



Um estudo sobre a presença de obstáculos epistemológicos no Ensino de Óptica a partir da análise de artigos publicados pela Revista Brasileira de Ensino de Física

P. P. S. Silva, M. F. V. Silva

ARTICLE INFO

Recebido: 25 de setembro de 2015

Aceito: 20 de outubro de 2015

Palavras chave:

Ensino.
Obstáculos epistemológicos.
Óptica.

E-mail:

ppsilva06@yahoo.com.br
fvilhena@ufpa.br

ISSN 2007-9842

© 2015 Institute of Science Education.
All rights reserved

ABSTRACT

In this article, we present a study on the presence of epistemological obstacles in the teaching and of optical learning. It is building on the articles published by the Brazilian Journal of Physics Teaching (RBEF) in the last five years. The research takes as reference the notions of epistemological obstacles described by Gaston Bachelard in his book "The formation of the scientific spirit"; and was built from a meta-searching on the topic. Adopts like universe of investigation the section "research in physics teaching" of the RBEF that addresses issues related to education in science and math, specifically the articles dealing with the teaching and learning of optics. We seek reports of research articles published in the RBEF with the purpose of identifying factors that represent difficulties in teaching and of optical learning and are characterized as epistemological obstacles. Therefore, a bibliographic meta-research presents qualitative bias; and where we observe the presence of epistemological obstacles that interfere with the understanding of concepts, laws and principles, governing the phenomena linked to nature, properties and propagation of light. The research methodology consisted in the record of the most relevant aspects we find in the articles examined and in the utilization the techniques of the file, synthesis and analysis of the articles. The main findings are presented in body text and in the form of graphs and tables.

Neste artigo apresentamos um estudo sobre a presença de obstáculos epistemológicos no ensino e na aprendizagem de óptica tomando por base os artigos publicados pela Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF) nos últimos cinco anos. A pesquisa adota como referencial as noções de obstáculos epistemológicos descritos por Gaston Bachelard em sua obra "A formação do espírito científico" e foi construída a partir de uma metapesquisa sobre o tema. Adota como universo de investigação a seção "pesquisa em ensino de Física" da RBEF que trata de problemas ligados à educação em ciências e matemática, mais especificamente os artigos que tratam do ensino e da aprendizagem da óptica. Buscamos os relatos das pesquisas publicadas em artigos de RBEF com o propósito de identificar fatores que representam dificuldades no ensino e na aprendizagem da óptica e que se caracterizam como obstáculos epistemológicos. Trata-se, portanto de uma metapesquisa bibliográfica que apresenta viés qualitativo e de onde observamos a presença de obstáculos epistemológicos que interferem na compreensão de conceitos, leis e princípios que regem os fenômenos ligados a natureza, propriedades e propagação da luz. A metodologia de pesquisa consistiu basicamente no registro dos aspectos mais relevantes encontrados nos trabalhos examinados e na utilização de técnicas de fichamento, síntese e análise dos artigos. Os principais resultados encontrados estão apresentados no corpo do texto e na forma de gráficos e tabelas.

I. INTRODUÇÃO

Durante o tempo em que venho exercendo a função de professor de Física recebi relatos de muitos alunos que, em sua maioria, apontavam dificuldades de aprendizagem nas disciplinas na área das ciências exatas e da natureza. Embora existam várias hipóteses sobre os fatores que promovem estas dificuldades têm sido bastantes comum ouvir críticas

destinadas diretamente aos professores de matemática, estatística, química e Física, aos quais se atribuem o estabelecimento de certo estado de pavor a essas matérias entre os aprendizes, chega-se mesmo a conferir a tais professores responsabilidades pelas dificuldades e falhas de ensino e de aprendizagem em geral. No que diz respeito ao processo de ensino/aprendizagem de Física tenho observado muitas cobranças destinadas aos professores para que utilizem metodologias inovadoras, adequadas às propostas de ensino/aprendizagem mais modernas. É comum ouvir nos bastidores das salas de professores as mais variadas suposições sobre as possíveis origens das dificuldades do processo de ensino/aprendizagem na disciplina. Entre as mais defendidas destaca-se a da falta de embasamento matemático, aspecto que surge como um fator que dificulta a compreensão dos conceitos, leis e princípios físicos. Acredita-se que a ausência de pré-requisitos e a falta de técnicas educativas adequadas sejam as principais causas das dificuldades de ensino e de aprendizagem na área das ciências exatas e da natureza.

As ciências exatas buscam precisão e rigor na interpretação dos fenômenos da natureza e, em consequência, o ensino e a aprendizagem de ciências pressupõem o domínio de pré-requisitos básicos em áreas como a linguagem e a matemática. As ausências desses pré-requisitos promovem dificuldades tanto para o ensino como para a aprendizagem das ciências, notadamente da Física, que se utiliza de grandezas mensuráveis associadas à existência no mundo real. A utilização de símbolos inerentes à linguagem matemática está intimamente ligada à percepção do mundo físico e aos processos de construção de conceitos e de modelos de representação de abstrações. Então, a superação de dificuldades de ensino e da aprendizagem em Física esta, de algum modo, associada com a aquisição e o domínio da linguagem e da matemática. As experiências vivenciadas ao longo do tempo, o costume de “ensinar Física” diariamente e a aquisição de uma suposta notoriedade, pretensamente autoconferida pelos próprios professores de Física, não são elementos eficientes para eliminar os problemas de ensino e de aprendizagem e muitas propostas tem surgido a partir de pesquisas sobre as dificuldades de relacionar teorias que explicam fisicamente os fenômenos naturais com eventos do cotidiano. Estas dificuldades conduzem muitos professores a pensar que todo o problema se resume na produção de metodologias baseadas no fortalecimento das noções ligadas ao senso comum, entretanto o atual estágio das ciências não condiz com os posicionamentos dos empiristas, que se ligam à sensível por acreditam que as explicações dos fenômenos naturais só podem surgir a partir das observações e interpretações que conduzam a determinação de relações de causa e efeito.

Fiolhais & Trindade (1999) afirmam que tanto os alunos como professores possuem grandes dificuldades em compreender os fenômenos físicos e as leis matemáticas que os descrevem. Baseiam essa constatação no elevado índice de reprovação em Física em diversos países europeus. Este fato ocorre principalmente nos níveis básicos de ensino, o que segundo eles comprova a existência de fatores universais que precisam ser compreendidos para facilitar a aprendizagem nesta área específica do conhecimento humano. Em suas análises asseguram que:

...a psicogênese individual estaria assim associada à história das ideias da humanidade. Trata-se, segundo os referidos autores, de um tipo de raciocínio baseado em anos de observação e experiência dos alunos na sua vida cotidiana e que entra em conflito com a Física que lhes é ensinada, dificultando a aprendizagem. Apesar de este problema adquirir maiores contornos nos níveis mais básicos de instrução, também se verifica no ensino superior. Um estudo efetuado na Universidade de Oslo revelou precisamente que tanto estudantes com poucos conhecimentos de Física como outros com mais instrução científica têm idênticos problemas deste tipo (Fiolhais & Trindade, 1999, p. 185).

Cabe observar que somente uma pequena parcela dos alunos consegue atingir um rendimento satisfatório e estes constituem exceções à regra geral que em muitos casos acabam sendo considerados como uma espécie de elite intelectual do processo educacional. Entretanto, a aprendizagem não pode ser destinada apenas de uma elite intelectual e deve ser colocada ao alcance de todos. A modificação deste cenário é necessária, e mergulhar na problemática implica desenvolver pesquisas comprometidas com o ensino e a aprendizagem num contexto mais amplo. É importante ressaltar que a aprendizagem da Física está intimamente relacionada com os modelos de mundo que permeiam o nosso cotidiano e em geral fazemos associações entre os modelos teóricos produzidos pelas ciências com os modelos criados em nossas mentes ao longo dos anos pelo senso comum. Então, os alunos criam seus próprios mecanismos de interpretação, a maioria deles originais e inerentes a uma linguagem científica cheia de significados que em geral fogem das concepções que adquirimos e armazenamos ao longo do tempo. É natural que ocorram interpretações

equivocadas, mas diretamente relacionadas com as percepções de mundo, o que tornam novas concepções e explicações coerentes. A estruturação de conceitos, a assimilação de métodos e as mudanças de comportamentos são inerentes a cada pessoa o que torna essencial a utilização de diversos métodos de ensino que promovam diversificadas oportunidades de aprendizagem.

Este trabalho tem como objetivo promover uma análise dos artigos publicados nos últimos cinco anos pela Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF) que é difundida trimestralmente pela Sociedade Brasileira de Física (SBF). Os lócus da investigação estão concentrados na seção “Pesquisa em ensino de Física” que trata das problemáticas ligadas à área da educação em ciências e matemática. O universo investigativo está restrito aos artigos que abordam o ensino e a aprendizagem da óptica, e como metodologia de apreciação das produções optou-se por fazer a leitura dos textos com o foco na busca de aspectos que representam obstáculos epistemológicos. A análise da pesquisa desenvolve-se com base na obra “A formação do espírito científico” de Gaston Bachelard onde estão alicerçadas as ideias de obstáculos epistemológicos.

A definição do periódico “Revista Brasileira de Ensino de Física” da SBF como fonte de pesquisa deve-se principalmente a facilidade de acesso às publicações da revista. A partir disso, as buscas se concentraram na seção de pesquisa e ensino de Física onde foram encontrados quarenta e dois artigos, publicados de 2008 a 2013. Limitou-se a pesquisa à leitura e análise dos artigos que tratam das dificuldades de ensino e da aprendizagem em óptica e essa escolha se deu em função de ter sido a óptica o assunto que teve mais artigos publicados nos últimos cinco anos (Tabela 1). Por conta disso, sete artigos passam a ser objetos de análise e investigação.

TABELA I. Demonstrativo das publicações na RBEF de 2008 a 2013.

ASSUNTO	2008	2009	2010	2011	2012	2013	%
Mecânica	1	0	0	0	2	0	8,33
Currículo	1	0	0	0	0	0	2,78
Óptica	2	2	1	1	1	0	19,44
Astronomia	1	1	0	1	1	1	13,89
Erros conceituais	1	0	0	0	0	0	2,78
Metodologia	0	1	2	0	0	0	8,33
Estágio supervisionado	0	1	0	0	0	0	2,78
Jornalismo científico	0	1	0	0	1	0	5,57
Eletromagnetismo	0	0	2	1	0	1	11,11
Medição	0	0	1	0	0	0	2,78
Ensino aprendizagem	0	0	2	3	0	0	13,89
Termologia	0	0	0	1	0	0	2,78
História da Física	0	0	1	0	0	0	2,78
Hidrostática	0	0	0	1	0	0	2,78
Nanociência	0	0	0	0	1	0	2,78
Conceitos físicos	0	0	0	0	1	0	2,78
Mapas conceituais	0	0	0	0	1	0	2,78
Alfabetização científica e tecnológica	0	0	1	0	0	0	2,78

II. O PENSAMENTO DE BACHELARD

Gaston Bachelard nasceu em 27 de junho de 1884 e morreu em 16 de outubro de 1962 na França. Trabalhou questões epistemológicas na Física, na Matemática e na Química e sua obra está voltada para a questão educacional, mas pontua também suas análises filosóficas com interpretações a respeito do conhecimento científico na escola. No livro “A formação do espírito científico” de 1938 ressalta a necessidade de os professores conhecerem as concepções prévias dos alunos, os seus conhecimentos anteriores ao processo de ensino. Avalia que o ato de aprender ciências implica em aprender conceitos que constroem e colocam em crise a experiência comum. Considera impossível compreender a

lógica das ciências com a racionalidade do conhecimento cotidiano, do mesmo modo que não é possível viver no cotidiano de forma que cada uma de nossas ações reflita uma lógica científica. Em seu artigo Lopes (1996) diz o seguinte:

A filosofia de Bachelard propõe a razão polêmica, plural, turbulenta e agressiva, que sabe ser *filha da discussão e não da simpatia*. Assim, contrapõe-se à tradição da racionalidade, ao *recurso monótono, às certezas da memória*, à prudência no processo de pensar e conhecer, à razão conformada e conformista, ao racionalismo com gosto escolar, da forma que tem feito a escola, *alegre como porta de prisão*. Esta ruptura com um modelo de razão coercitiva talvez seja, então, sua contribuição mais fundamental. Justamente porque transcende à questão do ensino e das ciências e se coloca como problemática para todos os campos do conhecimento e, por que não dizer, de nossa existência (Lopes, 1996, p. 270).

Para Bachelard o conhecimento científico se processa a partir da ocorrência do erro, defende que precisamos errar para que a retificação do erro produza a construção do conhecimento científico. Acredita que não podemos fazer referência a uma verdade única ou definitiva, mas sim a várias verdades, ao mesmo tempo plurais e históricas que se complementam em um emaranhado de veracidade capazes de tornar o conhecimento digno de crédito, eliminando qualquer suspeita. Entende que as verdades só adquirem sentido ao fim de uma contestação, após a retificação dos erros primeiros. Para ele não existem critérios universais ou exteriores para julgar a verdade de uma ciência. Cada ciência produz sua verdade e organiza os critérios de análise da veracidade de um conhecimento. Mas a lógica da verdade atual da ciência não é a lógica da verdade de sempre: as verdades são sempre provisórias. Vejamos novamente o que diz Lopes.

Conhecemos sempre contra um conhecimento anterior, retificando o que se julgava sabido e sedimentado. Por isso, não existem verdades primeiras, apenas os primeiros erros: a verdade está em devir. Bachelard, portanto, se situa como o filósofo da desilusão, aquele que afirma: somos o limite das nossas ilusões perdidas (Bachelard, 1970). O que significa dizer que somos a expressão, não de nosso conhecimento imediato, de nossas habilidades inatas, mas do constante e descontinuo processo de retificação que nosso espírito sofre no decorrer da existência. O que sabemos é fruto da desilusão com aquilo que julgávamos saber; o que somos é fruto da desilusão com o que julgávamos ser. Com esta marcante renovação na concepção de conhecimento, é inaugurada uma interpretação epistemológica visceralmente polêmica e descontinuista (Lopes, 1996, p. 254).

Na visão de Bachelard a ação epistemológica sobre a história deve ser capaz de distinguir no discurso científico de cada época o que era erro e o que era verdade, com base em critérios da própria ciência. Nesse sentido, a história da ciência deve ser frequentemente refeita, iluminada pela história atual. Na noção de recorrência histórica o historiador deve conhecer o presente para julgar o passado. Mas não no sentido de ver no passado a preparação para o presente, mas sim de, a partir do presente, questionar os valores do passado e suas interpretações. A história recorrente é assim uma história que se esclarece pela finalidade do presente: partimos das certezas do presente para descobrirmos, no passado, as formações progressivas da verdade.

As relações entre ciência e imaginário são encaradas por Bachelard como restritivas tanto de um campo, quanto de outro. Se na ciência aplicarmos a imaginação imaginante, teremos uma ciência obscurecida pela fantasia; se na poética tentarmos ser científicos, produziremos limitação dos devaneios e racionalizaremos a poesia. Não devemos ver no real a razão determinante da objetividade: o problema da verdade não deriva do problema da sua realidade. O que entendemos por realidade faz-se em função de uma organização do pensamento. Ao contrário, para o senso comum, a realidade objetiva é uma só: aquela que se apresenta aos sentidos; o real aparente faz parte do senso comum. Portanto, será essencialmente a partir do rompimento com esse conhecimento comum que se constituirá o conhecimento científico.

Segundo Lopes (1996) as rupturas no conhecimento científico para Bachelard não ocorrem apenas em relação ao conhecimento comum, mas também no decorrer do próprio desenvolvimento científico. Não existe um contínuo racional na história do conhecimento científico: a Física Relativística diz **não** à Física Newtoniana, a Geometria de Lobatchevsky diz **não** à Geometria Euclidiana, a Química Quântica diz **não** à Química Lavoisieriana.

Esse processo de negação não implica, contudo, o abandono das teorias anteriormente construídas. Trata-se sim de reordenar, de ir além de seus pressupostos, por introduzir uma nova racionalidade. Para Bachelard (1976), todas as

filosofias do conhecimento científico se organizam a partir da filosofia do racionalismo aplicado, não no sentido de se derivarem dela, mas em função de todas as demais filosofias se afastarem desse duplo diálogo real-racional e, por isso mesmo, não conseguem explicar o trabalho dos cientistas.

Esta ruptura com um modelo de razão coercitiva talvez seja, então, sua contribuição mais fundamental. Justamente porque transcende à questão do ensino e das ciências e se coloca como problemática para todos os campos do conhecimento e, por que não dizer, de nossa existência. A proposta deste modelo de razão essencialmente histórica é a própria negação da perspectiva que tenta nos fazer apenas espectadores de uma natureza e de uma sociedade de fatos dados e prontos, permitindo o resgate do nosso papel de atores na construção do mundo.

A filosofia da desilusão não pretende ser a filosofia do eterno e do imutável, da razão totalizante e totalitária, mas se quer aberta e retificável. Não há descanso para o processo de retificação, não há reta de chegada, não há certezas definitivas, mas, em contrapartida, faz-nos abandonar a pretensão de alcançar a onisciência divina. Distanciamos-nos dos absolutos transcendentais para justificar o conhecimento - seja Deus, a Natureza ou a Razão. Assim, aproximamo-nos de nossa existência humana, singular, contingente, limitada no tempo e no espaço, mas ilimitada nas suas possibilidades de construir e reconstruir o mundo.

III. OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS X PEDAGÓGICOS

As práticas científicas atuais têm suas bases constituídas nas teorias que dão sustentação a mecânica relativística e a Física quântica. É sobre essas novas formas de pensar a Física que Bachelard critica o realismo ingênuo, o empirismo e o racionalismo de Descartes. Segundo ele o avanço da ciência ocorre através de rupturas, onde é preciso desconstruir conhecimentos tidos como estabelecidos e sobre seus escombros construir um novo conhecimento. Dentro dessa perspectiva estamos sempre em processo de superação dos obstáculos epistemológicos.

Na área educacional o diagnóstico dos obstáculos epistemológicos é o ponto de partida para a superação do que Bachelard (1996) chama de obstáculo pedagógico, que são as limitações no processo ensino/aprendizagem que atrapalham o entendimento do conhecimento científico. A compreensão de algo novo decorre de um processo de transformação da cultura estabelecida e da superação dos obstáculos epistemológicos cristalizados nos conhecimentos prévios dos alunos. No processo de superação do obstáculo epistemológico corre algo parecido com uma revolução intelectual e afetiva, que submete a investigação e o conhecimento prático de educandos e educadores.

Bachelard elabora também a noção de **atos epistemológicos**, em oposição à noção de obstáculos epistemológicos (Bachelard, s. d., 33). Os atos epistemológicos correspondem aos ímpetus do gênio científico que provocam impulsos inesperados no curso do desenvolvimento científico. A história do conhecimento científico é, assim, a constante oposição entre os atos epistemológicos que impulsionam o conhecimento e os obstáculos epistemológicos que entram esse mesmo conhecimento. Ou seja, uma dialética própria que estrutura o movimento histórico do conhecimento científico.

IV. OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS MAIS FREQUENTES

Bachelard (1996) considera que o obstáculo epistemológico inicial a ser superado é o da opinião, pois não se pode ter uma opinião sobre os problemas que não temos conhecimentos, sobre questões que nem sabemos sequer formular de maneira clara e consistente, é preciso que formulemos devidamente as perguntas a serem respondidas e os problemas a serem investigados, pois os obstáculos epistemológicos estão inseridos justamente no conhecimento não formulado.

No dizer de Lopes (1996), a linguagem científica está sujeita a constante alteração dos signos e seus significados e a necessidade de se estabelecer uma linguagem que esteja em conformidade com a razão. Portanto, a desatenção e o descaso para com os novos sentidos dos termos, nos limites de uma nova teoria científica, constitui-se obstáculo epistemológico. Surge sempre que a linguagem é utilizada sem questionamento inicial das ideias. Quando a aquisição

da linguagem se processa além do espaço de pensamento no qual foi gerada provoca entendimentos equivocados que obstruem sua compreensão. A linguagem é um dos pontos que mais necessitam de avaliação criteriosa e o uso indiscriminado de termos científicos, sem distinguir seus significados em relação aos termos da linguagem comum, pode não apenas impedir o domínio do conhecimento científico, como também cristalizar conceitos errados, verdadeiros obstáculos à abstração. Retêm o aluno no realismo ingênuo ou transmite uma visão anímica e antropomórfica do mundo.

A explicação dos fenômenos através de modelos, imagens, metáforas ou analogias, denominadas por Bachelard de obstáculo verbal representam a tendência de associar uma palavra concreta a uma palavra abstrata. Este tipo de situação ocorre quando se torna comum a utilização de uma palavra com conotação explicativa, que funciona como uma imagem e pode vir a substituir a explicação.

Analogias, metáforas, imagens e modelos empregadas com a intenção de facilitar a compreensão de um determinado assunto podem auxiliar verdadeiramente em casos específicos muito bem trabalhados. Esses subterfúgios pedagógicos fazem com que sejam substituídas linhas de raciocínio por resultados e esquemas que suscitem atrativos e interesse, mas fortalecem intuições. Práticas como essas podem ser perniciosas à aprendizagem e a assimilação de noções inadequadas, sejam elas advindas dos conhecimentos empíricos que o educando vivencia em seu cotidiano ou adquiridas na escola, poderão resultar na constituição de obstáculos epistemológicos (Bachelard, 1996).

Bachelard não se contrapõe ao uso de metáforas, desde que sejam utilizadas depois da absorção da teoria e como auxiliar no esclarecimento. O obstáculo se manifesta quando o emprego da metáfora antecede explicação da hipótese ou teoria, pois pode promover à inércia do pensamento. Para Oliveira e Gomes (2007) o aluno se apega e aceita essa aproximação como um estratagema conclusivo, não havendo necessidades de maiores elucidações o que impossibilita a abstração necessária ao conhecimento.

Outro obstáculo proposto por Bachelard (1996) é o substancialista, oriundo em parte do materialismo promovido pelo uso de imagens ou da atribuição de qualidades aos fenômenos. É pelo substancialismo que se estabelece a fantasia do interior como o mais profundo íntimo que encerra a qualidade. Assim, uma qualidade é tão mais substancial quanto mais íntima for. Bachelard chama de substancialismo do íntimo articulado ao substancialismo do oculto, para o qual a substância é um interior. A ideia substancialista se caracteriza pela noção de qualidade evidente, a qualidade superficial.

Nessa perspectiva, um conjunto de propriedades é visto como pertencente à dada substância; na substância encontra-se a razão única para todas as suas qualidades, não podendo haver variação de qualidade sem variação de substância.

A generalização é colocada por Bachelard como outro obstáculo epistemológico, pois generalizações tornam uma lei tão clara, completa e fechada, que dificilmente levanta-se o interesse por questionar suas premissas. A generalização facilita momentaneamente uma compreensão, mas esse entendimento pode bloquear o interesse pelo estudo mais aprofundado. A lei geral é suficientemente satisfatória para que se perca o interesse por estudá-la. Parte dos obstáculos propostos é de alguma forma, consequência de generalizações inapropriadas, de modo que o conhecimento geral acaba sendo um conhecimento vago (Costa, 1998).

Também denominou de obstáculo epistemológico animista ao fato de que atribuir vida daria relevância a um determinado fenômeno. Para Bachelard (1996), “vida é uma palavra mágica”, ela marca um valor às substâncias, assim ele relata que no século XVIII a ferrugem era vista como uma doença que acometia o ferro, ou que se comparava a fecundidade dos minerais à das plantas.

A construção da relação entre o conhecido e o desconhecido, referido por Bachelard (1996) como obstáculo epistemológico é descrita por Santos (2005), onde afirmam que a estrutura mental que se constrói com o processo de compartimentalização do conhecimento é um obstáculo considerável para a passagem da disciplinaridade à transdisciplinaridade. A transposição de pré-conceitos é um obstáculo na construção do que está “entre” as disciplinas e “além” das disciplinas. Este processo exige que se tenha uma mente aberta, um modo amoroso, sem preconceitos para aceitar o diferente e permitir a transgressão das fronteiras epistemológicas. Insistem que as construções mentais

que se estruturam no decorrer da vida são chamadas pelos educadores de preconceções e constituem referências que nos ajudam a resolver de maneira satisfatória problemas do cotidiano. As dificuldades na transmissão de informações entre as diversas áreas do conhecimento, compreensão das diferentes culturas, aspectos e linguagem pertinentes a outros grupos de conhecimento, exigem um exercício mental e condições de liberdade para entender o diferente, buscando a associações com o conhecido.

Os obstáculos epistemológicos são provocados pela adoção de comportamentos imediatistas, de autopreservação ao fazermos uso do conceito de conhecimento como algo fora deles. Dessa forma na relação entre **autonomia e dependência**, a dependência prevalece enquanto a pessoa não tenha um sistema conceitual suficiente para contrapor-se a mesmice.

Andrade, Ferrar & Zylberstajn (2002) fazem uma análise do trabalho de Santos (1991) a respeito das concepções de Bachelard, em "A formação do espírito científico", e onde tipifica as principais categorias de obstáculos ao progresso da ciência. Paralelamente, faz referência a situações pedagógicas onde estas mesmas categorias de obstáculos são uma barreira à apropriação do conhecimento científico. Obstáculos epistemológicos que são obstáculos pedagógicos, uma vez que obstruem a atividade racional do aluno. Destes, Santos destaca:

- **O conhecimento geral** é um conhecimento vago, que imobiliza o pensamento. Fornece respostas demasiado vagas, fixas, seguras e gerais a qualquer questionamento. Dá confirmações fáceis a hipóteses imediatas. **Em pedagogia**, o problema agrava-se, pois a ideia do geral aparece imediatamente adaptada à ideia comum. Fornece a mesma resposta para todas as questões, desqualifica experiências de detalhe. Por exemplo, a respiração, que os alunos pensam que é uma troca gasosa que se limita ao nível dos pulmões, ou então as plantas, que recebem os "alimentos" já prontos pelas raízes. Estas ideias gerais se tornam certezas, que imobilizam a razão, privando-os de uma motivação real para se questionarem sobre os aspectos particulares dos mesmos fenômenos.
- **A experiência primeira**, pitoresca, concreta, fácil, é a experiência situada antes e acima da crítica, que capta o imediato, o subjetivo; que tem dificuldade de abandonar o pitoresco da observação; que subordina a prática científica ao efeito das imagens; que dá grande atenção ao que é natural; que aborda fenômenos complexos como se fossem fáceis; que tem a marca de um empirismo evidente. Na educação em ciência, o colorido pitoresco de certas manifestações naturais seduz os alunos. Tal admiração opõe-se à procura do "por que" e do "porque não" de tais fenômenos. Este obstáculo está relacionado com evidências empíricas sobre concepções alternativas – dependência de aspectos óbvios da percepção. Um exemplo disso é o caso do eletrismo do século XVIII, que foi transformado em divertimento de salão, tirando a atenção dos cientistas da essência do fenômeno.
- **Obstáculo verbal** é uma falsa explicação obtida a custo de uma palavra explicativa. Uma só palavra, funcionando como uma imagem pode ocupar o lugar de uma explicação. Por exemplo, a palavra esponja, é uma palavra obstáculo. É usada como auxiliar do pensamento, numa extensão abusiva de imagens familiares exprime os mais variados fenômenos na falsa convicção de que os explica. Em situações pedagógicas há palavras que, dizendo respeito à linguagem aprendida em contextos não científicos e com conotações divergentes ou significação simbólica para o sujeito, constituem barreira ao ensino formal das ciências. Os exemplos que Bachelard apresenta sobre o obstáculo verbal estão relacionados com o uso desajustado de imagens, analogias e metáforas, quando, na prática pedagógica, tendem a reforçar concepções alternativas radicais no imaginário infantil.
- **O conhecimento pragmático** traduz-se na procura do caráter utilitário de um fenômeno como princípio de explicação. Bachelard afirma que muitas generalizações exageradas provêm de uma indução pragmática ou utilitária. Em pedagogia, constata-se que quando os alunos se referem a aspectos utilitários dos conceitos, como por exemplo: "a fotossíntese é a função que purifica o ar que nós respiramos", parece que isto é suficiente para definir os conceitos.
- **O obstáculo animista**, tendência para de modo ingênuo, atribuir vida e muitas vezes propriedades antropomórficas a objetos inanimados. Na história da ciência, sobretudo no estágio pré-científico, recorria-se, frequentemente, a fenômenos biológicos como meios de explicação para fenômenos físicos, o que constituía um

obstáculo à compreensão destes. Em educação em ciência, o obstáculo animista constitui grande dificuldade à apropriação dos conceitos científicos. A compreensão das representações científicas exige uma ruptura com as representações animistas. Segundo Santos, não há qualquer continuidade entre a ciência e o senso comum, na perspectiva epistemológica de Bachelard. No conhecimento comum, os dados são como que oferecidos gratuitamente pela realidade, resultam da percepção imediata. No conhecimento científico, os “dados” resultam de uma reflexão, provêm de um longo percurso através da ciência teórica, de um grande afastamento da percepção sensível. Não têm, pois, nada de imediato.

V. SOBRE A NATUREZA DA LUZ

Concepções animistas consideram noções primitivas da natureza da luz relacionadas ingenuamente com o sentido da visão, que a definem segundo uma propriedade dos olhos ou qualquer outra forma não empírica, ou teórica, de entender a natureza da luz. Já para a visão realista tomam-se explicações apoiadas em fatos empíricos, que façam uso da noção de feixe de luz, por exemplo, baseada em observações que atribuam à luz propriedades corpusculares realistas.

De acordo com Pinto & Zanetic (1999) uma parte significativa da filosofia da ciência desenvolvida a partir da década de trinta foi diretamente influenciada pela Física Contemporânea. Bachelard, Popper, Kuhn & Feyerabend, entre outros, apresentaram diferentes análises e propostas visando compreender a evolução das teorias físicas, e entre elas as que explicam a natureza, as propriedades e o comportamento da luz.

Bachelard indica em sua obra que a intersecção entre os pensamentos científico e filosófico deve se dar através de uma filosofia aberta e de uma ciência racional. Tomando a natureza da luz dentro de uma visão racional considera o modelo corpuscular de Newton e o modelo ondulatório de Huygens e em uma visão ultrarracional qualquer explicação que se refira às modernas interpretações da Física quântica, tanto a dualidade nas interpretações ondulatória de Schrödinger e causal de Louis de Broglie e Einstein que chama de racionalismo completo, como para a dualidade na interpretação da complementaridade de Bohr que denomina racionalismo discursivo.

A época de Bachelard a mecânica clássica passa a ter domínio de validade limitado aos problemas de baixas velocidades e a teoria da relatividade não responde aos problemas na dimensão microscópica e da emissão de radiação, faz-se necessário à construção da mecânica quântica para dar conta da desses problemas. Segundo Delizoicov (2001) a reflexão sobre as profundas alterações e concepções que as novas teorias ocasionam levam Bachelard a publicar em 1934 o livro “O novo espírito científico”, no qual propõe a superação dos obstáculos surgidos com as novas concepções da Física moderna a partir de rupturas, tais como aquelas ocorridas com a necessidade de adoção da quantização da energia, da relatividade do tempo, da dualidade onda-partícula, do espaço não euclidiano, entre outras advindas com a construção da Física moderna.

VI. OS OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS NO ENSINO DA ÓPTICA

Apresentamos a seguir as interpretações produzidas pelas leituras dos sete artigos analisados, destacando a presença dos obstáculos epistemológicos mais marcantes que foram detectados em cada uma das análises. Os artigos foram numerados apenas para facilitar a apresentação dos resultados e suas análises e interpretações e seguem uma ordem cronológica.

VI.1 Artigo 1

A comunicação como barreira à inclusão de alunos com deficiência visual em aulas de óptica.

Autores: Eder Pires de Camargo, Roberto Nardi & Estefano Vizconde Veraszto.

Camargo, Nardi & Verazto (2008) buscam em seu artigo a compreensão das principais barreiras para a inclusão de alunos com deficiência visual no contexto do ensino de Física. Focalizam a óptica como campo de investigação e analisam problemas de comunicação indicando fatores geradores de dificuldades de acessibilidade nas informações veiculadas. Apresentam nove perfis linguísticos que descrevem em um quadro que apresentamos abaixo na íntegra, de onde inferem que do ponto de vista empírico a estrutura audiovisual interdependente mostrou-se uma barreira comunicacional a ser superada, tanto pelo número de vezes em que foi identificada como pela forma que organiza a veiculação de significados. A destituição da relação interdependente dos códigos auditivos e visuais deu-se através de linguagens oralmente descritivas ou vinculadas empiricamente ao referencial tátil. Estes são os casos das estruturas empíricas, fundamental auditiva, tátil-auditiva interdependente e auditiva e visual independentes, estruturas estas geradoras de dificuldades comunicacionais devido ao perfil semântico-sensorial dos significados veiculados. É marcante a presença de obstáculos epistemológicos verbais detectados no decorrer desta pesquisa e aliados a estes também podemos destacar as experiências primeiras como outro obstáculo significativo no processo ensino/aprendizagem que avaliam. Senão vejamos o que dizem os autores:

É importante destacar que a deficiência visual não se resume aos alunos cegos de nascimento. Existem alunos com baixa visão e que perderam a vista ao longo da vida. Esses alunos não se enquadram na perspectiva de inacessibilidade aos significados indissociáveis de representações visuais. Isto implica dizer, que das dificuldades comunicacionais identificadas, 41,6%, ou seja, aquelas inerentes à relação: significados indissociáveis de representações visuais, estruturas empíricas, fundamental auditiva, tátil-auditiva interdependente e auditiva e visual independentes deixariam, do ponto de vista estrutural, de existir. Neste sentido, a “história visual” do aluno é uma variável central para o ensino de óptica. Saber se o aluno nasceu cego, se perdeu a visão ao longo da vida, quanto tempo enxergou, se possui baixa visão, etc., é fundamental para a definição de estratégias comunicacionais, recursos instrucionais, atividades experimentais, padrões discursivos e níveis de interação pessoal no interior da sala de aula. (Camargo, Nardi & Verazto, 2008, p. 12).

Finalizando o artigo os autores concluem que as linguagens explicitadas atuaram, em sua totalidade, como barreira comunicacional entre os alunos cegos, seus colegas videntes e professores. Esta barreira faz com que discentes, embora presentes na sala de aula, não tenham acesso às informações veiculadas. Sugerem a criação de canais comunicacionais adequados que os incluam nos processos intrínsecos de ensino/aprendizagem tais como: a criação de hipóteses, a elaboração de dúvidas, reformulação e construção de conhecimentos, etc. Sem a utilização de canais comunicacionais adequados, alunos com deficiência visual encontrar-se-ão, do ponto de vista conceitual e procedimental, numa condição de exclusão no interior da sala de aula. A comunicação representa, portanto, a variável central para a ocorrência de inclusão escolar de alunos com deficiência visual. A partir da construção de um ambiente comunicacional adequado, esses alunos terão condições estruturais básicas de participação efetiva junto aos processos de ensino/aprendizagem de óptica. Em caso contrário, encontrar-se-ão numa “condição de estrangeiro” dentro da sala de aula.

VI.2 Artigo 2

Mapas conceituais no auxílio à aprendizagem significativa de conceitos da Óptica Física.

Autores: Voltaire de O. Almeida e Marco Antônio Moreira.

Em Almeida e Moreira (2008) são apresentados os resultados de pesquisa investigativa onde abordam dificuldades na aprendizagem de conceitos da Óptica Física envolvendo a utilização de mapas conceituais. A investigação descrita foi realizada envolvendo estudantes de graduação em Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

As análises têm como foco a identificação das principais dificuldades na compreensão dos efeitos relativos ao comportamento ondulatório da luz e seus respectivos conceitos. Indicam a necessidade de enfatizar o comportamento ondulatório da luz e seu caráter vetorial e apontam diversas dificuldades de compreensão de conceitos inerentes ao estudo da óptica como, por exemplo, as dificuldades dos estudantes em aplicar o modelo ondulatório da luz para os

efeitos de interferência e difração, pois consideram o fenômeno apenas como um efeito de borda e não compreendem corretamente a relação entre o tamanho da fenda e o comprimento de onda da luz incidente.

Os autores acreditam que a participação ativa do aluno no processo ensino-aprendizagem é fundamental na aquisição de novos corpos organizados de conhecimento, na mudança conceitual e na aprendizagem significativa. Por essa razão, escolheram a técnica do mapeamento conceitual como instrumento didático. Fundamentam-se na teoria ausubeliana segundo a qual o fator que possui maior influência na aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe, ou seja, informações, conceitos, proposições já aprendidas de forma significativa.

Em seu trabalho Almeida e Moreira caracterizaram a problemática do processo ensino-aprendizagem em sala de aula a partir das dificuldades na assimilação significativa de novas informações, possivelmente relacionada à falta de conhecimento prévio adequado. Ressaltam que existem conceitos que são abordados somente em cursos de nível superior, de modo que falar em concepções alternativas para esses conceitos pode perder o sentido, quando se trata do início da formação, nos níveis fundamental e médio. Enfatizam que o aluno chega à universidade sem conhecimento prévio acerca desses conceitos e alertam: se durante o aprendizado de novos conteúdos em nível superior o estudante não atribuir significado às novas informações, além de as dificuldades permanecerem, é possível que novas concepções alternativas surjam ao longo do tempo. Consideram que a elaboração e discussão dos mapas conceituais elucidam dúvidas e reforçam o processo de mudança conceitual. Assim sendo, com base nos resultados dessa pesquisa, sugerem que mapas conceituais são instrumentos potencialmente facilitadores da aprendizagem significativa dos conceitos da Óptica Física e podem auxiliar o professor na identificação das dificuldades de aprendizagem dos conteúdos envolvidos.

Observa-se que os autores partiram da concepção que os mapas conceituais são instrumentos suficientes para a superação dos obstáculos epistemológicos produzidos a partir da experiência primeira. Entretanto, é necessário observar que experiências situadas antes e acima da crítica induzem a captar o imediato, o subjetivo, aspectos que podem contribuir para a abordagem de fenômenos complexos como se fossem fáceis. Segundo Santos (1991) este obstáculo está relacionado com evidências empíricas sobre concepções alternativas e tendem a criar dependências de aspectos óbvios da percepção. Outro aspecto que deve ser considerado é o papel desempenhado pelo conhecimento geral, que aparece aqui como um obstáculo epistemológico quando os autores afirmam que os alunos entendem que os efeitos de interferência e difração são apenas efeitos de borda, o que demonstram conhecimento vago que desqualifica experiências e detalhes.

VI.3 Artigo 3

A utilização de diagramas conceituais no ensino de Física em nível médio: um estudo em conteúdos de Ondulatória, Acústica e Óptica.

Autores: Renata Lacerda Caldas Martins, Maria de Fátima da Silva Verdeaux e Célia Maria Soares Gomes de Sousa.

Martins, Verdeaux & Sousa (2009) relatam a utilização de diagramas conceituais durante aulas expositivas e demonstrativas de Física com objetivo de promover aprendizagem significativa de óptica no nível médio. Apontam que a busca por caminhos que indiquem resultados satisfatórios no processo de ensino aprendizagem tem demonstrado que o “fracasso” na aprendizagem é uma forma de evidenciar que os métodos, as estratégias, os recursos, e outros aspectos do ensino não têm sido eficazes para promover uma aprendizagem significativa.

Os autores revelam que através de análise diagnóstica detectaram os conceitos que deveriam ser abordados com maior profundidade, apesar de se tratar de conteúdos ainda não abordados diretamente nas aulas de Física a maioria deles está claramente presente no cotidiano dos alunos. A aplicação de testes abordando a óptica envolveu conceitos de propagação retilínea da luz, formação da sombra, penumbra, objeto luminoso e objeto iluminado. Para a turma chamada de experimental obtiveram média de acerto de 5,6 e coeficiente de variação 0,33 enquanto na turma de controle a média foi de 5,3 e o coeficiente de variação 0,28. Para os pesquisadores a grande dispersão nos valores

encontrados nestes testes reflete também que ambas as turmas apresentam problemas conceituais em óptica e acomodam alunos com grande diferença conceitual entre si. Estas conclusões são ilustradas na seguinte citação:

Quando comparadas as médias e o coeficiente de variação nos dois testes, a turma experimental (5,3 para 5,6; 0,28 para 0,33) revela heterogeneidade conceitual, ficando evidente pelo valor do coeficiente de variação que ambas as turmas apresentam baixo desempenho conceitual, em óptica. Isso foi verificado na análise dos testes, que constituíram um valioso apoio para a preparação das atividades com diagramas conceituais que envolvessem os conceitos mais “problemáticos” da Física. Pelos diagramas elaborados posteriormente, pudemos perceber que os alunos apresentaram dificuldade em relacionar exatamente os mesmos conceitos que demonstraram desconhecer nos testes das concepções prévias (Martins, *et al.* 2009, p. 4).

Observamos que os autores atribuem os fracassos na aprendizagem apenas a fatores externos como metodologias, estratégias e recursos de ensino e não consideram os fatores internos que se transformam em obstáculos epistemológicos como é o caso da experiência primeira que parece estar presente ao longo de todo o texto. No que diz respeito à promoção da aprendizagem significativa é necessário que o conjunto de “conhecimentos antigos” se relacione com os “conhecimentos atuais” de modo que a relação entre o conhecido e o desconhecido não se torne um obstáculo epistemológico, aspecto este apresentado no texto quando os autores afirmam que: “os alunos apresentam dificuldades de relacionar os mesmos conceitos que demonstraram desconhecer nos testes das concepções prévias”. A presença de conceitos inerentes à óptica no cotidiano dos alunos não se configura como um elemento facilitador do entendimento dos conteúdos não abordados nas aulas e este fato se manifesta através dos resultados da pesquisa que referem problemas conceituais em óptica e alunos com grandes diferenças entre si, o que caracteriza situações marcadas pela presença de obstáculos epistemológicos verbais.

VI.4 Artigo 4

El holograma y su utilización como un medio de enseñanza de la Física en ingeniería.

Autores: Rolando Serra Toledo, Gilda Vega Cruz, Angel Ferrat Zaldo, José J. Lunazzi & Daniel S. F. Magalhães.

Toledo *et al.* (2009) descrevem as características distintas presentes em um holograma e analisam a possibilidade de promover o seu aproveitamento como uma disciplina regular nos cursos de engenharia, por entenderem que a utilização dos hologramas é um recurso pedagógico que é capaz de atuar como um meio de ensinar Física mediante fundamentação, projeto e construção de uma exposição didática com a utilização da holografia. Relatam que as universidades que abordam o tema se limitam aos fundamentos físicos que sustentam a técnica e a discutir as aplicações em um referencial teórico e de forma expositiva. Informam que não existem referências a utilização didática de holografia para o ensino da Física, conhece-se sua utilização no ensino de artes e de arquitetura, pois não é uma atividade docente sistemática dos programas das disciplinas.

O artigo é na verdade uma proposta de inserção da temática holograma ou holografia nos programas usuais dos cursos de Física como uma nova disciplina a ser acrescentada na grade curricular dos cursos de engenharia e apesar da temática estar relacionada com o ensino de óptica a sua característica de proposta metodológica não permite que sejam apresentados resultados que possam ser considerados pertinentes dentro da perspectiva de identificação de obstáculos epistemológicos.

VI.5 Artigo 5

Pensamento transdisciplinar: uma abordagem para compreensão do princípio da dualidade da luz.

Autores: Paulo Fernando Lima Souza, Heloisa Flora Brasil Nóbrega Bastos, Ernande Barbosa da Costa e Romildo de Albuquerque Nogueira.

Souza *et al.* (2010) tratam da dualidade onda-partícula e empregam o ciclo das experiências de Kelly¹ para discutir as propriedades ondulatórias e corpusculares da luz. Entendem que a lógica utilizada no nosso cotidiano é inadequada para explicar o princípio segundo a qual a luz deveria se comportar ou como uma onda, ou como uma partícula. Consideram que a transdisciplinaridade, através da lógica do terceiro incluído², que envolve uma lógica diferente da lógica aristotélica, pode trazer contribuições na compreensão do princípio da dualidade da luz.

Revelam que nesse trabalho os alunos demonstraram ter conhecimentos prévios sobre o princípio da dualidade da luz e todos afirmaram que o princípio diz respeito ao fato da luz se comportar como onda e partícula, porém não demonstraram perceber que, por trás dessa realidade, existe a necessidade de uma nova lógica para respaldar esse princípio. Observaram que os alunos pesquisados estavam de acordo com o princípio da dualidade, mesmo sem existir um experimento onde pudessem observar a luz se comportando simultaneamente como onda e partícula, ou seja, um fenômeno real aonde a dualidade onda-partícula venha a ser observada.

Os autores afirmam que após a aplicação da metodologia os alunos evoluíram, porém, como o ponto de partida de cada um não era o mesmo as mudanças ocorridas foram diferentes, resultado já esperado pelos autores conforme ilustra o texto a seguir:

Embora todos os alunos da pesquisa já tivessem conhecimentos prévios sobre o princípio da dualidade, após as intervenções didáticas, percebeu-se que eles evoluíram de forma significativa, ampliando suas concepções conceituais a respeito do princípio da dualidade da luz e da lógica do terceiro incluído, que respalda esse princípio. É bastante compreensível que, após a leitura dos textos, debates e discussões sobre o pensamento transdisciplinar e seus pilares, os estudantes comecem a refletir, compreendendo melhor a dualidade onda-partícula, assim como a necessidade de uma nova lógica. A pesquisa evidenciou a existência de um *déficit* nas disciplinas do curso de Licenciatura em Física com relação aos fundamentos lógicos dos princípios físicos, tal como o da lógica do terceiro incluído, que possibilita a compreensão adequada do princípio da dualidade da luz. Questionamos como futuros professores podem despertar o pensamento crítico em seus futuros alunos se não desenvolveram sua própria criticidade? (Souza *et al.*, 2009, p. 8).

Souza *et al.* observam que os alunos tiveram em sua formação acadêmica um processo de aprendizagem tradicional e, no entanto, para a compreensão adequada do princípio da dualidade é necessária uma mudança nos fundamentos lógicos que respaldam a Física. Desse modo entendem que estamos diante de duas “forças” que se opõem: “a tradição” e “a inovação”, cuja ligação pode ser estabelecida pela aplicação do ciclo de experiências de Kelly que promoveram as transformações e a mediação do pesquisador, que colabora nessa construção. Observam que não é “fácil” aceitar ou entender a necessidade de uma nova lógica, mas a intervenção didática ajudou nesse aspecto, evidenciando o quanto é importante à atuação do professor.

Ao analisar o artigo de Souza *et al.* na perspectiva de Bachelard observa-se que a adoção de modelos para explicar os fenômenos naturais é um obstáculo epistemológico verbal e dessa forma, a utilização de modelos explicativos do comportamento da luz tendem a cristalizar as ideias propostas pelos modelos ondulatórios e corpusculares. Nesse sentido, somente uma ruptura com o conhecimento produzido na lógica do cotidiano será capaz de permitir o entendimento do princípio da dualidade da luz. Outro aspecto a ser considerado é a presença de obstáculo epistemológico substancialista que se percebe pela atribuição de qualidades a luz e aos fenômenos produzidos pelo conjunto de suas propriedades, os quais são vistas como pertencentes à substância luz. É de se ressaltar que tal obstáculo não nos permite ver que pode haver variação da qualidade onda ou partícula sem variação da substância luz.

¹ Na teoria dos construtos pessoais (TCP) de Kelly o sistema de construção de um indivíduo varia quando ele sucessivamente constrói réplicas de eventos, ou seja, as pessoas ajustam sua compreensão às realidades à medida que ocorrem suas experiências. Para Kelly, a aprendizagem é essa mudança no sistema de construtos, que corresponde à experiência, que ocorre segundo um ciclo com os seguintes momentos: antecipação, investimento, encontro, confirmação ou desconfirmação e revisão construtiva.

² A lógica do terceiro incluído considera a existência de diferentes níveis de realidade. Nesta lógica, é introduzido um terceiro termo T (terceiro incluído) que é ao mesmo tempo A e não-A, ou seja, no caso da luz: num nível de realidade macrofísico ela será A (onda) ou não-A (partícula) e em outro nível de realidade microfísico/quântico ela será T, ou seja, um quantum (onda-partícula).

VI.6 Artigo 6

O tema da dualidade onda-partícula na educação profissional em radiologia médica a partir da simulação do interferômetro de Mach-Zehnder.

Autores: Jader da Silva Neto, Fernanda Ostermann e Sandra Denise Prado.

Neto, Ostermann e Prado (2011) apresentam resultados de uma aplicação de tópicos da Física moderna a estudantes de um curso técnico na área de saúde através de um *software* que simula o interferômetro de Mach-Zehnder. Visam promover o interesse dos estudantes em conectar a ciência às suas aplicações tecnológicas. A dualidade onda-partícula é o tema central da abordagem dos conceitos e optam pela interpretação ondulatória da Física quântica sugerida por Schrödinger em 1925. Para um melhor entendimento apresenta-se a seguir uma síntese desse artigo.

Relatam que a motivação dos alunos se deu através de uma “Física” cotidiana da profissão e entendem a educação centrada no aluno, cabendo ao professor à função de orientador. O modelo utilizado se baseia em propostas construtivistas que mobilizam saberes e esquemas mentais adaptados e flexíveis, tais como: análises, sínteses, generalizações, analogias e associações. Avaliam que o ensino de Física no nível técnico encontra muitas barreiras criadas durante o ensino médio como, por exemplo, conhecimentos prévios, lacunas na formação e a repulsa pelo estudo de assuntos relacionados à Física. Dessa forma a abordagem da Física assume grande importância por ser encarregada de fornecer novos conhecimentos imprescindíveis aos alunos, e a sua formação.

A dualidade onda-partícula assume papel central, sendo retomada ao longo do curso para evidenciar situações em que é útil para um técnico em radiologia. A apropriação de conceitos pelos alunos ocorreu principalmente a partir de atividades realizadas com textos introdutórios e simulações computacionais guiadas por roteiros exploratórios e realizadas em grupos.

Para compreender a interação das radiações com a matéria utilizou-se um interferômetro em regime quântico capaz de formar padrões de interferência. Chamou a atenção dos autores a seguinte justificativa dada por um aluno: “o fóton está se dividindo ao meio. É por isso chega aos dois anteparos”. Esta observação gerou intenso debate e a busca por explicações aos questionamentos. Citam os comentários que mais chamaram atenção: - “Eu sabia. Vai meio fóton para cada lado”; - “Como que pode dar igual às ondas? Achei que não ia aparecer nada”; - “Não pode ser meio para cada lado porque tem mais num anteparo do que no outro”. Estes depoimentos evidenciam a grande importância dos momentos de interação em sala de aula.

Os depoimentos dos alunos durante a simulação geram novos questionamentos e derrubam algumas de suas teorias, propiciando novos debates à procura de explicações mais aceitáveis, como é característico do referencial teórico adotado. Mediante todas as opções testadas os alunos percebiam a impossibilidade em conciliar a detecção do fóton com a formação das figuras de interferência, o que gerou inquietação para vários e a desistência de alguns. A impossibilidade de descobrir o caminho seguido pelo fóton e ao mesmo tempo observar as figuras de interferência foi explorada de modo a levar os alunos a concluir que o fóton tinha um “comportamento estranho”, segundo discurso de um deles: - “Acho que é que nem uma onda porque dá para polarizar, mas só que daí eu não sei por onde ele passou. Sei lá, é meio estranho”.

As observações feitas pelos alunos não conseguem uma explicação convincente e requerem a intervenção do “parceiro mais capaz.” Assim, a atuação do professor propicia ao aluno a construção de conhecimentos que não seriam alcançados sem o seu auxílio. Dessa forma, a construção do conceito da dualidade onda-partícula não foi uma descoberta dos alunos, mas se deu a partir de uma intervenção do professor que introduziu o conceito de dualidade para explicar o comportamento dos fótons. Mesmo sendo apresentado pelo professor, não significa que este modelo teórico teve plena aceitação.

A existência desta dualidade originou vários questionamentos por parte dos alunos. Num primeiro instante procurou-se responder aos questionamentos em termos de analogia com a óptica ondulatória clássica, porém, foi possível detectar em vários comentários a ideia de que um fóton é um corpo muito pequeno, evidenciando a representação das partículas como “bolinhas”. Dessa forma foi necessário recorrer à abordagem das partículas

elementares e à discussão a do postulado de Louis de Broglie, com o cálculo do comprimento de onda associado a um objeto macroscópico e, inclusive, disponibilizando um texto sobre o assunto na página da disciplina.

Na execução do roteiro para estudo do efeito fotoelétrico pode-se explorar fatores que interferiam na ocorrência do mesmo, gerando debates e descontentamento de alguns quando suas previsões não correspondiam ao que era observado posteriormente, como por exemplo: -“Quanto mais fótons eu usar, mais elétrons são arrancados”; - “Conforme a luz que eu uso dá certo”; - “Para uns não dá com nenhum tipo de luz”; -“Não tem nada a ver a quantidade de fótons, o que vale é o tipo de fóton”. A sequência das discussões possibilitou a conscientização dos alunos quanto à necessidade de radioproteção, pois demonstraram preocupação com a possibilidade da lenta destruição de células poderem causar, em longo prazo, alguma degeneração. Tendo despertado nos alunos essa necessidade de radioproteção, a partir do conhecimento das radiações e suas formas de interação, procuramos identificar os motivos pelos quais rotineiramente técnicos em radiologia não se protegem de forma correta, embora tenham conhecimento das normas de segurança.

Podemos considerar que, de modo geral, a abordagem da Física moderna proposta surtiu efeitos, a partir do momento que foi possível mudar ou aperfeiçoar a visão que os alunos têm das radiações. O referencial teórico adotado também pode ser considerado como um fator que atuou positivamente na abordagem feita. É fundamental proporcionar o enfrentamento de concepções, ideias e aprendizagens entre os alunos, pois dessas formas estes são levados à construção do conhecimento numa linguagem mais informal e de fácil interpretação. Outro elemento que atuou significativamente na abordagem da dualidade onda-partícula foi a simulação do interferômetro de Mach-Zehnder, com resultados surpreendentes se considerarmos que trabalhamos com uma turma bastante heterogênea e com um histórico médio de alguns anos afastados dos bancos escolares.

Analisando o artigo através da ótica de Bachelard observa-se a presença de obstáculos epistemológicos ligados aos conhecimentos prévios dos alunos, ou seja, suas experiências primeiras, conforme é referido pelos autores quando citam as barreiras criadas ao ensino de Física durante o ensino médio. Segundo Bachelard (1947) a compreensão de algo novo decorre de um processo de transformação da cultura estabelecida e da superação dos obstáculos epistemológicos cristalizados nos conhecimentos prévios dos alunos. A presença de obstáculos epistemológicos ligados ao conhecimento geral é manifestada na citação dos comentários dos alunos, pois nesse caso fica evidente que os mesmos possuem conhecimento vago dos conceitos da óptica, uma vez que fornecem respostas demasiado vagas e gerais na busca de confirmações fáceis às hipóteses imediatas. Obstáculos epistemológicos verbais aparecem associados ao uso de analogias, metáforas, imagens e modelos, como, por exemplo, na citação da representação de partículas através do uso da palavra “bolinhas”, onde uma falsa explicação é obtida a partir de uma imagem que se supõe poder ocupar o lugar de uma explicação. Obstáculos epistemológicos produzidos pelo conhecimento pragmático se configuram ao longo de todo o texto e se manifestam a partir do interesse de evidenciar situações em que o conhecimento é apenas uma ferramenta útil para um técnico em radiologia, o que demonstra apenas a busca por aspectos utilitários dos conceitos.

VI.7 Artigo 7

Atividades experimentais no ensino de óptica: uma revisão.

Autores: Jair Lucio Prados Ribeiro e Maria de Fatima da Silva Verdeaux.

Ribeiro & Verdeaux (2012) apresentam uma revisão de artigos que tratam sobre a experimentação no ensino de óptica entre 1998 e 2010. Afirmam que a experimentação é um recurso didático dos mais frequentes. Citam Araújo e Abib (2003) ao informar que “os autores são unânimes em defender o uso de atividades experimentais”, em especial pela capacidade intrínseca dos experimentos em estimular a participação ativa dos estudantes, despertando sua curiosidade e interesse, além da tendência que a experimentação propicia para a construção um ambiente motivador. Devido ao caráter descritivo do artigo apresentamos a síntese a seguir:

O primeiro capítulo de óptica nas obras didáticas é, em geral, dedicado a uma rápida apresentação da natureza dual da luz, seguida dos princípios de propagação retilínea, independência, reversibilidade e a apresentação da velocidade da luz no vácuo como uma constante da natureza. Como consequências desses princípios, são normalmente citadas a formação de sombras, penumbras, os eclipses solares e lunares e a formação de imagens reais e virtuais. O conceito de cor também é usualmente apresentado nesse capítulo introdutório, com o mecanismo de visão colorida dos seres humanos merecendo um maior destaque nas obras recentes. O mesmo ocorre na literatura com um número significativo dos artigos revisados apresentando experiências associadas à adição de cores.

Os artigos dedicados à reflexão luminosa geralmente apresentam sugestões de experiências de baixo custo que podem ser facilmente transpostas para o cotidiano escolar. A revisão desses artigos demonstrou que os autores dedicados ao estudo de experiências que envolvam a reflexão luminosa possuem uma forte preocupação com o tema da formação de imagens, tanto reais quanto virtuais, o qual possui um forte destaque nos livros-texto, mas com lacunas cobertas pelas pesquisas presentes na literatura.

A construção de campos visuais de espelhos curvos em geral se restringe ao caso particular do espelho plano.

Autores apresentam uma visão qualitativa, baseada nos princípios da óptica geométrica, visando à complementação da forma quantitativa como são em geral apresentados os tópicos de construção de imagens em espelhos não planos e lentes esféricas. A projeção da luz do Sol a partir do uso de espelhos planos, em especial o caso particular da projeção da imagem do Sol durante um eclipse, também não é discutido nos livros-texto consultados e exemplos de imagens reais fornecidas por espelhos planos são raramente citados nessas obras.

A lei de Snell é usada não só para explicar a refração, mas também a reflexão total interna, fenômeno que merece atenção especial devido às suas várias aplicações práticas, que vão desde sua utilização em instrumentos ópticos até os mais modernos sistemas de telecomunicações. Esse efeito muitas vezes parece mágico para o aluno, que o vê apenas como um resultado matemático.

O artigo está dirigido para uma revisão sobre o ensino de óptica e existem nele aspectos que devem ser compreendidos mais profundamente, como é o caso da utilização frequente de experimentos que segundo os autores possuem capacidade intrínseca de estimular a participação ativa dos alunos. Bachelard nos alerta sobre os obstáculos epistemológicos produzidos pela utilização dos experimentos apenas como instrumento lúdico, que estimula o espetáculo, promove a fuga do real e o mergulho na fantasia se o estímulo a participação é uma qualidade intrínseca ao experimento deve-se cuidar para que não se torne um obstáculo epistemológico substancialista que atribui ao próprio experimento à razão única para todas as suas qualidades. Ao reportarem-se aos livros didáticos os autores enumeram diversas lacunas nos conteúdos e abordagens desses livros texto o que caracteriza a existência de obstáculos epistemológicos verbais ligados à falta de informações ou informações imprecisas.

VII. RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES

As análises produzidas pela leitura dos artigos conduziram para a identificação da presença de obstáculos epistemológicos em cinco categorias distintas: O obstáculo epistemológico verbal que está presente na maioria dos artigos analisados, a experiência primeira que também foi identificada na maioria dos artigos, o conhecimento geral, o obstáculo substancialista e conhecimento pragmático. O grau de incidência com que estes obstáculos aparecem está representado no quadro a seguir:

TABELA II. Obstáculos epistemológicos identificados nos artigos selecionados.

OBSTÁCULO EPISTEMOLÓGICO	ARTIGOS						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
VERBAL	X		X		X	X	X
EXPERIÊNCIA PRIMEIRA	X	X	X			X	
CONHECIMENTO GERAL		X				X	
SUBSTANCIALISTA					X		X
CONHECIMENTO PRAGMÁTICO						X	

Como podemos observar o artigo IV não apresenta nenhum tipo de obstáculo epistemológico por se trata apenas de uma proposta de implantação do tema holografia como uma disciplina dos cursos de engenharia e por conta disso não deve ser considerado para efeitos estatísticos. A análise também nos mostra que o artigo VI é o que apresenta a maior quantidade de obstáculos epistemológicos, embora se trate do artigo onde a Física é trabalhada em função da sua utilidade prática. A relação percentual dos tipos de obstáculos encontrados nos artigos está representada no gráfico abaixo.

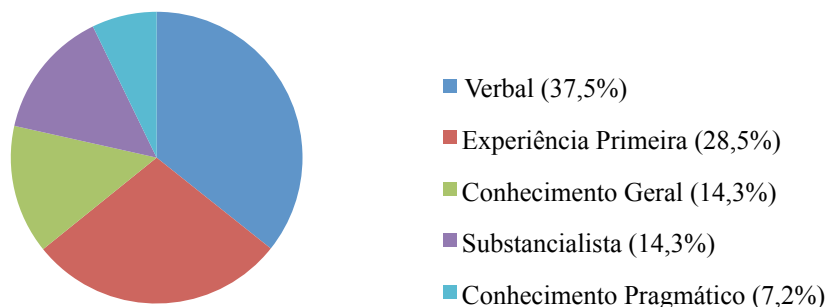


FIGURA 1. Quadro demonstrativo do percentual de obstáculos epistemológicos identificados na RBEF de 2008 a 2013.

A presença de obstáculos epistemológicos é uma constante em todos os artigos analisados e foi detectada a incidência de pelo menos dois tipos em cada um deles, o que revela a existência de fatores internos e externos aos indivíduos que interferem fortemente tanto no ensino como na aprendizagem de óptica. Esses resultados permitem concluir que as dificuldades apresentadas nessa área da Física vão muito além do processo ensino/aprendizagem e, portanto, não se trata apenas de uma simples questão metodológica.

VIII. REFERÊNCIAS

Almeida, V. O. & Moreira, M. A. (2008). Mapas conceituais no auxílio à aprendizagem significativa de conceitos da Óptica Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 30(4), 4403.

Andrade, B. L., Zylbersztajn, A. & Ferrari, N. (2002). As analogias e metáforas no ensino de ciências à luz da epistemologia de Gaston Bachelard. *Ensaio – Pesquisa em educação e ciência*, 2(2), 1-11.

Araújo, M. & Abib, M. (2003). *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 25(176).

Bachelard, G. (1996). La formation de l'esprit scientifique. Paris: J. Vrin. 1947. Em: Estela dos Santos Abreu. (Trad.). *A formação do espírito científico: Contribuição para uma psicanálise do conhecimento*. Rio de Janeiro: Contraponto.

Bachelard, G. (1976). Le matérialisme rationnel. Paris: Presses Universitaires de France. 1972. Laguzzi, E. & Castrillón, N. (Trad.). *El materialismo racional*. Buenos Aires: Paidós.

Camargo, E. P., Nardi, R. & Veraszto, E. V. (2008). A comunicação como barreira à inclusão de alunos com deficiência visual em aulas de óptica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 30(3), 3401.

Costa, R. C. (1998). Os obstáculos epistemológicos de Bachelard e o ensino de ciências. *Cad. Educ.*, 5(11), 153-167.

Delizoicov, D. (2001). *Problemas e problematizações. Ensino de Física: Conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora*. Florianópolis-BRA: Editora da UFSC. pp. 125-150.

Fiolhais, C. & Trindade, J. (1999). Física para todos - Concepções erradas em mecânica e estratégias computacionais. *Comunicações 1º Colóquio de Física do Instituto Politécnico de Tomar*. pp. 185-198.

Gomes, H. J. P. & Oliveira, O. B. (2007). Obstáculos epistemológicos no ensino de ciências: um estudo sobre suas influências nas concepções do átomo. *Ciência & Cognição*, 12, 96-109.

Lopes, A. R. C. (1993). Livros didáticos: obstáculos verbais e substancialistas ao aprendizado da ciência química. *Revista brasileira de estudos pedagógicos*, 74(177), 309-334.

Lopes, A. R. C. (1996). Bachelard: O filósofo da desilusão. *Caderno Catarinense de ensino de Física*, 13(3), 248-273.

Martins, L. C. M., Verdeaux, M. F. S. & Sousa, C. M. S. G. A utilização de diagramas conceituais no ensino de Física em nível médio: um estudo em conteúdos de ondulatória, acústica e óptica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 31(3), 3401, 2009.

Neto, J. S., Ostermann, F. & Prado, S. D. (2011). O tema da dualidade onda-partícula na educação profissional em radiologia médica a partir da simulação do interferômetro de Mach-Zehnder. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 33(1), 1401.

Pinto, A. C. & Zanetic J. (1999). É possível levar a Física quântica para o ensino médio? *Caderno Catarinense de ensino de Física*, 16(1), 7-34.

Ribeiro, J. L. P. & Verdeaux, M. F. S. (2012). Atividades experimentais no ensino de óptica: uma revisão. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 34(4), 4403.

Santos, A. C. S. & Santos, A. (2005). *Da disciplinaridade à transdisciplinaridade: Obstáculos epistemológicos*. Caxambu-BRA: ANPED.

Santos, M. E. V. M. (1991). As concepções alternativas dos alunos à luz da epistemologia bachelardiana. In: *Mudança conceitual em sala de aula, um desafio pedagógico*. Lisboa: Livros Horizonte. pp. 128-164.

Souza, P. F. L., Bastos, H. F. B. N., Costa, E. B. & Nogueira, R. A. (2010). Pensamento transdisciplinar: uma abordagem para compreensão do princípio da dualidade da luz. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 32(2), 2402.

Toledo, R. S., Cruz, G. V., Zaldo, A. F., Lunazzi, J. J. & Magalhães, D. S. F. El holograma y su utilización como un medio de enseñanza de la Física en ingeniería, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 31(1), 1401, 2009.

Zanetic, J. (2006). Física e Arte: uma ponte entre duas culturas. *Pro-Posições*, 17(49), 39-57.