. Dissertação (Mestrado em Educação para Ciências) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2010.

VIDAL, P. H. O.; PORTO, P. A. Representações químicas e a História da Ciência em sala de aula. *História da Ciência e Ensino: Construindo interfaces*, v.10, p. 70-84, 2014. Disponível em: <http://revistas.pucsp.br/index.php/hcensino/article/download/18288/15400>, acesso em 11 nov. 2016.

SOBRE OS AUTORES

JHENIFFER MICHELINE CORTEZ DOS REIS. Licenciada em Química pela Universidade Estadual de Maringá, mestre e doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática da mesma universidade. Especialista em Ensino de Ciências pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Atualmente é professora na área de Ensino de Química no Departamento de Química da Universidade Estadual de Maringá.

NEIDE MARIA MICHELLAN KIOURANIS. Doutora em Educação Para a Ciência pela Universidade Estadual Paulista, UNESP, Bauru, Brasil (2009), mestre em Ensino de Química pela Universidade de São Paulo (2001), graduação em Química (Licenciatura) pela APEC/Presidente Prudente e Licenciatura em Ciências pela Universidade Estadual de Maringá (1975). Atualmente é professor adjunto da Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Química. Tem experiência na área de Ensino de Química. Participa do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e Matemática com orientação (mestrado e doutorado), atuando principalmente nas seguintes linhas de pesquisa: Formação Inicial e Continuada de Professores e Epistemologia.

MARCELO PIMENTEL DA SILVEIRA. Bacharel e licenciado em Química, mestrado e doutorado em Ensino de Ciências - Modalidade Química pelo Programa Interunidades em Ensino de Ciências - Universidade de São Paulo. Professor Adjunto da Universidade Estadual de Maringá. Coordenador do Projeto PIBID Química/UEM. Coordenador do Grupo de Estudos em Ensino de Química da UEM. Coordenador do Curso de Química. Tem experiência na área de Ensino de Química. Participa do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e Matemática com orientação (mestrado), atuando principalmente nos seguintes temas de pesquisa: Formação Inicial e Continuada de Professores e relações entre ciência e arte, especificamente - química e literatura.

Recebido: 23 de dezembro de 2015.

Revisado: 23 de julho de 2016.

Aceito: 01 de setembro de 2016.