



OBSTÁCULOS COGNITIVO-EPISTEMOLÓGICOS E MODELOS EXPLICATIVOS NO ESTUDO SOBRE A ESTRUTURA DA MATÉRIA NAS AULAS DE FÍSICA

Cognitive-epistemological obstacles and explanatory models in the study on the structure of matters in physical classes

Márlon Pessanha [pessanha@ufscar.br]
*Departamento de Metodologia de Ensino
Universidade Federal de São Carlos – UFSCar
Rod. Washington Luís, km 235 - SP-310 - São Carlos, São Paulo, Brasil*

Resumo

O conhecimento envolvido na Física Moderna e Contemporânea rompe não somente com formas de pensar próprias do conhecimento do senso comum, mas também com formas de pensar próprias da ciência clássica. Assim, a discussão sobre o seu ensino e aprendizagem no Ensino Médio passa pela compreensão sobre como formas de pensar e de construir conhecimento impactam na elaboração de modelos explicativos. Nesta pesquisa, a partir das noções de ruptura e de obstáculo epistemológico de Bachelard, e em uma aproximação aos estudos sobre modelos mentais e conceituais, buscamos entender como os obstáculos cognitivo-epistemológicos atuam na construção de modelos explicativos sobre a estrutura da matéria. Para isso, foram gravadas aulas de física ocorridas em dois contextos, a educação secundária catalã, na Espanha, e o ensino médio paulista. A partir de uma análise qualitativa e interpretativa foi possível identificar obstáculos cognitivo-epistemológicos relacionados com a percepção ingênua de fenômenos do cotidiano, com o uso de metáforas e imagens, e com um raciocínio limitado e incongruente. Conforme verificamos, estes obstáculos dificultaram a construção de modelos mentais que se aproximassem do modelo conceitual alvo. Acreditamos que as análises e conclusões aqui apresentadas contribuem para uma necessária discussão sobre o papel dos obstáculos cognitivo-epistemológicos na aprendizagem de conceitos envolvidos na Física Moderna e Contemporânea.

Palavras-Chave: obstáculos epistemológicos; obstáculos cognitivos-epistemológicos; modelos mentais e conceituais; física moderna e contemporânea; estrutura da matéria.

Abstract

The knowledge involved in Modern and Contemporary Physics breaks not only with forms of thinking proper to common-sense knowledge, but also with forms of thinking typical of classical science. Thus, the discussion about their teaching and learning in High School goes through the understanding about how ways of thinking and building knowledge affects the elaboration of explanatory models. In this research, based on Bachelard's notions of rupture and epistemological obstacle, and in an approach to studies on mental and conceptual models, we seek to understand how cognitive-epistemological obstacles act in the construction of explanatory models about the structure of matter. For that, physics classes were recorded in two contexts, Catalan secondary education in Spain, and high school in São Paulo. From a qualitative and interpretive analysis it was possible to identify cognitive-epistemological obstacles related to the naive perception of everyday phenomena, using metaphors and images, and with a limited and incongruent reasoning. As we have seen, these obstacles made it difficult to construct mental models that approached the target conceptual model. We believe that the analyzes and conclusions presented in this paper contribute to a necessary discussion about the role of cognitive-epistemological obstacles in the learning of concepts involved in Modern and Contemporary Physics.

Keywords: epistemological obstacles; cognitive-epistemological obstacles; mental and conceptual models, modern and contemporary physics; structure of matter.

INTRODUÇÃO

No século XX, vimos surgir teorias científicas que romperam com modos de pensar a natureza que, até então, haviam trazido grandes avanços à ciência. Linhas de pensamento como o mecanicismo e o empirismo foram colocados em cheque, pelo menos em parte, com o advento da Relatividade Geral e da Mecânica Quântica, as quais exacerbaram o distanciamento entre a percepção direta dos fenômenos e os modelos utilizados para explicá-los.

As indeterminações sugeridas pelas descobertas científicas envolvidas na Física Moderna e Contemporânea (FMC) causaram novas preocupações epistemológicas sobre o caráter do conhecimento científico e suas conexões com a realidade física, levando a uma necessidade de novas atitudes metafísicas na filosofia da ciência, e a uma reavaliação dos modelos tradicionais da explicação científica e da mudança científica (Castelão-Lawless, 1995). A Física Moderna e Contemporânea explicita as rupturas presentes na construção científica e, ao mesmo tempo, remete a um entendimento desta construção como uma aproximação a uma realidade material (Bachelard, 1977, 1996, 2004).

De certa forma, o conhecimento envolvido na Física Moderna e Contemporânea rompe como formas de pensar próprias da ciência clássica além de romper com as formas de pensar empregadas na construção do conhecimento comum útil à vida cotidiana. O tópico de Estrutura da Matéria, em especial, que envolve um microcosmo de abstrações, nos parece ser, talvez, um daqueles em que a ruptura epistemológica se apresenta de forma mais explícita.

O impacto das teorias modernas na ciência desenvolvida no último século levou a reflexões sobre sua inserção na formação básica dos estudantes, em especial, na educação em nível médio. No meio acadêmico, a discussão sobre a necessidade de uma atualização curricular que passe a englobar conhecimentos da ciência moderna e contemporânea vem ocorrendo de forma sistemática desde, pelo menos, a década de 1980 (Gil, Senent & Solbes, 1988; Fischler & Lichtfeldt, 1992; Gil & Solbes, 1993; Santos, Luiz & Carvalho, 2009; Barcelos & Guerra, 2015). Atualmente, temos um repertório de justificativas para a inserção da Física Moderna e Contemporânea (FMC) na educação em nível médio, que vão desde o interesse em atrair jovens para a área científica enquanto uma carreira profissional (Stannard, 1990; Wilson, 1992), até pela ideia de que o estudo da FMC pode trazer contribuições para uma mudança na “visão de mundo” que possuímos (Freire Jr et al., 1995; Gauch, 2009).

A nosso ver, pensar a inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, em especial o tópico de Estrutura da Matéria, envolve, inevitavelmente, pensar sobre como a aprendizagem deste tópico envolve rupturas e novos olhares sobre o mundo físico que é alvo de estudo. Neste trabalho, a partir de aproximações entre as ideias de obstáculo epistemológico e de modelos mentais, pretendemos colaborar com a discussão sobre a aprendizagem de tópicos de Física Moderna e Contemporânea, em especial, o tópico de Estrutura da Matéria na perspectiva das interações físicas. Nesta aproximação, em que redefinimos os obstáculos epistemológicos como obstáculos cognitivo-epistemológicos buscamos responder ao seguinte questionamento: *como os obstáculos cognitivo-epistemológicos atuam na construção de modelos explicativos sobre a estrutura da matéria elaborados por alunos da educação em nível médio?*

DOS OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS AOS OBSTÁCULOS COGNITIVO-EPISTEMOLÓGICOS: UMA APROXIMAÇÃO COM OS ESTUDOS SOBRE MODELOS MENTAIS E CONCEITUAIS

A noção de obstáculo epistemológico foi cunhada pelo filósofo da ciência francês Gaston Bachelard, em sua discussão sobre a construção histórica de algumas ideias científicas. Para Bachelard (1996), os obstáculos epistemológicos seriam as dificuldades do pensamento na superação de formas preestabelecidas do conhecer. Bachelard (1996, p. 17) afirma que os obstáculos epistemológicos são inerentes ao próprio ato de conhecer e é no “[...] *âmbito do próprio ato de conhecer que aparecem, por uma espécie de imperativo funcional, lentidões e conflitos*”. Indo além, ele defende que as causas de estagnação e até de regressão no desenvolvimento da ciência estão nos obstáculos epistemológicos.

No processo de conhecer, seja aquele que se dá na ciência ou em seu ensino, o pensamento emprega diferentes formas de acessar e construir o conhecimento. Tais formas envolvem desde o modo como os fenômenos são percebidos e analisados, até como são interpretados e comparados com o que já se conhece. Na visão de Bachelard, as formas de conhecer que levaram a construções prévias de conhecimento, por já terem sido úteis e terem apresentado resultados satisfatórios, são naturalmente utilizados na continuidade do processo de conhecer. No entanto, pela não linearidade desse processo construtivo, que em muitos casos envolve rupturas entre o antigo e o novo conhecimento, as formas de conhecer que já foram úteis podem atuar como obstáculos à continuidade do processo de conhecer.

Ao discutir os obstáculos epistemológicos, Bachelard (1996) encara a racionalidade do conhecimento científico como uma ruptura com seus princípios e não como um aperfeiçoamento da racionalidade do senso comum. O pensamento pré-científico, anterior à racionalidade científica, se constrói principalmente a partir de percepção ingênua e do primeiro contato com a natureza. Tal pensamento leva a um conhecimento concreto e tem o mérito de se basear diretamente no mundo, embora a partir de uma visão da ciência contemporânea tenha um alto grau de ingenuidade. A racionalidade do conhecimento científico, por outro lado, envolve um contato não mais direto com o mundo: com o advento do mecanicismo, envolvendo a matematização dos fenômenos, além da experimentação e de seus métodos científicos, o contato com a natureza passa a ser não mais direto, e o conhecimento que resulta desse processo, o conhecimento da ciência clássica, passa a ser concreto-abstrato.

O modo como se constrói conhecimento na experiência comum da vida cotidiana, de forma concreta e com uma fácil percepção no mundo, pode acabar por atuar dificultando ou impedindo a construção do conhecimento concreto-abstrato. Assim, a forma de conhecer mais direta, relacionada ao conhecimento concreto, seria um obstáculo epistemológico ao conhecimento concreto-abstrato. Neste sentido, Bachelard (1996, p. 19) afirma que:

“[...] o espírito científico deve formar-se contra a Natureza, contra o que é, em nós e fora de nós, o impulso e a informação da Natureza, contra o arrebatamento natural, contra o fato colorido e corriqueiro”.

Bachelard ainda defende que as próprias formas de conhecer empregadas na construção do conhecimento concreto-abstrato (ciência clássica), também podem atuar como obstáculos à compreensão e construção do “novo pensamento científico” (ciência moderna), a qual rompe não somente com a experiência direta do cotidiano, mas também com a experiência mediada pelos aparatos científicos clássicos. Desse modo, ao tratarmos da construção de conhecimento, seja relacionado com a ciência clássica ou com a ciência moderna, estamos tratando de rupturas em que os obstáculos epistemológicos assumem um papel relevante.

Obstáculos epistemológicos e a aprendizagem em ciências

Bachelard (1996) demonstra que os obstáculos epistemológicos exercem um papel importante na construção histórica das ideias científicas. É de se supor que, semelhantemente, obstáculos epistemológicos atuem no processo de aprendizagem de ideias científicas em espaços educacionais.

No âmbito da educação matemática, alguns autores discutiram a relação dos obstáculos epistemológicos com a aprendizagem de conceitos por alunos. Hercovics (1989) e Tall (1989) reconhecem que há processos de ruptura e equívocos do pensamento na aprendizagem de conceitos matemáticos, assim como ocorre no desenvolvimento histórico da ciência e da matemática. Contudo, estes autores entendem que a definição de obstáculo epistemológico de Bachelard se aplica ao desenvolvimento do pensamento científico e matemático de forma geral, e não aos casos específicos de experiências de aprendizagem individuais: os obstáculos envolvidos na aprendizagem poderiam ser definidos mais em termos de processos cognitivos do que em termos epistemológicos próprios da construção histórica de conceitos, de modo que estes autores definem os obstáculos envolvidos na aprendizagem conceitual dos alunos como *obstáculos cognitivos*. Por outro lado, autores como Cornu (1991) e Brousseau (1997) entendem que, no processo de aprendizagem dos alunos, há a atuação de obstáculos semelhantes àqueles que foram parte do desenvolvimento histórico dos conceitos matemáticos, em alguns casos há a atuação dos mesmos obstáculos, de modo que não teria sentido uma diferenciação de termos como fazem Hercovics e Tall.

Para Brousseau (1997), no âmbito da educação matemática, há conhecimentos e formas de conhecer que podem ser aplicados em determinadas áreas (situações) e, nesta aplicação, proporcionam resultados corretos e benefícios significativos. Contudo, em outras situações se apresentam como inadequados. Para o autor, estes conhecimentos e formas de conhecer, que em algum momento foram úteis, tornam-se falsos e inadequados para uma nova ou maior área, configurando-se como obstáculos epistemológicos.

Outra característica citada por Brousseau (1997) é a de que os obstáculos epistemológicos não possuem relações “lógicas” diretas com o novo conhecimento e que, portanto, necessitam ser superados. Segundo o autor, o novo conhecimento exige novos olhares, outros métodos, os quais não foram aplicados na construção de conhecimentos anteriores. O autor também afirma que os obstáculos epistemológicos não são variáveis pessoais, mas são “universais” para determinadas áreas específicas do conhecimento, isto é, são temáticos. Em outras palavras, para um mesmo conjunto de conceitos é esperado que surjam os mesmos obstáculos em diferentes contextos com diferentes pessoas. Ele ainda afirma que um obstáculo epistemológico não desaparece com a aprendizagem de um conhecimento novo. Ele resiste à compreensão

do novo, dificultando sua aplicação. O obstáculo epistemológico permanece em estado latente e reaparece inesperadamente assim que as circunstâncias permitam.

Ainda que discordemos de Brousseau em sua caracterização dos obstáculos epistemológicos como conhecimentos, já que a partir do estudo da obra de Bachelard entendamos que os obstáculos epistemológicos exclusivamente como formas de conhecer¹, concordamos com Brousseau quando ele afirma que durante o ato de conhecer, os obstáculos epistemológicos, antes úteis, tornam-se falsos ou totalmente inadequados para uma nova ou maior área. Concordamos também com sua caracterização dos obstáculos epistemológicos como impessoais e “universais” para um mesmo “conjunto” conceitual, e como não possuindo relações lógicas como novos conhecimentos para os quais eles se configuram como obstáculos. Acrescentamos, entretanto, para além de um caráter epistemológico restrito, um caráter cognitivo, ainda que impessoal, uma vez que os obstáculos epistemológicos atuam de forma decisiva na elaboração de modelos explicativos na educação em ciências. Com isso, estamos dizendo que apesar de possuir uma natureza impessoal e temática, os obstáculos epistemológicos influem de maneira decisiva nos processos cognitivos envolvidos na construção conceitual executada pelos alunos. Neste sentido, reconhecendo o seu caráter dual, coletivo e individual, epistemológico e cognitivo, optamos por definir as formas de conhecer que, ora são úteis e ora se obstaculizam à construção de conhecimento, como obstáculos cognitivo-epistemológicos

Em resumo das características que expomos, de modo a deixar explícito a compreensão que temos sobre os obstáculos cognitivo-epistemológicos, entendemos que estes: (i) são formas de conhecer ou de construir conhecimentos úteis no ato de conhecer num certo momento histórico, do indivíduo ou da ciência, mas que impedem que se continue a conhecer; (ii) são formas de conhecer sem uma relação linear com o novo e que, portanto, para a compreensão do novo é necessária uma ruptura; (iii) são inerentes ao raciocínio científico e ao conhecimento científico, e assim, não são individuais, restritos a uma única pessoa; (iv) são também resistentes e não desaparecem; (v) e atuam de forma decisiva na construção de modelos explicativos pelos alunos.

Obstáculos cognitivo-epistemológicos e os modelos explicativos

No presente artigo, propomos que os obstáculos epistemológicos, que redefinimos como obstáculos cognitivos-epistemológicos, são elementos relevantes para a compreensão do processo de construção de modelos explicativos na aprendizagem científica.

Na literatura em ensino de ciências, o termo modelo é utilizado para designar diferentes objetos e/ou elaborações, tais como modelos mentais (Greca & Moreira, 2000; Clement, 2000), modelos científicos (Adúriz-Bravo, 2013; Fuchs, 2015), modelos conceituais (Greca & Moreira, 2000), modelos expressos e modelos consensuais (Coll, France & Taylor, 2005), etc. Entre estes, os chamados modelos mentais e modelos conceituais são, talvez, aqueles que têm sido mais frequentemente estudados e citados.

Pode-se dizer que um modelo mental é um análogo estrutural de coisas do mundo que se forma na mente de alguém, em que a estrutura da representação mental corresponde à estrutura do que ela representa. Segundo Johnson-Laird (1983, 2010), as estruturas são conjuntos de relações entre objetos e eventos, de modo que os modelos mentais são, assim, réplicas mentais internas destas relações. A partir dessa ideia, podemos concluir que os modelos mentais se constroem pela internalização, mediada pelos sentidos, de informações sobre as relações entre os objetos, fenômenos/eventos e concepções presentes em uma realidade material ou abstrata acessível. Este autor ainda afirma que a combinação de modelos mentais é empregada no raciocínio dedutivo, permitindo a chegar a conclusões.

No âmbito da pesquisa em educação em ciências, os modelos mentais têm sido definidos como representações internas que os alunos constroem, enquanto análogos estruturais de uma realidade, as quais são baseadas também em seu conhecimento prévio (ideias ou concepções preexistentes na estrutura cognitiva) e experiências vivenciadas (Greca & Moreira, 2000). Segundo Greca e Moreira (2000), apesar de

¹ A diferenciação entre conhecimento e forma de conhecer é importante, tanto na leitura da obra de Bachelard, como no uso de suas ideias para compreender a aprendizagem científica e matemática. Ainda que o próprio Bachelard nomeie parte dos obstáculos epistemológicos por ele identificados como “conhecimento”, é notório que, para ele, o obstáculo epistemológico não é o conhecimento em si, mas a forma de conhecer que levou àquele conhecimento ou a forma de uso daquele conhecimento na construção de novos conhecimentos. No caso dos obstáculos epistemológicos nomeados por Bachelard como “Conhecimento geral” e “Conhecimento unitário e pragmático”, eles consistem em um contato ingênuo com os fenômenos seguido de um raciocínio pouco cauteloso, em que há inadequadamente generalizações ou o emprego de uma noção de unidade. Já o obstáculo epistemológico nomeado por Bachelard como “conhecimento quantitativo”, consiste no uso inadequado e exagerado do conhecimento quantitativo. No caso do ensino de ciências, um exemplo útil na diferenciação ente conhecimento e formas de conhecer são as concepções espontâneas: elas, em si, não são os obstáculos epistemológicos, mas resultaram de um obstáculo epistemológico relacionado com a construção de conhecimento a partir de uma percepção direta e ingênuo do mundo material.

os modelos mentais não possuem um formato muito estável e preciso, são úteis ou funcionais uma vez que a relação analógica entre o modelo mental e o sistema ao qual ele representa, permite aos alunos explicar e prever os fenômenos ou eventos.

Já há alguns anos, diferentes autores têm investigado o papel dos modelos mentais no processo de aprendizagem em ciências (Greca & Moreira, 2000, Clement, 2000, Coll, France & Taylor, 2005; Treagust & Duit, 2008; Rodrigues & Carvalho, 2014; Moutinho, Moura & Vasconcelos, 2016). Um dos trabalhos que vale ser destacado, ainda que não seja recente, é o trabalho de Clement (2000), em que o processo de aprendizagem é definido como um aperfeiçoamento dos modelos mentais se aproximando de um modelo conceitual que é alvo de estudo. Segundo o autor, os alunos chegam à sala de aula de ciências com diferentes experiências culturais, educacionais e pessoais, e este conjunto de concepções e experiências influencia na construção de seus modelos mentais, construção esta que, coincidindo com o processo de aprendizagem, ocorreria em direção ao modelo conceitual em estudo.

Conforme destacam Greca e Moreira (2000), no âmbito da educação em ciências um modelo conceitual seria uma representação coerente em relação ao conhecimento cientificamente aceito. Um modelo conceitual surge quando representações elaboradas por especialistas (pesquisadores, professores, engenheiros, entre outros), as quais facilitam a compreensão ou o ensino de sistemas ou estados das coisas no mundo, alcançam um consenso na comunidade dos especialistas. Podemos dizer que enquanto no âmbito da ciência um modelo conceitual se apresenta como uma representação precisa, completa e consistente com o conhecimento cientificamente compartilhado; na educação em ciências se apresenta também como preciso, completo e consistente, não diretamente com um conhecimento cientificamente compartilhado, mas sim com um conhecimento científico previamente didatizado, presente nos livros didáticos, na prática docente, entre outros.

A relação entre os modelos mentais e os modelos conceituais é representada por Clement (2000) em um esquema (Figura 1), pelo qual o autor define a aprendizagem como um processo pelo qual as concepções prévias dos alunos são aperfeiçoadas, e em que modelos mentais intermediários (M1, M2, ...) são construídos se aproximando de um modelo alvo (Mn).

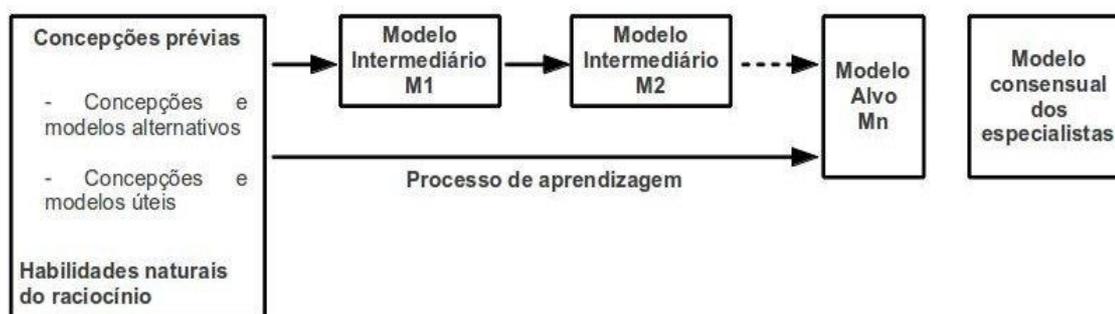


Figura 1 – Representação do processo de aprendizagem segundo Clement (2000). Adaptado do autor.

Na figura 1, o Modelo Alvo Mn é um conhecimento que se espera que seja aprendido, o qual seria justamente um modelo conceitual. No caso da educação em ciências, o modelo conceitual possui alguma relação com modelos científicos tratados no âmbito da ciência, os quais são representados pelo quadro “Modelo consensual dos especialistas”². No processo de aprendizagem, de certa forma ocorre uma reorganização das estruturas cognitivas, que deverá resultar em um modelo explicativo que se aproxima do modelo conceitual alvo.

Os obstáculos cognitivo-epistemológicos e a construção de modelos mentais

Conforme já comentamos, consideramos que os modelos mentais consistem em réplicas mentais de estruturas presentes em uma realidade acessível aos sentidos, as quais definem as relações entre objetos, fenômenos/eventos e concepções. Uma vez que a percepção da realidade é mediada pelos sentidos, e considerando que a construção do análogo estrutural mental é influenciada pela nossa experiência anterior,

² Em seu livro “La Transposition Didactique”, o educador e pesquisador francês Yves Chevallard, ainda que utilizando uma terminologia diferente, descreve o processo em que um modelo consensual da ciência (saber sábio), se transforma em um modelo consensual próprio do contexto escolar (saber a ensinar), que é possível de ser ensinado na escola.

nos parece claro que a construção dos modelos mentais está intimamente relacionada com a forma como percebemos as relações estruturais da realidade.

Em outras palavras, as formas de conhecer, isto é, as formas de acessar a realidade e os artifícios que empregamos no estabelecimento de relações, condicionam e/ou delimitam a construção dos modelos mentais. Com isso, estamos afirmando que os obstáculos cognitivo-epistemológicos assumem um papel relevante na construção de modelos mentais, afinal, as formas de conhecer levarão a diferentes modos de estruturas e a diferentes modos de inter-relacionar objetos, fenômenos e concepções.

Em uma aproximação às ideias de Clement (2000), podemos incluir a atuação dos obstáculos cognitivo-epistemológicos no processo de construção de modelos mentais que toma como referência modelos conceituais que são alvos de aprendizagem, conforme representado na Figura 2:

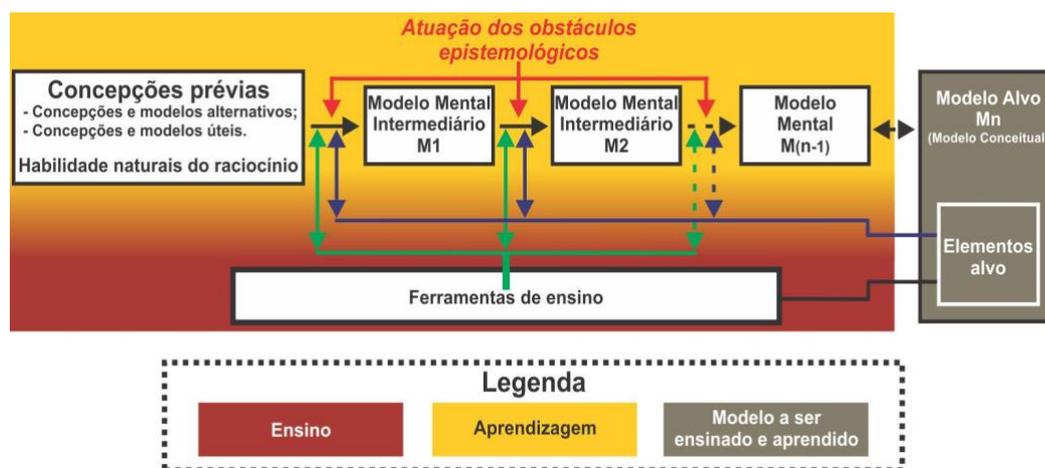


Figura 2 – Representação da ação dos obstáculos epistemológicos no processo de aprendizagem.

Na Figura 2, podemos situar os obstáculos cognitivo-epistemológicos como atuando no intervalo entre modelos mentais, por exemplo, entre M1 e M2. No esquema que propomos, entendemos os modelos mentais intermediários como modelos mentais temporários que os alunos percorrem no processo de construção conceitual. Um Modelo Mental $M_{(n-1)}$ seria aquele mais “finalizado”, que se aproxima do modelo conceitual alvo de aprendizagem.

Temos como hipótese que os obstáculos cognitivo-epistemológicos podem fazer com que o indivíduo, por exemplo, um aluno se mantenha preso a um determinado modelo mental menos semelhante ao modelo conceitual que se espera que seja aprendido. Tais obstáculos poderiam estar relacionados com a construção de quaisquer conhecimentos integrantes de um modelo mental anterior, independente do estágio em que se esteja durante a aproximação ao modelo conceitual.

O esquema que propomos, apresentado na Figura 2, inclui ainda a dimensão do ensino no processo de aprendizagem. Com isto, podemos definir o esquema como uma representação do processo de ensino-aprendizagem, e não somente como uma representação do processo de aprendizagem. A ação didática do professor é representada principalmente pelo quadro “Ferramentas de ensino” e pelas conexões deste com outros quadros. O professor, em seu planejamento didático e de acordo com as necessidades que surgem durante a situação de aula, elenca diferentes ferramentas de ensino, isto é, diferentes meios, estratégias e recursos que poderão auxiliar os alunos na construção de seus modelos mentais. Além disso, no processo dinâmico em sala de aula, professor e alunos recorrem aos elementos alvo que compõem o Modelo Conceitual, diretamente (setas azuis) ou indiretamente mediante o uso das ferramentas de ensino (setas verdes). Como, em geral, a construção de um conhecimento ocorre a partir de uma compreensão gradual e não linear de diferentes aspectos que compõem o modelo conceitual alvo, faz sentido incluir a ideia de Elementos Alvo que são os diferentes aspectos que ajudam a definir o modelo conceitual e que aos poucos são assimilados.

No esquema, considerando ainda que os alunos não são sujeitos passivos no processo, as setas representadas são sempre duplas, de modo que tanto o professor como alunos trafegam no acesso às ferramentas de ensino e ao modelo conceitual. As setas duplas também representam os diálogos que se dão na situação de aula. Pela complexidade dessas interações, não há uma clara separação entre a dimensão do ensino e da aprendizagem, o que é representado no esquema pela variação gradiente de cores que mistura ambas as dimensões. Destaca-se ainda que, por mais que os obstáculos cognitivo-epistemológicos tenham

uma ação decisiva nos processos cognitivos, é nos processos de socialização de ideias que eles podem ser reconhecidos e tratados: o professor não acessa diretamente os modelos mentais dos alunos. Assim, o reconhecimento dos obstáculos cognitivo-epistemológicos atuantes na situação de aula dependerá da externalização do que os estudantes compreendem. Neste sentido, o papel do professor em seu planejamento didático e durante a situação de aula envolve a oferta de condições para que os alunos externalizem suas construções.

Na literatura em ensino de ciências, em especial no campo de estudo sobre os modelos, formas externalizadas relacionadas com os modelos mentais têm sido denominadas como *modelos expressos*. Segundo autores como Coll, France e Taylor (2005), o modelo mental pode ser expresso, de forma não idêntica e mais delimitada, através da ação, da fala, da escrita ou outra forma simbólica, originando assim os modelos expressos. A nosso ver, são nos modelos expressos, isto é, no conjunto de ideias e representações externalizadas pelos alunos, que o professor poderá reconhecer dificuldades relacionadas com obstáculos cognitivo-epistemológicos. No esquema apresentado na figura 2, os modelos expressos estariam presentes em meio às interações entre alunos e professor, representadas pelas setas duplas (azuis e verdes).

Considerando a perspectiva teórica que assumimos, um sinalizador da atuação de um possível obstáculo cognitivo-epistemológico seria o erro (Brousseau, 1997). Vale destacar que, na perspectiva de Bachelard, o erro não é um acidente lamentável ou uma imperícia a ser evitada: errar é inevitável e é na retificação dos erros que o conhecimento científico se constrói. Para nós, é a partir dos modelos expressos, isto é, daquilo que é apresentado expressamente pelos alunos, que podem ser identificados erros que, eventualmente, estão relacionados com obstáculos cognitivo-epistemológicos.

A AÇÃO DE OBSTÁCULOS COGNITIVO-EPISTEMOLÓGICOS NO ESTUDO DO TÓPICO DE ESTRUTURA DA MATÉRIA NAS AULAS DE FÍSICA

No presente artigo, voltamos nosso olhar para os obstáculos cognitivo-epistemológicos inerentes ao processo de aprendizagem de conceitos científicos, de modo que buscamos verificar a ação destes obstáculos na construção de modelos mentais envolvendo conceitos de Física Moderna e Contemporânea.

Como nos interessamos em lidar com contextos de aprendizagem que se assemelham aos ambientes formais de ensino, ou seja, que estejam próximos ao contexto de sala de aula, desenvolvemos um estudo envolvendo situações de aula. Tais situações se deram no âmbito de um curso sobre estrutura da matéria, intitulado “De Thomson aos aceleradores de partículas”.

De maneira geral, as atividades do curso foram definidas de modo que, aos poucos, fossem incluídos diferentes aspectos relacionados com a estrutura da matéria e com aceleradores de partículas, os quais compunham o modelo conceitual que era alvo de aprendizagem. Cada uma das atividades cumpria um papel bem definido, e estava relacionado a um modelo parcial que era esperado que os alunos construíssem. A Figura 3 representa os principais aspectos que eram esperados que fossem tratados e que seriam parte dos modelos parciais:

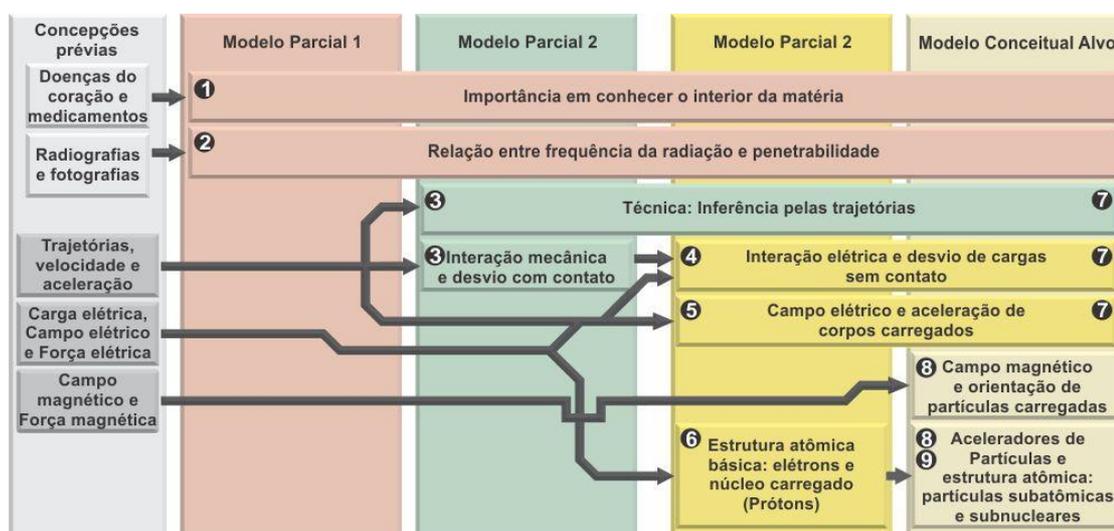


Figura 3 – Atividades e os principais aspectos envolvidos nos modelos parciais e final esperados.

Na Figura 3, enquanto as concepções prévias (percepções do senso comum e conhecimentos de Física Clássica) indicadas seriam aquelas que eram esperadas que os alunos já possuísem integrando parte de seus modelos mentais, os modelos parciais seriam modelos conceituais temporários, definidos no planejamento do curso e que se imaginava que seriam percorridos para que se alcançasse o modelo conceitual alvo. No esquema apresentado, os modelos conceituais parciais e final estão distribuídos em colunas coloridas e, dentro destas, são indicados os principais conceitos e ideias que fazem parte de cada modelo conceitual. Aquelas ideias e conceitos que são parte de mais de um modelo parcial ou final são representados por retângulos que ultrapassam o limite das colunas, e suas cores coincidem com a cor do modelo conceitual que os introduziu no curso. Os números 1 a 9 indicam as etapas (partes das atividades) que eram executadas ao longo do curso, conforme descritas no Quadro 1:

Quadro 1 – Estrutura geral do curso e tempo estimado para a realização de cada atividade.

Apresentação e Motivação (25 min.) – Após uma breve apresentação do curso é iniciada uma atividade de motivação, que busca levar os estudantes a refletir a importância de se estudar o interior da matéria (1). A atividade envolve um relato de uma pesquisa envolvendo Raios X obtidos em um acelerador de partículas, utilizados para investigar melhores medicamentos para o tratamento de doenças coronárias. Também é discutido o uso de radiografias para determinar a estrutura interna de objetos macroscópicos ou de partes do corpo humano (2).

Experimento Analógico (45 min.) – A partir de um experimento analógico (3), se busca demonstrar a técnica comumente empregada no estudo da estrutura da matéria e nos aceleradores de partículas, a qual permite obter informações de um objeto desconhecido ou oculto indiretamente, a partir de sua interação com um objeto que tem suas propriedades conhecidas. No experimento analógico, os alunos devem pensar em um método experimental para descobrir a forma, tamanho e a existência de detalhes em um objeto geométrico escondido sob uma superfície de madeira, dispondo apenas de bolas de gude.

Estrutura do Átomo (100 min.) – Tendo como base a técnica introduzida na atividade anterior, se discute o modelo atômico de Thomson (4) e sua superação a partir do experimento histórico de Geiger-Marsden (5), e a adequação de um modelo atômico com um núcleo positivo, como é o caso do modelo atômico de Rutherford (6). Nesta etapa são utilizados recursos computacionais que permitem a simulação do experimento histórico e das interações elétricas entre partículas carregadas e o núcleo atômico.

A Técnica (25 min.) – Nesta atividade, a partir de questionamentos que são propostos e com o uso de uma simulação computacional, se busca comparar a técnica empregada tanto no experimento analógico como no experimento histórico de Geiger-Marsden (7). A ênfase na discussão da técnica e seu uso para estudar o interior da matéria servem de ponte para a discussão posterior sobre os aceleradores de partículas.

Aceleradores de Partículas (25 min.) – Nesta última etapa se discute o que são os aceleradores de partículas e como eles funcionam (8). Além disso, se aborda brevemente o LHC e é citado um exemplo de acelerador de partículas localizado próximo à região em que o curso é implementado, o ALBA que está localizado na Catalunha ou o PELLETRON que está localizado em São Paulo (9).

Fonte: Adaptado de Pessanha e Pietrocola (2016).

Um detalhamento maior das atividades envolvidas no curso e dos aspectos teóricos que as nortearam podem ser verificadas em estudos anteriores (Pessanha & Pietrocola, 2016; 2017), nos quais trouxemos algumas reflexões sobre o planejamento didático e sobre a ação didática do professor.

CONTEXTO E MÉTODOS DE PESQUISA

O curso envolvendo a temática da estrutura da matéria foi planejado e implementado com alunos nos anos de 2012 e 2013, em dois contextos: inicialmente envolvendo turmas da Educação Pública Secundária Pós-obrigatória da Catalunha (Bachillerato³) e, posteriormente, envolvendo turmas de Ensino Médio Público da região metropolitana de São Paulo. À época, ambos os currículos previam o ensino sobre a Estrutura da Matéria na disciplina de Física⁴.

3 O Bachillerato é uma etapa não obrigatória da Educação Secundária da Espanha, com dois anos de curso, que possui um caráter pré-universitário em que já há um direcionamento por área de interesse e dedicação futura aos estudos na educação universitária. Os alunos que cursam o Bachillerato podem optar por uma de três áreas: Artes; Ciências e Tecnologias; ou Humanidades e Ciências Sociais.

4 Nos anos de 2012 e 2013, o currículo oficial catalão previa que fosse tratado o tópico de Estrutura da Matéria nos dois anos do Bachillerato em Ciências e Tecnologias; enquanto que o currículo paulista previa que fosse tratado nos dois últimos anos do Ensino Médio.

A execução da pesquisa seguiu um processo iterativo de (re)planejamento didático, implementação e análise (Design-Based Research Collective, 2003; Kennedy-Clark, 2013), envolvendo, ao final, seis implementações (*I₁, I₂, I₃, I₄, I₅, I₆*) que são alvos das discussões aqui apresentadas. Ocorreram quatro implementações no contexto catalão (*I₁, I₂, I₃, I₄*) com a participação em cada uma delas de, em média, 30 alunos com idades entre 16 e 17 anos, que cursavam o último ano da educação pós-obrigatória da Catalunha, na área de Ciências e Tecnologias. Ocorreram, ainda, duas implementações no contexto paulista (*I₅, I₆*), com a participação de, em média, 12 alunos em cada implementação, com idades entre 16 e 18 anos, os quais cursavam o 3º ano do Ensino Médio Regular.

Na Catalunha, quatro professores (*P₀, P₁, P₂, P₃*) participaram dos momentos de implementação, enquanto que em São Paulo, dois professores (*P₄* e *P₅*) participaram dos momentos de implementação do curso (*I₅, I₆*). Todos os professores participantes atuavam na Educação Secundária em suas respectivas regiões: *Bachillerato* e Ensino Médio. Segundo o referencial metodológico adotado, os professores participantes atuaram não somente nos momentos de implementação, mas também nos momentos de (re)planejamento didático e contribuíram com a interpretação dos dados coletados, que posteriormente foram analisados. Destaca-se que os professores participantes colaboravam com frequência de projetos elaborados e executados pelos grupos de pesquisa envolvidos no estudo aqui apresentado. Já em relação à participação dos alunos, esta ocorria a partir de convites realizados em escolas da região em que se realizava a pesquisa e, em metade das implementações (*I₃, I₅* e *I₆*), o grupo de alunos participantes eram alunos dos professores que colaboraram com o estudo, nas escolas em que estes lecionavam.

Instrumentos de coleta de dados e a análise dos dados

Como instrumentos de coleta de dados, foram utilizados câmera filmadora, gravadores de áudio, materiais preenchidos pelos alunos (dossiês) ao longo das atividades, e caderno de campo.

Enquanto a câmera captava imagens das aulas, os gravadores de áudio permitiam o registro dos diálogos que ocorriam entre alunos e professores. As gravações de som e imagem permitiram um olhar diferenciado nas análises, de forma que estas não se restringiram às observações que resultavam da imersão dos pesquisadores nas situações de ensino e aprendizagem. Já o caderno de campo possibilitou o registro de observações da situação de aula e também de aspectos didáticos que eram considerados durante os momentos de redesenho do curso. Este registro se apresentou como especialmente útil na interpretação e análise dos dados. Além destes instrumentos, como ao longo das sessões do curso os alunos efetuavam atividades na forma de questionários abertos (dossiês), estes também foram considerados na interpretação dos dados, em específico, na interpretação de diálogos que faziam referência direta a desenhos e esquemas elaborados pelos alunos em resposta ao solicitado nas questões propostas.

O estudo desenvolvido possui um caráter qualitativo e interpretativo, em que a análise dos dados consistiu na identificação e categorização dos obstáculos cognitivo-epistemológicos registrados e/ou observados nas sessões de aula, e em sua associação com aspectos de aprendizagem.

Como consideramos que os obstáculos cognitivo-epistemológicos, e principalmente a superação destes se evidenciam a partir dos modelos expressos, isto é, a partir da expressão oral e de outras expressões representativas (desenhos, gestos, etc.), as gravações em áudio e vídeo nos forneceram alguns dos principais dados para nossa análise, sendo que os dados registrados no caderno de campo e aqueles obtidos com os dossiês preenchidos pelos alunos ocuparam um papel auxiliar facilitando a interpretação dos dados audiovisuais.

Segundo o referencial teórico que assumimos em nosso estudo, buscamos inicialmente identificar os erros conceituais apresentados pelos alunos nas situações de aula. Desde o nosso marco teórico, assumimos que todo obstáculo cognitivo-epistemológico leva a erros conceituais, mas nem todo erro conceitual é resultado de um obstáculo cognitivo-epistemológico. Assim, analisamos se tais erros se deviam à atuação de possíveis obstáculos cognitivo-epistemológicos ou se eram erros mais simples relacionados, por exemplo, ao desconhecimento de algo que era tratado nas discussões. Para caracterizar os erros como associados ou não a obstáculos cognitivo-epistemológicos, foi feita uma pré-análise a partir dos diálogos gravados, buscando verificar se havia justificativas e/ou explicações dos alunos para suas ideias, e se tais explicações envolviam formas de construção de conhecimento e de interpretação dos fenômenos que se apresentavam como inadequadas na construção do conhecimento foco do estudo. Uma vez identificadas as situações em que havia possivelmente a atuação de um obstáculo cognitivo-epistemológico, a situação era transcrita para a análise mais aprofundada.

Para organizar os dados coletados a partir de diferentes fontes e para facilitar a análise qualitativa e interpretativa foi utilizado o *software* Atlas.ti (FRIESE, 2011). Trata-se de uma ferramenta para a análise qualitativa de grandes quantidades de textos, gráficos, dados de áudio e vídeo. O software foi uma importante ferramenta auxiliar na organização, gerenciamento e interpretação dos dados coletados, permitindo reunir trechos dos diálogos segundo o tipo de obstáculo cognitivo-epistemológico atuante.

A Figura 4, a seguir, traz uma representação do processo de seleção e análise dos dados:

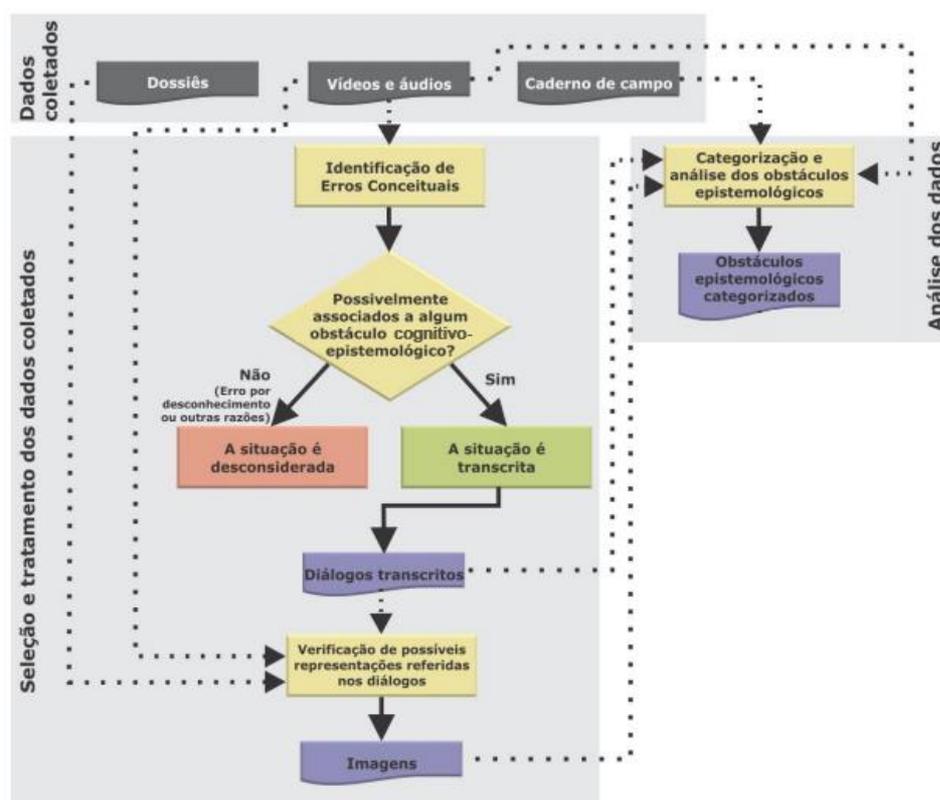


Figura 4 – Seleção, tratamento e análise dos dados coletados.

Os obstáculos identificados foram classificados segundo uma tipologia inspirada na obra de Bachelard (1996). Em nossa visão, os diferentes tipos de obstáculos identificados e classificados por Bachelard, uma vez transpostos para se pensar o ensino de ciências, podem ser reorganizados em três grupos, conforme apresentado no Quadro 2, a seguir:

Quadro 2 – Tipos de obstáculos cognitivos-epistemológicos⁵

<p>Obstáculos da percepção direta - obstáculos que envolvem a percepção da experiência cotidiana. São formas de conhecer que se apoiam no facilmente perceptível, sem um processo analítico (empírico e racionalmente orientado). Incluem-se nesta categoria as formas de conhecer próprias do senso comum que permeiam muitas das concepções espontâneas dos alunos.</p> <p>Obstáculos da metáfora, da analogia e da imagem - obstáculos que surgem a partir de um uso inadequado ou inesperado das analogias, metáforas e de imagens na explicação e construção do conhecimento científico. Consistem em uma valorização inadequada de características do análogo, da figura metafórica ou de imagens conhecidas, os quais são utilizados para ilustrar ou explicar determinados aspectos de um objeto de estudo, mas não o objeto em sua integridade.</p> <p>Obstáculos do raciocínio limitado ou incongruente - São formas de pensar limitadas ou ilógicas, que geram explicações insatisfatórias. Em alguns casos, o pensamento fica limitado a uma interpretação superficial e descritiva do observável, mas que leva a regras gerais. Em outros casos, o pensamento tende a extrapolar conclusões de uma situação limitada para outras situações, sem uma devida análise e/ou teste.</p>
--

⁵ Ao analisar os obstáculos indicados por Bachelard (1996), concluímos que: o obstáculo da experiência primeira compõe o grupo de obstáculos da percepção direta; o obstáculo verbal, o obstáculo substancialista, o obstáculo animista e o mito da digestão compõem o grupo de obstáculos da metáfora, da analogia e da imagem; já o conhecimento geral, o obstáculo realista, o conhecimento unitário e pragmático e o conhecimento quantitativo compõem o grupo de obstáculos do raciocínio limitado ou incongruente.

RESULTADOS E ANÁLISES

Foram identificadas diferentes situações didáticas em que se tornaram perceptíveis a atuação de obstáculos cognitivo-epistemológicos que interferiam no processo de construção de modelos mentais.

A seguir, apresentamos situações de emergência dos obstáculos cognitivo-epistemológicos segundo os três grupos de obstáculos apresentados no Quadro 2. As situações são identificadas com números, segundo a ordem que aparecem neste texto, seguido do código referente à implementação do curso em que a situação ocorreu: por exemplo, a primeira situação apresentada, que ocorreu na 3ª implementação do curso, é identificada como **Situação 1(I₃)**.

Os alunos participantes que têm suas falas transcritas ou desenhos apresentados neste texto são identificados por números, segundo a ordem em que aparecem neste texto, e acompanhado do código que identifica a implementação. Por exemplo, o segundo aluno a ser citado neste texto e que participou da terceira implementação do curso é identificado como **Aluno 2(I₃)**. Quando o aluno é citado em mais de uma situação, mantém-se o código que o identificou na primeira vez em que foi citado no texto.

Já os professores, por terem participado de mais de uma implementação, são identificados segundo o formato já apresentado no tópico *Contextos e métodos de pesquisa*: **P₀**, **P₁**, **P₂** e **P₃** são os professores participantes no contexto catalão; **P₄** e **P₅** são os professores participantes no contexto paulista.

I) Obstáculos da percepção direta

Em nosso estudo, registramos doze situações em que identificamos a atuação de obstáculos cognitivo-epistemológicos da percepção direta. Este tipo de obstáculo, que ocorreu com maior frequência, se apresentou de dois modos: na representação vetorial da força elétrica, da representação da interação subatômica; e relacionados à ideia de colisão mecânica aplicada ao mundo microscópico.

- Representação vetorial da força elétrica

Em uma das atividades que eram desenvolvidas, os alunos utilizavam uma simulação computacional (*The King's Centre for Visualization In Science*, 2010a) que permitia verificar o comportamento de uma partícula alfa ao se movimentar em direção a um núcleo atômico. Na atividade, uma das questões se baseava em um desenho representando a trajetória de uma partícula alfa, e solicitava aos alunos que desenhassem o vetor força elétrica atuante sobre a partícula em três posições: no início da trajetória (afastada do núcleo), em uma posição intermediária da trajetória (próxima ao núcleo), e ao final da trajetória (após sofrer um desvio devido a repulsão).

Muitos alunos representavam o vetor força elétrica incorretamente, associando a direção e o sentido do vetor à velocidade, e não à força. Como exemplo, na 3ª implementação do curso que ocorreu na Catalunha, o **Aluno 1(I₃)** elabora o seguinte desenho, apresentado na Figura 5:



Figura 5 – Desenho **Aluno 1(I₃)**, que indica erroneamente os vetores da força elétrica atuante sobre a partícula alfa em seu deslocamento próximo ao núcleo atômico.

Após o aluno efetuar o desenho na lousa digital, a professora inicia um diálogo com a turma, apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 – Situação 1(I3)

P₁: [...] Este eu não faria igual [indica o vetor mais à esquerda na imagem da Figura 5]. Tem aqui a partícula alfa. Sim? Com uma carga positiva. E aqui o núcleo positivo. E a flecha está para lá [indica o vetor à esquerda, com o seu sentido para o núcleo]. Temos duas cargas positivas.

Muitos alunos: Se repelem.

P₁: Se repelem. Se repelem. Portanto, a flecha pode estar para a direita?

Muitos alunos: Não.

P₁: Não seria mais lógico colocar para outro sentido? Entendem? Está repelindo. O núcleo repele a carga positiva.

[...]

P₁: [...] Estou fazendo uma força que o está repelindo quando ele vem para cá. Sim? Ele é a partícula alfa, vai para lá, e o que encontra? Algo que o está freando. Ok? Mas ele continua avançando. Mas ele diminui o quê?

Aluno 2(I₃): A velocidade.

[...]

P₁: [...] quando a distância é muito grande [aponta para a fórmula da força elétrica desenhada no quadro negro], a força está dividindo, a força será pequena... a força será pequena. Agora, em uma posição próxima? Ouviram o que acabei de dizer? Se está muito próxima, como será a força? Grande ou pequena?

Muitos alunos: Grande.

P₁: Muito grande. Ok? Ok. E para onde atuarão? Estão de acordo com estes desenhos?

Muitos alunos: Não.

P₁: Como seria?

Aluno 3(I₃): A repele.

[...]

Como se observa no Quadro 3, **P₁** tenta desconstruir a ideia envolvida no desenho do aluno, em que alguns dos vetores estariam mais associados a um vetor da velocidade do que a um vetor da força. Para isso, **P₁** procura levar os alunos a perceberem que a força elétrica, sendo de repulsão, seria contrária ao movimento representado na trajetória e provocaria a redução da velocidade no intervalo em que a partícula alfa se aproximava do núcleo. **P₁** também procura levar os alunos a perceberem, ao se referenciar à fórmula previamente desenhada no quadro negro, a relação entre a intensidade da força e a distância entre as cargas (partícula alfa e núcleo atômico).

O erro na representação vetorial da força, em que se associa o sentido da força ao sentido do movimento e a intensidade da força à intensidade da velocidade do movimento, é algo já conhecido na literatura em ensino de Física nos estudos sobre as concepções espontâneas dos alunos. Mais que uma concepção cientificamente incorreta, tal noção é fruto de um obstáculo cognitivo-epistemológico envolvendo a percepção ingênua e direta dos movimentos no cotidiano. Na experiência cotidiana, assume-se ingenuamente que o movimento de um corpo se mantém, necessariamente, devido a contínua atuação de uma força. Além disso, a ideia de que quanto mais rápido o corpo se move, maior é a força atuante, faz sentido no mundo cotidiano (basta lembrar que um motorista acelera para aumentar a velocidade do carro). Assim, em geral, o conceito físico de força é utilizado associado ao conceito físico de velocidade, inclusive quando se utiliza a representação vetorial. Esta forma de pensamento é resistente, pois se apoia naquilo que pode ser notado diretamente e facilmente na experiência cotidiana. Além disso, como são ideias “confirmadas” pelo senso comum, a forma como se constroem se constituem em obstáculos a toda e qualquer outra forma de pensar que rompa com essa associação entre força e velocidade. No caso destes alunos, a relação se manifestou no estudo sobre a força elétrica em uma interação subatômica, mesmo após estudos anteriores de mecânica e eletricidade em que a noção de força foi tratada.

Neste caso, temos uma situação flagrante em que a percepção direta, enquanto um obstáculo cognitivo-epistemológico, leva a um modelo explicativo compatível com a experiência cotidiana, mas incompatível com o modelo conceitual em estudo. Em outras palavras, neste caso a percepção direta leva a construção de modelos mentais, expressos no desenho (Figura 5) e nas falas (Quadro 3), em que o análogo estrutural de uma realidade estudada coincide com o conhecimento do senso comum, e não com o modelo conceitual esperado naquele momento da atividade.

- Interação mecânica e o mundo microscópico

Outro obstáculo que classificamos como da percepção direta, e que também surgiu em muitas das implementações do curso, estava relacionado à percepção dos alunos sobre colisões e desvios. Neste obstáculo, a interpretação das interações que ocorrem no mundo microscópico era influenciada pela percepção que os alunos tinham das colisões e desvios de objetos macroscópicos.

Como exemplo, apresentamos duas situações (Quadro 4 e Quadro 5) que acompanhamos durante a 5ª implementação do curso, ocorrida no contexto paulista. As situações envolveram uma atividade que, em parte, era executada com o uso de uma simulação computacional do experimento histórico de Geiger-Marsden (*The King's Centre for Visualization In Science, 2010b*). Conforme se observa na Figura 6, assim como no experimento histórico, o visor (representado pelo retângulo cinza) poderia ser colocado em diferentes ângulos em relação ao feixe de partículas. Um círculo posicionado à direita da simulação (círculo com pontos verdes) representava o que poderia ser observado no visor para cada posição em que este era colocado.

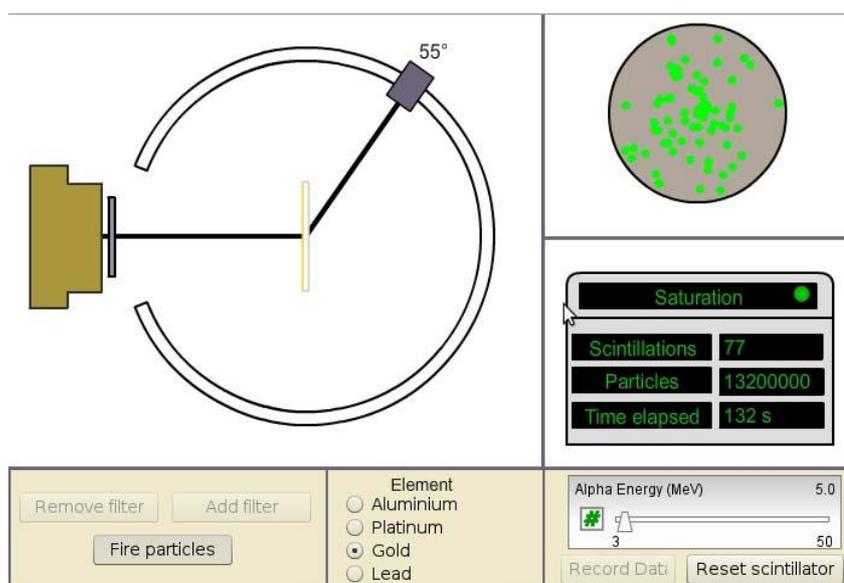


Figura 6 – Tela capturada da simulação Rutherford Scattering que representa o experimento de Geiger-Marsden.

Tendo como base uma investigação guiada pelo estudo e validação de modelos explicativos, na atividade se perguntava aos alunos sobre a posição em que o visor deveria ser colocado para que fosse obtido o maior número de centelhas no visor, causadas pela chegada das partículas alfa. Os alunos deveriam responder, apresentando uma predição, antes mesmo que se executasse a simulação e, para isso, deveriam considerar o modelo atômico de Thomson, que era discutido previamente a partir de um mapa de trajetórias de partículas alfa baseado no modelo (Figura 7).

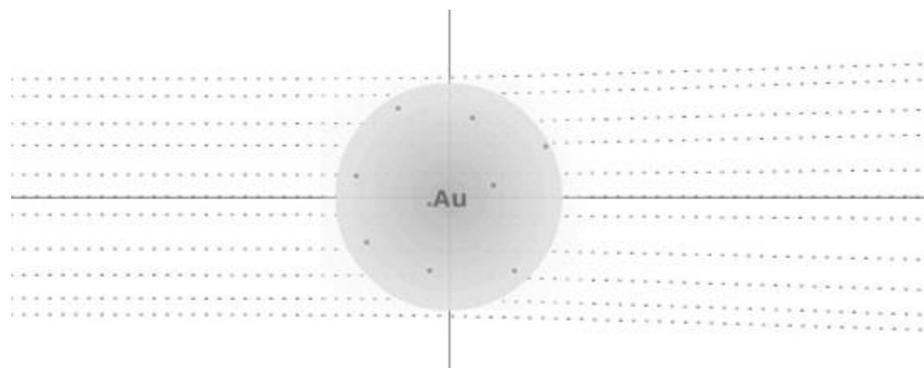


Figura 7 – Mapa de trajetórias de partículas alfa lançadas contra um átomo de ouro, tendo como base o modelo atômico de Thomson.

A situação transcrita e apresentada no Quadro 4, envolveu um momento em que a atividade foi realizada:

Quadro 4 – Situação 2(I5)

P₅: Então... Onde que eu coloco o visor pra pegar essas partículas que atravessam?
Aluno 4(I₅) e Aluno 5(I₅): No meio.
[...]
P₅: Ok. Isso aqui [aponta para o visor] pode se mover com ângulos. Ângulos pequenos estão aqui [indica a região central], e ângulos grandes são esses aqui, acima [indica outras regiões, que se afastam do centro]. Maiores. Então você poderia dizer...
Aluno 4(I₅): Mesmo batendo aqui primeiro [indica a lâmina de ouro] eles podem refletir aqui? [aponta para a região de ângulos pequenos]
P₅: Aí você tem que pensar... a partícula... Olha ali para aquele átomo, ali. [aponta para uma imagem que representa um mapa de trajetórias das partículas alfa atravessando o átomo de Thomson, apresentado na Figura 7] A partícula alfa está batendo naquele átomo e voltando?
Aluno 6(I₅): Não.
Aluno 4(I₅): Não, tá [trecho não compreensível].
P₅: Isso aí, essa folha de ouro, é como se fosse um vidro pra luz, né?
Aluno 4(I₅): Aqui passa do mesmo jeito?
P₅: Passa do mesmo jeito.

Como se pode perceber no diálogo, o **Aluno 4(I₅)** questiona se as partículas alfa chegariam ao outro lado do folha de ouro, uma vez que “batem” nesta. Como o ouro é encontrado naturalmente no estado sólido, e como a partícula alfa era vista até o momento pelos alunos como uma pequena esfera, é natural que algum aluno pensasse em uma colisão entre a partícula alfa e a folha de ouro em que a partícula não atravessaria a folha. Em nossa interpretação, tal pensamento é oriundo de uma percepção das colisões no mundo macroscópico, em que objetos sólidos pequenos lançados contra metais sólidos frequentemente são rebatidos.

Na situação apresentada, o professor **P₅** pode não ter desconstruído a ideia apresentada pelo aluno, ainda que tenha buscado mostrar que a partícula alfa atravessaria a folha de ouro com o uso de uma analogia: a partícula alfa atravessa a lâmina de ouro, assim como a luz atravessa um vidro.

Conforme podemos observar na próxima situação, apresentada no Quadro 5, que ocorreu em um momento posterior da aula, o mesmo aluno retomará a ideia de uma possível reflexão das partículas alfa na lâmina de ouro. Dessa vez, a possível colisão é utilizada pelo aluno para explicar os resultados experimentais envolvendo ângulos grandes, os quais historicamente levaram Rutherford a rejeitar o átomo de Thomson.

Quadro 5 – Situação 3(I5)

P₄: Então tá vendo que o modelo não explica esses desvios grandes. Então precisa pensar em um outro modelo. Não é isso? [...] E aí você tá vendo um desvio enorme aí, quase... mais de 90 graus, 120 graus aí. Tem um desvio enorme que o modelo não prevê. O que tá acontecendo? Então, como se explica esse desvio?
[...]
Aluno 4(I₅): Não é a lâmina?
P₄: Não, você está olhando o átomo, tá no interior da lâmina, o átomo é parte da lâmina. É isso que você está olhando lá. [aponta para o desenho com o mapa das trajetórias] A lâmina é feita de átomo. E aí você olhou que... você jogou uma partícula alfa lá e ela voltou. Então, como que você explica agora?

Como se pode observar no Quadro 5, na tentativa de encontrar uma explicação para os ângulos grandes que não eram previstos tendo como base o modelo atômico de Thomson, o **Aluno 4(I₅)** sugere que a lâmina, possivelmente por meio de uma colisão, provocaria os grandes desvios registrados no experimento. Nesta situação, o aluno mais uma vez parece resgatar a ideia de colisão no mundo macroscópico para compreender um fenômeno (virtualmente) observado.

No Quadro 5, podemos perceber que o professor **P₄** se contrapõe comentando que a lâmina de ouro era composta por átomos, sendo eles até aquele momento descritos pelo modelo de Thomson. A explicação do professor pode, no entanto, não ter sido suficiente para desconstruir o obstáculo cognitivo-epistemológico em questão, o que talvez tenha ocorrido somente mais à frente, em uma explicação mais detalhada fornecida

pelo professor **P₅**, quando emergiu um obstáculo cognitivo-epistemológico de outra natureza, mas relacionado à mesma atividade (**Situação 7(I₅)**).

Conforme comentamos, na **Situação 2(I₅)** e na **Situação 3(I₅)**, essa interpretação incorreta dos resultados e dos fenômenos subatômicos se deve, possivelmente, a uma tentativa de aplicar a percepção das colisões entre corpos macroscópicos. Desta situação, entendemos que a percepção de colisões e interações envolvendo corpos macroscópicos, que é útil para entender diversas situações cotidianas, atua como um obstáculo cognitivo-epistemológico à compreensão de interações no mundo microscópico. Percebemos neste caso, mais uma vez, mediante a percepção direta do cotidiano, o estabelecimento de relações em que o análogo estrutural diverge do modelo conceitual alvo.

No caso do estudo sobre a estrutura da matéria, em especial quando envolve as partículas elementares reveladas nos aceleradores de partículas, é inevitável que diferentes aspectos relacionados com o mundo macroscópico surjam como referência para análise e explicação. A nosso ver, se tais aspectos não forem devidamente tratados, poderão dificultar ou impossibilitar a construção de modelos mentais que sejam semelhantes aos modelos conceituais tomados como referência.

II) Obstáculos da metáfora, da analogia e da imagem

Outra categoria de obstáculos cognitivo-epistemológicos que identificamos estava relacionado com a elaboração de explicações inadequadas e/ou imprecisas a partir do uso de metáforas, analogias e imagens. Estes obstáculos, que ocorreram com uma menor frequência se comparado aos da percepção direta, foram identificados em duas situações, gerando dois subgrupos: atribuição de propriedades inesperadas em uma situação de uso de uma metáfora; e leitura de guiada por imagens conhecidas.

- Atribuição de propriedades ao objeto da metáfora

Neste subgrupo de obstáculo, a metáfora utilizada na apresentação ou discussão de um determinado objeto de estudo acaba gerando uma interpretação incorreta do objeto de estudo. O uso de metáforas, analogias e imagens é uma forma de conhecer que permite, a partir de algo conhecido, construir conhecimento sobre algo novo. No entanto, o uso pouco cauteloso das metáforas, das analogias e das imagens conhecidas pode levar a construções conceituais equivocadas, como vemos a seguir.

Na 2ª implementação do curso (**I₂**), que ocorreu no contexto catalão, ao dialogar com um aluno sobre a interação entre partículas alfa e o átomo de Thomson e sobre a predição do que deveria ser esperado na simulação do experimento de Geiger-Marsden (The King's Centre for Visualization In Science, 2010b), o professor **P₃** utiliza uma metáfora na tentativa de explicar o motivo pelo qual as partículas alfa atravessariam o átomo:

Quadro 6 – Situação 4(I₂)

<p>P₃: É... Imagine o átomo como uma nuvem. É semelhante a uma nuvem. Aluno 7(I₂): Como uma nuvem? Seria como um fluido? P₃: Sim. Como um fluido, que pode ser atravessado. Aluno 7(I₂): O átomo deforma? P₃: Deforma? Como? Aluno 7(I₂): Quando um objeto passa no ar, em um fluido... Se for como um fluido, o átomo deforma. O objeto no ar faz... faz... tornados, pequenos tornados. P₃: Não! Atravessa... Você está falando de vórtices? Aluno 7(I₂): É, acho que é isso. P₃: Não. Imagine que o átomo, o átomo de Thomson é como uma nuvem, como um fluido, no sentido que consegue atravessar. O átomo não é um fluido, atravessa como se fosse em um fluido. Por exemplo, bolas lançadas no ar. O átomo de Thomson é uma... veja a definição. Onde está? Aqui. [aponta para a descrição do átomo de Thomson disponível no roteiro da atividade] Diz que é uma esfera positiva com cargas negativas, ok? O átomo é uma esfera que pode ser penetrada pela partícula alfa, mas não deforma. Somente atravessa, como em um fluido, mas não é um fluido. Aluno 7(I₂): Ok. Ok. P₃: Entendeu? Aluno 7(I₂): Sim. Atravessa, mas o átomo não deforma. Não é um fluido.</p>

Podemos observar no diálogo apresentado no Quadro 6 que a metáfora do átomo de Thomson como uma nuvem, a qual foi utilizada com frequência nas implementações no contexto catalão, gerou um resultado inesperado sobre as propriedades do átomo. Com base na metáfora, o **Aluno 7(I₂)** pergunta se o átomo de Thomson seria como um fluido, e após a resposta afirmativa do professor **P₃**, elenca algumas características dos fluidos que não eram aplicáveis para entender a estrutura do átomo: a capacidade de se deformar facilmente e a criação de vórtices quando é atravessado por algo.

Como podemos perceber, o conhecimento que o aluno já possui sobre o termo utilizado na metáfora, neste caso o termo *nuvem*, acaba sendo considerado na interpretação do objeto de estudo foco do uso da metáfora. Vale destacar ainda que o obstáculo identificado nesta situação é semelhante ao descrito por Bachelard (1996) para o *obstáculo verbal*, em que uma palavra acaba ocupando o lugar de toda uma explicação, abrindo espaço para construções equivocadas. Esta situação sinaliza, a nosso ver, um processo de elaboração de um modelo mental em que a estrutura analógica se constrói a partir da interação entre as concepções prévias do aluno (seu entendimento para o conceito de nuvem) e os elementos da figura metafórica. Esta constatação vai ao encontro daquilo exposto por Greca & Moreira (2000), quando afirmam que os modelos mentais se formam, também, a partir do conhecimento prévio. Ainda que a relevância do conhecimento prévio no processo de aprendizagem e o impacto do uso de metáforas no ensino de ciências sejam bem conhecidos e largamente discutidos na literatura, é interessante notar que, desde o marco teórico que elencamos, esta situação explícita como uma forma de conhecer, que é o caso do uso de uma metáfora, atua como um obstáculo cognitivo-epistemológico à construção, pelo aluno, de um modelo explicativo que se aproximasse do modelo conceitual parcial que era esperado.

Vale destacar que, na situação apresentada, o professor reconhece o uso inapropriado de elementos da metáfora e a desconstrói, de modo a evitar que um modelo mental impreciso, relacionado com um modelo conceitual parcial estudado (modelo de Thomson) fosse construído. Em outras palavras, apesar da ação do obstáculo cognitivo-epistemológico, a intervenção do professor parece ter sido efetiva evitando consequências maiores no processo de aprendizagem.

Algo que vale ser ressaltado é que, nas implementações do curso, o uso da metáfora, ainda que tenha gerado resultados inesperados, facilitava a compreensão da penetrabilidade das partículas alfa no átomo de Thomson. Entretanto, foi necessária a desconstrução da parte indesejada da metáfora de modo a permanecer nos limites de uma analogia: da comparação implícita envolvida na metáfora, partiu-se para uma comparação mais explícita evidenciando o que havia de semelhante/parecido ou não entre uma nuvem e um átomo de Thomson.

Destaca-se ainda que conteúdos científicos com um maior grau de abstração, como aqueles oriundos da Física Moderna e Contemporânea que envolvem fenômenos e entidades não diretamente perceptíveis aos sentidos, muitas vezes necessitam de explicações baseadas no uso de metáforas, analogias e imagens para serem melhores compreendidos. No entanto, conforme observamos a partir da situação analisada, tal uso deve vir acompanhado de cautela.

- Leitura guiada pela imagem conhecida

Outro subgrupo de obstáculo cognitivo-epistemológico que classificamos como integrante da categoria dos obstáculos da metáfora, analogia e da imagem está relacionado com a leitura incorreta de uma representação baseando-se em uma imagem já conhecida.

Nas atividades do curso, ao utilizar a simulação do experimento de Geiger-Marsden⁶ (*The King's Centre for Visualization In Science*, 2010b), era esperado que os alunos reunissem elementos que os levassem a reconhecer a estrutura atômica como possuindo um núcleo atômico, diferentemente do representado pelo modelo atômico de Thomson. No entanto, na segunda implementação no contexto catalão (I₁), um grupo de alunos chegou à conclusão que a estrutura atômica seria aquela representada pelo modelo de Thomson, e que a simulação do experimento mostrava isso. No quadro 7, apresentamos a **Situação S5(I₂)**, em que isso aconteceu.

⁶ Como pode ser observado em algumas das situações que apresentamos, frequentemente nas implementações, professores e alunos se referiam ao experimento de espalhamento de partículas alfa por uma folha de ouro como experimento de Rutherford. Historicamente, o experimento foi executado por Hans Geiger e Ernest Marsden, mas com a supervisão de Rutherford. Assim, entendemos ser mais adequado chamá-lo de experimento de Geiger-Marsden. Nas transcrições, no entanto, mantivemos a designação exata presente na fala dos participantes.

Quadro 7 – Situação 5(I₂)

P₃: Vocês. A que conclusão chegaram após utilizarem a simulação do experimento de Rutherford?
[...]
Aluno 8(I₂): Que a estrutura do átomo é como Thomson descrevia.
P₃: Vejamos. Você está dizendo que o experimento de Rutherford comprova o modelo atômico de Thomson?
Aluno 8(I₂) e Aluno 9(I₂): Sim.
P₃: Ok. Mas como concluíram isto?
Aluno 10(I₂): No experimento, vimos o modelo de Thomson.
Aluno 8(I₂): É. Olhe, olhe a tela [aponta para a simulação na tela do computador]. O que se vê no visor é o átomo de Thomson.
P₃: Então vocês estão dizendo que no visor do experimento, Rutherford conseguia ver o átomo e este átomo seria igual ao previsto por Thomson? É isto?
Aluno 8(I₂), Aluno 9(I₂), Aluno 10(I₂) e Aluno 11(I₂): Sim.
P₃: Mas Rutherford não via o átomo. O que aparece no visor é o átomo?
Aluno 8(I₂): Sim. Não?
P₃: Não. O que está escrito no roteiro? O que diz sobre o visor do experimento?
Aluno 8(I₂): Vejamos...
P₃: Diz que o visor permite identificar as partículas alfa que chegam. O que são os pontos no visor?
Aluno 8(I₂): As partículas? As partículas alfa?
Aluno 9(I₂): Eu pensava que eram os elétrons.
P₃: É um centelhamento. As partículas alfa chegam até uma... uma parede de sulfeto de zinco. São absorvidas e isso provoca o centelhamento. Então, com o centelhamento, pode ver se chegou uma partícula alfa.
Aluno 8(I₂): Então o visor não é como um microscópio, em que veria o átomo?
P₃: Não. O visor permite ver onde chegam as partículas alfa.

No diálogo apresentado no Quadro 7, podemos notar que os alunos **Aluno 8(I₂)**, **Aluno 9(I₂)**, **Aluno 10(I₂)** e **Aluno 11(I₂)** chegam à conclusão que o experimento de Geiger-Marsden confirmava que o átomo de Thomson estava correto, e tal erro foi induzido por uma leitura incorreta do *layout* da simulação *Rutherford Scattering* (*The King's Centre for Visualization In Science*, 2010b). Os alunos interpretavam o círculo de cor cinza com pontos verdes, que fazia parte do *layout* da simulação (apresentado na Figura 6), como sendo uma visualização direta do átomo. Com base no que é comentado pelo aluno **Aluno 8(I₂)**, em sua última fala, o visor do experimento era entendido como um microscópio que permitia a visualização direta do átomo, o qual era visto como semelhante ao proposto por Thomson, com pontos representando os elétrons, imersos em uma esfera que teria carga positiva.

Os alunos se apoiavam em uma semelhança visual entre o círculo que representava o visor do experimento e uma representação comum do átomo de Thomson, que inclusive era utilizada no roteiro do curso (Figura 8).

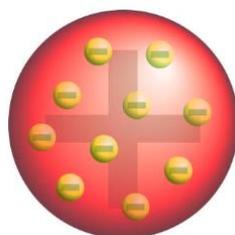


Figura 8. Representação do átomo de Thomson utilizada no curso. Disponível em: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Plum_pudding_atom.svg>. Acesso em: 17 nov. 2015.

Na situação apresentada, devido a uma possível desatenção na leitura do roteiro da atividade e na explicação da simulação computacional feita pelo professor, os alunos acabam interpretando uma parte da simulação como algo diferente do esperado. A discussão do experimento histórico nas aulas, com o uso de uma simulação, foi pensada com o intuito de permitir aos alunos reconhecerem a superação de um determinado modelo e, em uma ruptura conceitual, perceberem a necessidade de um novo modelo

explicativo. O obstáculo cognitivo-epistemológico envolvendo uma imagem conhecida, no entanto, levou à inesperada confirmação do modelo que deveria ser superado.

A superação do modelo conceitual parcial (modelo de Thomson) conforme se esperava, e um entendimento claro sobre a técnica empregada no experimento, era vital para uma compreensão correta da estrutura atômica e, também, de outros aspectos tratados posteriormente no curso. Caso o obstáculo em questão não fosse devidamente tratado, estaria prejudicada a compreensão de tais aspectos e, logo, que se continuasse em um processo de ensino-aprendizagem efetivo em que os modelos elaborados pelos alunos fossem construídos de modo a se aproximarem do modelo conceitual final.

III) Obstáculos do raciocínio limitado ou incongruente

Um último grupo de obstáculos cognitivo-epistemológicos incluídos em nossa classificação envolve aqueles relacionados a um raciocínio que se apresenta como limitado ou incongruente quando gera explicações. Em nosso estudo, registramos quatro situações com obstáculos desta natureza, dos quais trazemos dois como exemplo. Nesta categoria de obstáculos epistemológicos, de acordo com os dados obtidos, definimos dois subgrupos: o raciocínio limitado que leva a regras mais gerais e superficiais; e o raciocínio que extrapola os limites da conclusão.

- Raciocínio limitado que leva a regras gerais e superficiais

Em uma situação ocorrida na 3ª implementação na Catalunha (I₃), os alunos de um grupo discutiam uma das questões abordadas em uma atividade que envolvia a predição sobre a interação entre as partículas alfa e o átomo de Thomson. A predição, que se baseava no mapa de trajetórias que apresentamos na Figura 8, posteriormente poderia ser verificada como válida ou não com o uso da simulação do experimento de Geiger-Marsden (*The King's Centre for Visualization In Science*, 2010b). O diálogo que registramos é apresentado no Quadro 8.

Quadro 8 – Situação 6(I₃)

<p>Aluno 12(I₃): Como pode explicar que as partículas alfa atravessavam o átomo? Porque elas chegaram. [se refere as que são identificadas no visor quando colocado em ângulos pequenos] [O Aluno 13(I₃) gesticula discordando]</p> <p>Aluno 12(I₃): Como que não?</p> <p>Aluno 13(I₃): Sim, chega... Vão chegar as que atravessaram?</p> <p>[A professora P₂ se aproxima do grupo]</p> <p>Aluno 12(I₃): Vão chegar as que atravessaram. Se não as pode ver é porque não atravessaram. Ou não? Se você as tem aqui [aponta para a fonte de partículas alfa na simulação do experimento de Geiger-Marsden], depois as tem aqui [aponta para a região em que chegariam as partículas com desvios com ângulos pequenos], é porque atravessaram. Senão faria assim [gesticula indicando uma trajetória da partícula indo à placa e voltando].</p> <p>P₂: E, como explica? Não?</p> <p>Aluno 13(I₃): Por que atravessa? Esta é a pergunta.</p> <p>Aluno 12(I₃): Não! Não diz "Por que atravessa?".</p> <p>P₂: "Como poderia explicar que as partículas alfa atravessam o átomo?".</p> <p>Aluno 12(I₃): Por que elas chegam.</p> <p>P₂: Sim, isso já se tem claro.</p> <p>Aluno 12(I₃): Chegam porque atravessaram.</p> <p>P₂: E por que atravessam?</p>
--

Na situação analisada, é possível perceber que o aluno **Aluno 12(I₃)** se limita em sua explicação a afirmar que as partículas alfa que atravessam o átomo de Thomson eram as que chegavam ao outro lado do átomo, e as que não chegavam ao outro lado, é porque não atravessavam. A professora **P₂**, ao intervir no diálogo, tenta levar o **Aluno 12(I₃)** a pensar no *porquê* das partículas alfa conseguirem atravessar o átomo. Quando questionado sobre o *porquê*, o aluno reconhece que não está respondendo, e apoiando-se no próprio enunciado da questão, mantém-se em sua explicação simplificada. Esta forma de pensar, que se restringe a descrever o simples facilmente observável e não explica o observável, chegando até mesmo a regras mais gerais, é um raciocínio limitado que atua como um obstáculo cognitivo-epistemológico.

Aqui podemos ver algumas semelhanças entre a explicação dada pelo aluno e a noção de obstáculo do conhecimento geral apresentado por Bachelard (1996). Com um exemplo desse tipo de obstáculo,

Bachelard destaca a noção aristotélica sobre a queda dos corpos, em que os corpos deveriam buscar o seu lugar natural, e por isso, alguns corpos como as pedras caíam até o solo, enquanto outros como o vapor e a fumaça subiam. Assim como na explicação dada pelo aluno, é empregada uma forma de construção de conhecimento que leva a responder facilmente e superficialmente o porquê de algo, de forma clara, objetiva e fácil, de tal modo, conforme destaca Bachelard (1996), que um espírito pré-científico se daria por satisfeito com esta resposta.

- *Extrapolando o limite das conclusões*

Em algumas situações verificamos que as conclusões obtidas a partir da observação de uma parte limitada de um objeto de estudo foram extrapoladas para entender outras partes. Como exemplo, verificamos em uma situação ocorrida na última implementação do curso no contexto paulista, transcrita no Quadro 9.

Conforme apresentado na **Situação 7(I₅)**, no uso da simulação *Up Close Rutherford Scattering (The King's Centre for Visualization In Science, 2010a)* que representava a interação de partículas alfa com um único núcleo, se buscava entender, sem as adequações necessárias, o resultado da interação das partículas alfa com a lâmina de ouro inteira do experimento de Geiger-Marsden. Em um diálogo entre o professor **P₄** e um grupo de alunos, o **Aluno 5(I₅)** questiona se nenhuma partícula alfa passava em linha reta como o que havia sido verificado na simulação do experimento de Geiger-Marsden (*The King's Centre for Visualization In Science, 2010b*):

Quadro 9 – Situação 7(I₅)

Aluno 5(I₅): Nenhum passa em linha reta que nem o experimento que a gente fez na primeira vez? [se refere ao experimento de Geiger-Marsden]
P₄: Nenhuma passa em linha que nem foi no experimento... Olha só, tem uma coisa importante, pessoal [chama a atenção dos demais alunos que compunham o grupo]. Tem uma coisa importante que agora ela falou. Nenhuma vai chegar em linha reta. Aqui, chega em linha reta? Nesse desenho que você fez aqui? [aponta para uma das trajetórias de um desenho feito pelo Aluno 5(I₅)]
[Trecho não compreensível]
P₄: E agora, o que vai acontecer com ela? Ela vai passar reto? [pergunta se referindo à partícula alfa e a sua trajetória em direção ao núcleo atômico]
Aluno 4(I₅): Ela vai passar reto.
P₄: Vai passar reto?
Aluno 13(I₅): Eu acho que ela vai bater no núcleo e vai voltar.
P₄: Vai bater no núcleo? Então tem duas possibilidades: vai até o núcleo e voltar ou passa reto. O passar reto seria o equivalente aos ângulos pequenos. É... Ok! Isso aqui é uma carga positiva [aponta para o núcleo em um desenho].
Aluno 13(I₅): Certo.
P₄: Essa aqui é uma partícula positiva [aponta uma partícula alfa no mesmo desenho anterior].
Aluno 13(I₅): Certo.
P₄: Não tem uma repulsão?
Aluno 13(I₅): Tem.
Aluno 5(I₅): Então ela volta.
P₄: Então ela volta. Então é uma coisa que vocês já sabem. Vamos comparar agora isso com o experimento. Ok?
Aluno 5(I₅): Mas ela é só positiva, não tem negativa aí?
P₄: Partícula alfa é positiva e o núcleo é positivo.
Aluno 5(I₅): Então todas voltam, nenhuma passa.
P₄: E o experimento, o que acontece com o experimento?
Aluno 4(I₅): Muitas passam.
P₄: Muitas passam, não é? Qual é a diferença que vocês têm disso aqui [aponta para o desenho] para o experimento? No experimento, no experimento... Olha! Isso aqui é uma folha de ouro [aponta para parte da simulação do experimento de Geiger-Marsden]. O que você tem aqui nessa folha de ouro? Você tem um átomo? Ou você tem vários átomos em uma folha de ouro?
Aluno 5(I₅): Vários.
P₄: Vários, né. Então é como se você tivesse um núcleo aqui, outro núcleo aqui, e vários outros... [faz um desenho em uma folha de papel, representando núcleos atômicos lado a lado, como apresentado na Figura 9] Ok? Então você vai ter partícula alfa [desenha um ponto próximo ao desenho dos núcleos], imagina que isso é muito pequeno. Então se você jogar uma partícula alfa e ela veio aqui [desenha a trajetória entre dois núcleos]. O que vai acontecer com ela?

Aluno 14(I₅): Passar pelo meio.

P₄: Passa pelo meio. Então, ainda assim com esse modelo atômico com um núcleo você consegue explicar o experimento de Rutherford [fala enquanto desenha a trajetória para outras duas partículas, e se refere ao experimento de Geiger-Marsden].

Segundo o que se nota no diálogo, o professor **P₄** identifica o raciocínio por detrás do questionamento do aluno e chama a atenção dos demais alunos do grupo. Por meio de explicações e com o apoio de um desenho (Figura 9), o professor **P₄** se dedica a desconstruir o raciocínio incorreto.

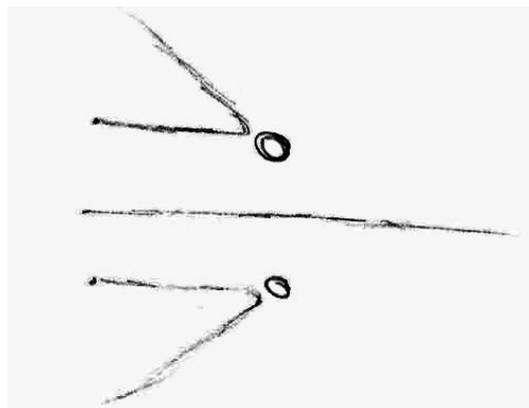


Figura 9. Desenho feito pelo professor **P₄**, ao explicar os desvios com ângulos pequenos no experimento de Geiger-Marsden considerando o modelo atômico com um núcleo.

Na situação analisada, inferimos que o questionamento do **Aluno 5(I₅)** se baseia em uma extrapolação do que fora observado para um núcleo de átomo para compreender toda a folha de ouro do experimento de Geiger-Marsden que era composta por muitos átomos. Ainda que, na oportunidade, os alunos não tenham avançado muito na interpretação incorreta, em parte por conta da rápida intervenção do professor, podemos dizer que o obstáculo em questão poderia prejudicar o entendimento e a aceitação do modelo atômico com um núcleo como mais adequado para explicar os resultados experimentais. De fato, se toda a folha de ouro fosse como um único núcleo atômico, o modelo atômico de Thomson seria mais adequado para explicar os resultados do que o modelo atômico nuclear. Assim, essa poderia ser, inclusive, uma conclusão possível que os alunos poderiam chegar caso o obstáculo não fosse tratado.

Algo a mais que vale ser destacado é a participação do **Aluno 4(I₅)** nesta situação. Como vimos anteriormente na **Situação 2(I₅)** e na **Situação 3(I₅)**, o aluno utilizava uma percepção das colisões entre corpos macroscópicos para gerar explicações para fenômenos subatômicos. Nesta última situação que apresentamos, a **Situação 7(I₅)**, a explicação do professor envolvendo diversos questionamentos que eram feitos aos alunos, pode ter levado o aluno a reconhecer uma explicação mais adequada para a interação entre a partícula alfa e uma folha de ouro ou com um átomo. Ou seja, o aluno pode, neste momento do curso, ter reconhecido uma explicação mais adequada do que as que vinha utilizando baseando-se em uma percepção do mundo macroscópico. Na continuação da aula, nos demais diálogos do grupo incluindo aqueles com a participação do **Aluno 4(I₅)**, não identificamos outras imprecisões relacionadas com a percepção do mundo macroscópico, seja na compreensão do fenômeno envolvido no experimento de Geiger-Marsden ou mesmo dos fenômenos que se dão nos aceleradores de partículas que eram tratados posteriormente.

Nestes dois casos de obstáculos do raciocínio limitado ou incongruente, percebemos que os raciocínios empregados impossibilitariam, se não houvesse a intervenção dos professores, que se acesse a um modelo explicativo que fosse mais próximo de um modelo conceitual parcial pretendido: um pensamento que limita a própria observação e discussão, que dificultaria que se chegasse a uma explicação mais elaborada, e a extrapolação precipitada que reafirmaria um modelo conceitual que, naquele momento, se esperava que fosse superado.

A partir dessas duas últimas situações, vale destacar ainda que, por mais que nos estudos sobre os modelos mentais o raciocínio dedutivo ocupe um lugar maior nas discussões, em especial por ajudar a explicar a forma como os modelos mentais são empregados de forma funcional após já terem sido construídos, o raciocínio indutivo merece ser alvo de maior discussão por ocupar um papel no processo de construção de modelos mentais. Conforme vimos, o raciocínio indutivo, enquanto um obstáculo cognitivo-epistemológico envolvendo generalizações a partir de aspectos específicos, acabam por levar à manutenção

de modelos mentais prévios que se espera que sejam desconstruídos, ou mesmo leva à construção de modelos mentais inesperados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em nosso estudo, a partir de um marco teórico em que situamos os obstáculos cognitivo-epistemológicos como ocupando um papel relevante no processo de construção de modelos explicativos (mentais e conceituais), buscamos verificar como obstáculos cognitivo-epistemológicos atuam na construção de modelos explicativos sobre a estrutura da matéria.

A partir de um referencial metodológico baseado no planejamento didático (*Design-based research*), planejamos, em conjunto com professores, um curso sobre a estrutura da matéria que foi aplicado em diferentes momentos em dois contextos. O nosso estudo revelou a ação, nas aplicações do curso, de diferentes obstáculos cognitivo-epistemológicos, os quais classificamos como pertencentes a três categorias distintas.

Muitos dos obstáculos foram classificados como *obstáculos da percepção direta*, que conforme definimos, são aqueles relacionados às concepções espontâneas construídas em meio à experiência cotidiana, que se integram ao senso comum, e baseiam-se na percepção direta amparada nos sentidos humanos. Assim, no caso do âmbito investigado, ainda que em um processo de construção de conhecimento sobre tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) a Física Clássica ofereça elementos que se obstaculizariam à aprendizagem, foi possível perceber que os obstáculos cognitivo-epistemológicos mais frequentes estavam relacionados com as ideias e conhecimentos que os alunos possuem de sua experiência cotidiana. Com isso, podemos supor, hipótese que merece mais estudos, que muitas das dificuldades presentes no processo de aprendizagem da FMC, isto é, no processo de elaboração de modelos mentais, podem estar associadas a obstáculos mais básicos, relacionados com um “espírito pré-científico” regido pela percepção direta pelos sentidos.

Em outras palavras, no estudo realizado, percebemos que a aprendizagem de conceitos de Física Moderna e Contemporânea necessitava, em mais situações, não de um rompimento com a ciência clássica, mas sim ao rompimento com o conhecimento do senso comum. De certa forma, é compreensível que assim seja. Os alunos, e as pessoas em geral, possuem toda uma carga de experiências anteriores que se dão ao longo de suas vidas, experiências estas associadas ao senso comum e que vão interferir na compreensão do novo. No caso do estudo da Física, os alunos que se encontram na Educação Secundária (como o *Bachillerato* ou o Ensino Médio) possuem um curto período de estudo da Física Clássica, e o conjunto de conhecimentos clássicos, por mais que sejam úteis à vida cotidiana, em muitos casos acabam sendo delimitados ao âmbito escolar, e muitas vezes não são elencadas para interpretar o novo.

Outra categoria de obstáculos cognitivo-epistemológicos identificados foi o das analogias, metáforas e imagens. Foram poucas as situações em que este tipo de obstáculo surgiu, mas podemos dizer que ele tem uma importância considerável, uma vez que pode levar, conforme vimos, à elaboração de modelos explicativos divergentes do esperado ou à confirmação de modelos conceituais parciais que deveriam ser superados. Além disso, nas situações analisadas é possível perceber que a escolha didática pelo uso de uma metáfora e de uma imagem parece ter facilitado a emergência deste tipo de obstáculo cognitivo-epistemológico. Ainda que já tenhamos apresentado algumas análises sobre isto em outro trabalho (Pessanha & Pietrocola, 2016), entendemos que a relação entre as escolhas didáticas do professor e os *obstáculos da analogia, da metáfora e da imagem*, precisam ser melhor investigados.

A última categoria de obstáculos cognitivo-epistemológicos que apresentamos foi a dos *obstáculos do raciocínio limitado ou incongruente*. Com relação a este tipo de obstáculos, nos parecem que em alguns momentos eles surgem a partir de um processo de conhecer pouco cuidadoso. Em nosso estudo, identificamos este tipo de obstáculo atuando como uma forma de pensar limitada ou precipitada, que leva a conhecimentos gerais ou a extrapolar conclusões. No entanto, como o conhecimento científico se constrói a partir de, entre outras coisas, deduções, interpretações e inferências que têm como motor o pensamento, é possível que haja outras formas de conhecer que podem estar associadas a algum raciocínio limitado ou incongruente, além daqueles que apresentamos. Neste sentido, novos estudos podem ser realizados e outros obstáculos epistemológicos pertencentes à categoria do raciocínio limitado ou incongruente podem ser revelados.

Nas situações analisadas, os obstáculos dificultaram e, em alguns momentos, impossibilitaram que se avançasse no processo de construção de modelos mentais que fossem próximos ao modelo conceitual que era alvo de estudo. Na introdução deste artigo, apresentamos a pergunta de pesquisa que norteou o

nosso estudo: *como os obstáculos cognitivo-epistemológicos atuam na construção de modelos explicativos sobre a estrutura da matéria elaborados por alunos da educação em nível médio?*

A partir dos dados obtidos e da análise efetuada, nos parece claro que os análogos estruturais que se elaboravam em meio às atividades em sala de aula eram, em certa medida, delimitados pela forma como se buscava construir o conhecimento sobre estrutura da matéria em estudo. Os modelos conceituais parciais que eram discutidos, e que foram pensados desde o planejamento didático, envolviam diferentes aspectos esperados que fossem reconhecidos como parte da estrutura conceitual envolvida no modelo conceitual final. Nas situações analisadas, percebemos que os obstáculos cognitivo-epistemológicos impossibilitariam, se não fossem superados, o reconhecimento de tais aspectos, prejudicando a construção de modelos mentais que possuíssem correspondência com o modelo conceitual alvo de estudo.

De maneira geral, acreditamos que as análises e conclusões aqui apresentadas contribuem para uma necessária discussão sobre o papel dos obstáculos cognitivo-epistemológicos na aprendizagem de conceitos envolvidos na Física Moderna e Contemporânea.

REFERÊNCIAS

- Adúriz-Bravo, A. (2013). A "Semantic" View of Scientific Models for Science Education. *Science & Education*, 22(7), 1593-1611. DOI: [10.1007/s11191-011-9431-7](https://doi.org/10.1007/s11191-011-9431-7)
- Bachelard, G. (1977). *O racionalismo aplicado*. Rio de Janeiro, Brasil: Zahar Editores.
- Bachelard, G. (1996). *A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento*. Rio de Janeiro, Brasil: Contraponto.
- Bachelard, G. (2004). *Ensaio sobre o conhecimento aproximado*. Rio de Janeiro, Brasil: Contraponto.
- Barcelos, M. & Guerra, A. (2015) Inovação curricular e Física Moderna: da prescrição à prática. *Revista Ensaio*, 17(2), 329-350. DOI: [10.1590/1983-21172015170203](https://doi.org/10.1590/1983-21172015170203)
- Brousseau, G. (1997). *La théorie des situations didactiques*, Recuperado de https://math.unipa.it/~grim/brousseau_montreal_03.pdf
- Clement, J. J. (2000) Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053. DOI: [10.1080/095006900416901](https://doi.org/10.1080/095006900416901)
- Coll, R. K., France, B. & Taylor, I. (2005). The role of models/and analogies in science education: implications from research. *International Journal of Science Education*, 27(2), 183-198. DOI: [10.1080/0950069042000276712](https://doi.org/10.1080/0950069042000276712)
- Cornu, B. (1991). Limits. In: TALL, D. O. (Ed.), *Advanced mathematical thinking*. Dordrecht, Holanda: Kluwer Academic Publishers, 153-166.
- Design-Based Research Collective. (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5-8. DOI: [10.3102/0013189X032001005](https://doi.org/10.3102/0013189X032001005)
- Fischler, H. & Lichtfeldt, M. (1992) Modern Physics and Students' Conceptions, *Journal of Science Education*, London, 14(2), 181-190. DOI: [10.1080/0950069920140206](https://doi.org/10.1080/0950069920140206)
- Freire Jr, O., Carvalho Neto, R. A., Rocha, J. F. M., Vasconcelos, M., J. L., Socorro, M. & Anjos, E. L. (1995). Introducing Quantum Physics in Secondary School. *Proceedings of Third International History, Philosophy and Science Teaching Conference*, Minneapolis, 1, 412-419.
- Friese, S. (2011). *ATLAS.ti 6 Tour Rápido*, Berlim, Alemanha: ATLAS.ti Scientific Software Development GmbH.
- Fuchs, H. U. (2015). From Stories to Scientific Models and Back: Narrative Framing in Modern Macroscopic Physics. *International Journal of Science Education*, 37(5-6), 934-957. DOI: [10.1080/09500693.2015.1025311](https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1025311)
- Gauch, H. (2009) Responses and Clarifications regarding Science and Worldviews. *Science and Education*, 18(6), 905–927. DOI: [10.1007/s11191-007-9133-3](https://doi.org/10.1007/s11191-007-9133-3)

- Gil, D. P., Senent, F. & Solbes, J. (1988) Análisis crítico de la introducción de la física moderna en la enseñanza media. *Revista de Enseñanza de la Física*, 2(1), 16-21. Recuperado de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/15990/15814>
- Gil, D. P. & Solbes, J. (1993). The Introduction of Modern Physics: overcoming a deformed vision of science. *International Journal of Science Education*, 15(3), 255-26. DOI: [10.1080/0950069930150303](https://doi.org/10.1080/0950069930150303)
- Greca, I. M. & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modeling. *International Journal of Science Education*, 22(1), 1-11. DOI: [10.1080/095006900289976](https://doi.org/10.1080/095006900289976)
- Herscovics, N. (1989). Cognitive obstacles encountered in the learning of Algebra. In: Wagner, S. & Kieran, C. (Eds.), *Research issues in the learning and teaching of algebra*, 4, 60-86, New York, EUA: CRC Press.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Toward a cognitive science of language, inference and consciousness*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press.
- Johnson-Laird, P. N. (2010). Mental models and human reasoning. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(43), 18243-18250. DOI: [10.1073/pnas.1012933107](https://doi.org/10.1073/pnas.1012933107)
- Kennedy-Clark, S. (2013). Research by Design: Design-Based Research and the Higher Degree Research student. *Journal of Learning Design*, 6(2), 26-32. DOI: [10.5204/jld.v6i2.128](https://doi.org/10.5204/jld.v6i2.128)
- Moutinho, S., Moura, R. & Vasconcelos, C. (2016) Mental Models about Seismic Effects: Students' Profile Based Comparative Analysis. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 14(3), 391-415. DOI: [10.1007/s10763-014-9572-7](https://doi.org/10.1007/s10763-014-9572-7)
- Pessanha, M. & Pietrocola, M. (2016). O ensino de estrutura da matéria e aceleradores de partículas: uma pesquisa baseada em design. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 16(2), 361-388. Recuperado de <https://seer.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/2721/2210>.
- Pessanha, M. & Pietrocola, M. (2017). Particle Accelerators and Didactic Obstacles: A Teaching and Learning Experience in São Paulo and Cataluña. In PIETROCOLA, M., GURGEL, I. (Eds.) *Crossing the Border of the Traditional Science Curriculum: Innovative Teaching and Learning in Basic Science Education* (pp. 45-59). Rotterdam, Holanda: Sense Publishers.
- Rodrigues, R. & Carvalho, P. S. (2014). Using computational simulations to confront students' mental models. *Physics Education*, 49(2), 195-200. DOI: [10.1088/0031-9120/49/2/195](https://doi.org/10.1088/0031-9120/49/2/195)
- Santos, W. M. S., Luiz, A. M. & Carvalho, C. R. (2009) A proposal to introduce a topic of contemporary physics into high-school teaching. *Physics Education*, 44(5), 511-516. DOI: [10.1088/0031-9120/44/5/011](https://doi.org/10.1088/0031-9120/44/5/011)
- Stannard, R. (1990) Modern Physics For The Young. *Physics Education*, 25(3), 132-143.
- Tall, D. (1989). Different cognitive obstacles in a technological paradigm or A reaction to: "Cognitive obstacles encountered in the learning of Algebra". In Wagner, S. & Kieran, C. (Eds.), *Research issues in the learning and teaching of algebra*, 4, 87-92, New York, EUA: CRC Press.
- The King's Centre for Visualization in Science (2010a). Up Close Rutherford Scattering. Recuperado de: http://www.kcvs.ca/site/projects/physics_files/rutherford/scattering2.swf
- The King's Centre for Visualization in Science (2010b). Rutherford Scattering. Recuperado de: http://www.kcvs.ca/site/projects/physics_files/rutherford/historical_scattering2.swf
- Treagust, D. & Duit, R. (2008). Compatibility between Cultural Studies and Conceptual Change in Science Education: There Is More to Acknowledge than to Fight Straw Men! *Cultural Studies of Science Education*, 3(2), 387-395. DOI: [10.1007/s11422-008-9096-y](https://doi.org/10.1007/s11422-008-9096-y)
- Wilson, B. (1992). Particle physics at A-level-a teacher's viewpoint. *Physics Education*, 27(2), 64-65.

Recebido em: 27.11.2017

Aceito em: 21.08.2018