

A EXPLICAÇÃO E A DUALIDADE ONDA PARTÍCULA NO ENSINO MÉDIO

EXPLANATION AND THE DUALITY WAVE PARTICLE IN HIGH SCHOOL

**Maria Cristina Paternostro Stella de Azevedo¹
Mauricio Pietrocola²**

¹USP/Faculdade de Educação/Laboratório de Pesquisa em Ensino de Física, cristazevedo@gmail.com

² USP/Faculdade de Educação/Laboratório de Pesquisa em Ensino de Física, mpietro@usp.br

RESUMO

Segundo Brewer et al,(1998), explicar é fornecer uma estrutura conceitual, que deve ir além do fenômeno original, mostrar como este advém da estrutura, integrar uma gama de fenômenos e proporcionar um sentimento de entendimento, além de ser ,em ciência, testável.

O trabalho apresenta os critérios de qualidade da explicação propostos por Brewer et al.e procura esboçar o papel da explicação na sala de aula.

Apresentamos nossa proposta de atualização curricular, a seqüência de conteúdos utilizada e as atividades realizadas antes das questões cujas respostas foram analisadas.

Esta análise das explicações dadas pelos alunos utilizará os critérios já citados, procurando constatar algumas regularidades que levam a perceber como os alunos aceitam ou escolhem explicações no caso específico das quatro interpretações dadas às experiências realizadas com o interferômetro de Mach-Zehnder.

Palavras-chave: explicação, qualidade de explicação, ensino médio, dualidade onda-partícula.

ABSTRACT

According to Brewer et al, 1998, explain is an account that provides a conceptual framework for a phenomenon that leads to a feeling of understanding. The explanatory conceptual framework goes beyond the original phenomenon, shows how it proceeds from the framework, integrate a range of phenomena and, in science can be tested.

The work presents the Brewer's criteria of quality of explanation and it sketches the paper of explanation in classroom.

It presents the proposal of curricular updating, the sequence of contents used and the activities accomplished before the subjects whose answers were analyzed.

It analyzes the transcriptions of the students's explanations using the criteria already mentioned, and verifies some regularities that take notice how the students accept or choose explanations in the specific case of the four interpretations of the experiences with Mach-Zehnder's interferometer, according to Pessoa Jr, 2003.

Keywords: explanations, quality of explanations, high school, wave-particle duality.

EXPLICAÇÃO

A explicação, ou a busca de um por que, é uma preocupação do homem que estimulou a investigação científica ao longo da história: há uma curiosidade intelectual, um desejo profundo de conhecer e compreender o mundo em que habita (Hempel, 1979).

Os não cientistas também se preocupam com explicações, e muito se tem estudado sobre as concepções espontâneas sobre diversos temas dos quais se ocupam as ciências naturais.

A sala de aula é um local privilegiado para se observar o processo de explicação, pois tanto se espera que o professor *explique* o conteúdo para o aluno, como que o aluno, após passar pelo processo ensino - aprendizagem seja capaz de usar os conceitos e teorias aprendidas para *explicar* novas situações ou fenômenos que lhe são propostos. O trabalho do professor, em sala de aula

...é tentar estabelecer nexos, continuidades, relações entre essas diferentes visões de mundo e aproximar posições que se encontram separadas por abismos conceituais. (Martins et al, 1999)

No artigo citado, os autores afirmam que:

É curioso, senão surpreendente, que o tema “explicações” não venha sendo objeto de estudo ou investigação sistemática na área de Ensino de Ciências. Da mesma forma, a atividade de ‘explicar’ não vem sendo tratada como algo que possa ser entendido, aprendido ou ensinado. (Martins et al, 1999)

Esse fato nos levou a pensar não só neste tema, mas também nas dificuldades que se encontra ao introduzir o conteúdo dualidade onda – partícula no ensino médio, pois nessa área, a explicação torna-se muito diferente daquela que o aluno aceita como explicação científica.

Explicação cotidiana e científica

O que faz a ciência, em particular a Física?

Uma das possíveis respostas a essa pergunta é considerar que Física busca explicar os fenômenos, ou seja, propor relatos que forneçam uma estrutura conceitual para o fenômeno, que conduzam ao sentimento de compreensão na pessoa que lê ou ouve.(Brewer, et al,1998).

De certo modo, a explicação deve promover na pessoa um sentimento de entendimento, um certo conforto.

Explicação na Física é o que os físicos fizeram quando dizem A-há!
(Weinberg,2001)

As explicações no uso cotidiano, bem como as explicações científicas, além de fornecerem uma estrutura conceitual para o fenômeno que deve ir além do fenômeno original, integram uma gama de fenômenos, mostram como o fenômeno original segue da estrutura e, também proporcionam o sentimento de entendimento. No caso da ciência, as explicações devem também ser testáveis. (Brewer, et al,1998).

As explicações sobre como algo acontece ou porque acontece de um determinado modo, são muitas vezes respondidas, por meio de relações de causa e efeito (Strawson,2002). Essas explicações causais são as mais freqüentes tanto no cotidiano quanto na Física. Na ciência, elas estão relacionadas a uma lei que fundamenta a explicação.

Além das explicações causais, a Física se vale de explicações formais matemáticas, enquanto que, cotidianamente, se usam explicações funcionais, que respondem à pergunta “para que serve isso?”, ou intencionais, relacionando o fato a uma intenção, como em comportamentos humanos.

Qualidade das explicações:

Conforme Brewer et al (1998), há uma tendência natural de avaliar a qualidade de uma explicação e podem -se inferir alguns critérios que são usados para dizer se uma explicação é “boa” ou não. Os autores propõem que os seguintes critérios são usados para avaliar as explicações:

1. Exatidão empírica: Se há consistência com a evidência empírica.
2. Alcance: Se a explicação é capaz de abranger um conjunto de dados mais amplo.
3. Consistência: Se as explicações são consistentes internamente.
4. Simplicidade: Se uma explicação utiliza um menor número de afirmações ou hipóteses que uma outra.
5. Plausibilidade: Se a explicação é mais consistente com as convicções de fundo da pessoa.
6. Precisão: Se a explicação faz previsões precisas.
7. Formalismo: Se as explicações podem ser expressas de forma matemática.
8. Fecundidade: Se a explicação propõe uma orientação para pesquisas futuras ou abre áreas novas de pesquisa.

Pode-se perceber que os critérios de 1 a 5 são utilizados pelas pessoas cotidianamente e os cientistas além desses utilizam os de 6 a 8.

A explicação na sala de aula:

As pessoas explicam coisas para si próprias ou para outras, e isso é algo que acontece na natureza. (Strawson,2002)

Na sala de aula, considerando um ensino por investigação, o professor apresenta um certo fato ou fenômeno para o aluno, esperando que ele dê uma explicação. Essa explicação está normalmente calcada nas suas concepções espontâneas ou em seus conhecimentos anteriores. Se

o professor propõe uma situação nova, que a concepção espontânea não consegue explicar de modo satisfatório, o aluno espera que o professor lhe forneça essa explicação, ou que ele o ajude nessa construção. Depois de elaborada ou entendida essa explicação, o professor propõe uma nova situação em que o aluno possa utilizá-la. Se esse ciclo se fecha, o aluno acaba tendo a sensação de entendimento.

Por isso, na sala de aula devem-se criar episódios em que as entidades ontológicas sejam protagonistas e formular situações que levem a uma demanda de explicação pelos alunos.

Mesmo que o professor busque criar as condições em que o aluno peça explicação, na sala de aula, essa situação não é espontânea, como acontece nas situações do dia a dia. Ou seja, na sala de aula, as explicações são mais oferecidas ao aluno, que solicitadas por ele.

Além disso, as explicações científicas utilizam entidades ontológicas cujos “poderes”, propriedades e tendências “produzem” os fenômenos, (Martins et al, 1999), e se o aluno não conhece as entidades envolvidas, a explicação, para ele, pode não ser plausível e, portanto, só será utilizada nas condições do contrato didático, para responder aquilo que o professor espera.

O ENSINO DA DUALIDADE ONDA PARTÍCULA NO ENSINO MÉDIO

Muito se tem proposto sobre a inserção da Física Moderna no Ensino Médio e percebe-se a dificuldade de implantação desse conteúdo, especialmente porque muitas das explicações são do tipo formal matemática e a matemática utilizada foge muito do que é previsto e dado nesse nível de ensino.¹

No contexto das pesquisas educacionais, ainda não tem uma resposta clara do modo como introduzir esses conteúdos, sendo que várias experiências têm sido feitas nesse sentido (Ostermann et al,1999, Valadares e Moreira,1998).

Faço parte de um grupo de professores de ensino médio, com a coordenação de um professor da Universidade de S.Paulo e a participação de alguns mestrados², que está desenvolvendo e implantando um curso que leva o aluno a encarar a novidade das interpretações quânticas e a dualidade onda partícula.

O tema foi escolhido, pois:

- Localiza-se na fronteira entre Física clássica e Física moderna
- Fundamenta o entendimento de uma série de fenômenos físicos (emissão e absorção de radiação) e de produtos tecnológicos (cristais líquidos, laser, células fotoelétricas, etc.).
- Favorece a construção de modelos sobre o mundo microscópico
- Oportuniza o entendimento de alguns dos princípios básicos da FMC (quantização da energia, relação massa energia, relatividade do tempo, etc.) (Pietrocola,2003)

¹ Os conteúdos de Física Moderna, ao contrário de outros conteúdos, ainda não adquiriram as qualidades necessárias para sua transposição didática para o Ensino Médio, conforme define Chevalard.

² Processo Fapesp n° 03/00146-3

De um modo particular, fizemos uma experiência com uma classe de 3ª série do Ensino Médio, seguindo um planejamento e uma seqüência de atividades propostas na dissertação de mestrado de Guilherme Brockington, 2005, atividades essas que levariam o aluno a pensar não só sobre a luz e sua natureza, mas sobre a ciência, suas implicações e sua relação com a realidade.

A seqüência de conteúdo:

Pretendíamos discutir a experiência de Mach-Zehnder e as interpretações quânticas sobre a luz (ondulatória, partícula, complementaridade e dualista realista), conforme apresentadas no livro Conceitos de Física Quântica, de Osvaldo Pessoa Jr (2003).

A proposta do Guilherme foi de partirmos da discussão do que são modelos e das duas entidades ontológicas usadas para explicação em Física: a onda e a partícula. A seguir o conteúdo seria a cor dos objetos que, por ser um assunto do cotidiano, estimularia a curiosidade dos alunos e estabeleceríamos a luz como onda eletromagnética, que é uma explicação bem aceita. Apresentaríamos o estudo da espectroscopia e os espectros discretos, utilizando o modelo de Bohr como explicação dos espectros. A seguir, mostraríamos o efeito fotoelétrico e a explicação de luz como partícula, de Einstein, o que geraria a questão sobre a natureza da luz. Proporíamos o experimento com o interferômetro de Mach-Zehnder como tentativa de solução para o impasse sobre a natureza da luz e as quatro interpretações que surgem para os resultados do experimento. Apresentaríamos o experimento da escolha demorada e faríamos sua interpretação de acordo com as quatro interpretações já citadas. A discussão final seria sobre a ciência e a realidade, e aspectos do conhecimento científico.

Abaixo segue um quadro sintético com a seqüência das aulas dadas e os principais momentos do curso desenvolvido.

BLOCO	AULAS	MOMENTOS
I. Os modelos no cotidiano e na física	1. Inventando um modelo para a caixa preta	Os alunos observam e manuseiam uma caixa preta com mecanismo de transmissão de movimento. Os alunos devem tentar explicar o mecanismo de funcionamento da caixa preta através de um esquema e de texto escrito.
	2. A noção de modelo	Leitura do texto em classe ou em pequenos grupos. Responder por escrito às questões do texto. Correção das questões e fechamento da discussão
II. Ondas e partículas	1. Transmitindo energia através de onda e partícula	Os alunos em grupo devem propor por escrito dois modos para ligar uma TV com o material fornecido, a partir da posição indicada pelo professor. Cada grupo pode testar suas idéias, buscando a solução do problema. Discussão das soluções apresentadas.
	2. Sistematização do conteúdo	Leitura do texto em classe ou em pequenos grupos. Responder por escrito as questões do texto Correção das questões e fechamento da discussão

III Luz: cor e visão.	1. Explorando a visão das cores Compreendendo os mecanismos de cor e visão	Caixa com filtros de cores diversas.
	2. Continuação	Discussão da atividade: o que é cor?
	3. Misturando luzes e pigmentos	Misturar luzes de cores diferentes e comparar com tinta (pigmentos)
	4. O que é cor?	Apresentação de slides do power point
	5. Fechamento e Exercícios	Questões.
	6. Continuação	Correção e fechamento
IV. Espectroscopia	1. Construindo um espectroscópio	Construção de um espectroscópio Orientação para pesquisa de campo.
	2. Observando lâmpadas	Discussão dos espectros observados Observações de espectros de uma série de lâmpadas.
	3. Entendendo o funcionamento básico de um espectroscópio e o funcionamento das diferentes lâmpadas	Aula expositiva
	4. Estudo dos espectros e das lâmpadas.	Exercícios
V. Modelo Atômico de Bohr	1. Tipos de espectros e linhas espectrais	Atividade sobre os espectros - Site da UFRG
	2. Modelos Atômicos	Aula expositiva com apresentação de slides
	3. Aplicação dos Postulados de Bohr	Aula expositiva dos postulados de Bohr
	4. Questões e Exercícios	Resolvendo exercícios
VI. O Efeito fotoelétrico	1. Os modelos para a luz e o efeito fotoelétrico	Apresentar o efeito fotoelétrico Vídeo da TV Ontário Discutir o efeito fotoelétrico Resolver questões do texto
		2. Aprofundando a compreensão
VII. Dualidade onda partícula	1. Analogia com a pessoa fóton	Os alunos observam o comportamento da pessoa-fóton e o professor fica atento para recolher as hipóteses que forem aparecendo.
	2. Interferômetro de	O professor retoma as observações e sistematiza as hipóteses dos alunos, preparando para a analogia.

	Mach Zender	Retomar a analogia da aula anterior usando o power point. Apresentar o interferômetro de Mach Zhender, e os resultados experimentais iniciais e para um só fóton, e as interpretações dos resultados visando determinar a natureza da luz. Os alunos assistem à apresentação e participam do diálogo mantido com o professor
	3. Exercícios	Apresentar as questões e entregar o texto de apoio, deixando claro o caráter das questões serem opinativas e que o certo ou errado está de acordo com a argumentação e não por existir uma resposta certa. Os alunos respondem individualmente as questões, assistidos pela professora

As atividades anteriores às explicações dadas pelos alunos

Para este trabalho, selecionamos apenas as atividades que levaram os alunos a contemplar as quatro explicações dadas pela mecânica quântica para a luz.

O estudo das cores dos objetos foi feito propondo a luz como onda eletromagnética. Os fenômenos de reflexão, absorção e transmissão (refração) da luz foram bastante exemplificados e discutidos e, depois dos estudos de espectros contínuos e discretos, os alunos estavam “convencidos” de que a luz é uma onda eletromagnética, cuja energia está relacionada à frequência pela relação $E = h \cdot \nu$, onde E é a energia, h é a constante de Planck e ν é a frequência da onda.

O átomo de Bohr explicou os espectros discretos, usando a quantização da energia. Esse fato foi aceito sem problemas pelos alunos.

Apresentamos depois o efeito fotoelétrico, contando a experiência, seus resultados e a não explicação dos fatos experimentais usando a idéia da luz como onda. Apresentei então a explicação de Einstein, propondo os “pacotes de energia” que seriam os fótons.

Depois dessa discussão, foram passadas aos alunos algumas questões sobre o efeito fotoelétrico e sobre o fato de ter surgido uma nova explicação para a natureza da luz. Foi lido na forma de diálogo o texto do livro *Evolução da Física*, (Einstein, Infeld, 1962, pg, 93, 94), em que um defensor da idéia de Huygens e um das idéias de Newton dialogam, contrapondo as razões das teorias ondulatória e corpuscular, mostrando que a questão da natureza da luz é bastante antiga.

Discutimos então que, para tentar resolver o impasse, buscou-se um arranjo experimental que teria por finalidade revelar a natureza da luz através de seu comportamento. Fizemos uma metáfora para que os alunos raciocinassem para a metáfora e depois entendessem os resultados experimentais obtidos no interferômetro de Mach-Zehnder.

Apresentamos o esquema experimental e os resultados obtidos. Mostramos então como a teoria ondulatória e a teoria corpuscular explicavam esses resultados e as interpretações *dualista - realista* e da *complementaridade*. Procuramos mostrar, com o máximo de isenção, os

limites e a abrangência de cada explicação. Duas questões da prova versavam sobre o assunto natureza da luz e a explicação, questões estas que serão usadas na minha análise.

OS ALUNOS E AS DIFERENTES INTERPRETAÇÕES DA MECÂNICA QUÂNTICA

Na sala de aula

Enquanto a luz era apresentada como onda eletromagnética, não tivemos problemas com a aceitação das explicações pelos alunos e com seu uso nas diferentes situações apresentadas nas questões e trabalhos realizados. A dificuldade de aceitação começou quando, ao perceber o alcance da explicação de Einstein sobre o efeito fotoelétrico, um dos alunos questionou veementemente minha postura, perguntando porque as coisas tinham mudado de uma semana para a outra? Se afinal a luz é formada por fótons, porque estudamos a luz como onda eletromagnética?

Quando, após a apresentação dos resultados das experiências com o interferômetro de Mach-Zehnder, foram dadas as quatro interpretações quânticas, o desconforto entre os alunos foi bastante grande, com alguns assumindo uma postura relativista sobre a Ciência, questionando sua validade, já que não é possível de ter uma “certeza”, nem mesmo parcial. Pela atitude em sala de aula, os alunos mostraram que não é problema aceitar as mudanças de modelo porque não explicam mais os resultados experimentais ou as observações, mas que a visão de ciência exige uma definição não só da relação de causa e efeito como também da natureza da entidade ontológica.

Questões propostas:

As questões selecionadas para serem analisadas neste trabalho foram:

Após o estudo de efeito fotoelétrico:

Q1. Vimos que a luz é uma onda, depois que ela é formada de partícula. Qual será a verdadeira natureza da luz? O que significa para você a ciência explicar a mesma coisa usando dois aspectos completamente opostos? A luz é mesmo assim?

Após o estudo das experiências com o Interferômetro de Mach-Zehnder:

Q2. A partir do que você viu aqui, como você acha que é a natureza da luz? Qual das quatro interpretações mais te agrada? Por quê?

Da prova:

Q3. A luz se comporta como onda ou como partícula. Como a ciência explica a natureza da luz hoje?

Q4. E você, que modelo você acha que melhor explica essa natureza?

Analisando as respostas dos alunos e sua relação aos critérios propostos por Brewer et al (1998)

Por meio das respostas dos alunos, verificamos que o critério de *apoio empírico* é extremamente relevante. A visão de que a ciência se apóia na experiência aparece como justificativa em várias respostas como as transcritas abaixo: (destaques do autor)

Q2:A interpretação da complementaridade é a que mais nos agrada, pois *não há certezas sem experimentos*.(And.. e Pal.)

Q4:A que explica melhor é a teoria que diz que a luz é uma onda pois ela *reflete e atravessa as coisas* e ela é que explica melhor o que é a luz.(Fer)

Q4:O modelo de complementaridade que não define exatamente o que é até o final do experimento, *só depois de se obter um resultado perceberá qual melhor se encaixa*. (Jul.)

Q4: O modelo da complementaridade, *“é necessário experimentos para se ter respostas”*.(Pal.)

Q4:O modelo de complementaridade, pois é o único, que de certa forma, fica “em cima do muro”, só ao final do experimento é que se tem a certeza (mesmo que não tão certa).(And.)

Q2:Complementaridade, pois não conseguimos definir a sua natureza ou nada, pois antes disso *não conseguimos definir e dar uma opinião e posição do que ela é precisamos ter primeiro o resultado de experiência* (que sempre muda ao descobrirmos coisas novas) para dizer o que ela é.(Mar., Elo.)

Alguns manifestam um maior conforto quando encontram uma explicação que está de acordo com suas convicções mais profundas.(plausibilidade), como percebemos nos exemplos abaixo: (destaques do autor)

Q1:A luz é uma espécie de energia. De energias naturais como o sol por exemplo.A ciência por estudar coisas tão complexas consegue primeiro ter dois pontos de vistas, e totalmente plausíveis para o mesmo assunto, significando que talvez não haja apenas uma resposta para cada aspecto.(Fel.)

Q1: Não existe o certo e o errado ou seja a luz é uma onda e possui partículas, na minha opinião; pois cientistas tentando contrariar uns aos outros trouxeram novas descobertas, *eu acredito* na explicação quântica de Einstein dos fótons, *pois faz sentido*, mas eles são carregados pelo que? A luz é onda e partículas cada uma com sua frequência e fótons.(Nat., Tall., Dir.)

Um dos alunos mostra na sua resposta que a escolha da explicação sobre a natureza da luz aconteceu pela simplicidade,

Q4: Fico com a complementaridade, uma vez que deixa todo o seu trajeto um mistério que não precisa ser desvendado, *facilitando o trabalho*.(Marc.)

Dentre as respostas obtidas, notamos uma dupla de alunas que deixa claro que dá relevância ao critério da plausibilidade mesmo que para isso tenha que abandonar o apoio empírico.

Q2: A natureza da luz é indecifrável até que se prove a verdadeira interpretação. A interpretação que mais nos agradou foi a 3. Dualista realista por que talvez ela seja a que mais se aproxima de uma conclusão correta sobre a luz. Ora os cientistas dizem que a luz é onda ora que é partícula, prefiro achar que as duas poderiam estar juntas, apesar de não estar provado.(Fer,Nat)

Dois alunos ao responderem a questão 1, deixam claro que, diante das evidências experimentais e da explicação dada por Einstein, há necessidade de uma mudança de modelo, revelando a aceitação da mudança:

Q1. As duas explicações faziam sentido porém a ultima faz mais sentido pois não é possível explicar a ejeção dos elétrons do metal usando ondas, por isso acho que é formada de partículas.

Significa que a ciência é versátil e pode achar vários aspectos para explicar uma coisa, “a ciência tem a capacidade de evoluir”. (Joa)

Q1:Acho mais provável que a luz seja uma formação feita por partículas.Com o passar do tempo a onda já não era uma explicação exata para o efeito luz, assim, foi proposta outra explicação “por partículas”.(Eli)

Após tomar conhecimento da experiência de Mach-Zehnder e da possibilidade de escolher uma explicação, ambos preferem uma explicação que lhes seja mais plausível:

Q4: Eu acho que ela tava muito bem como uma onda, mas isso já era por isso acho que to começando a acreditar que ela é os dois e também acredito na meia partícula. É mais aceitável. (Joa)

Q3: Hoje em dia a ciência explica a natureza da luz de 4 formas, sendo que as 4 tem algum ponto que se confunde ou não se explica bem. Ondulatório, corpuscular, dualista e complementarista todas tem algo que não se explica bem, mas q que mais me convence é ...

Q4: Eu fico com o modelo dualista realista que encara a luz como sendo os dois, onda e partícula dependendo da situação, como se as duas andassem juntas mas em um certo ponto cada uma seguiria seu caminho diferente, pois os outros modelos são menos convincentes. (Eli)

Um exemplo do conflito gerado pela não existência de uma explicação “aceita” pela comunidade científica acerca da natureza da luz gerou a resposta abaixo, em que a dupla de alunos deixa claro que acha desnecessária a explicação dada pela ciência.

Q1. Para mim a ciência não explica nada, a ciência tenta explicar tudo e tira a conclusão que tais fatos são inexplicáveis. Acho que a luz é algo divino e não tem explicação. Deus criou a luz e viu que era perfeito. Pronto, é o jeito mais fácil de se entender.

Pra que ficar indo tão fundo se é essa a conclusão que vamos ter?

Q2: Achemos que a luz não se explica, não precisamos ficar questionando de onde veio a luz, é muito óbvio:

Deus disse: - Haja Luz

E houve luz. E Deus viu que a luz era boa.

Pronto, pq querer saber o q é luz?

Não vai mudar nada na vida de ninguém a luz vai continuar existindo do mesmo jeito e pronto. (Bár e Sam)

CONCLUSÕES:

Os alunos em geral, utilizam apenas um critério para validar suas explicações. Em suas respostas revelam que o caráter empírico da ciência é extremamente importante: tudo que é chamado de “científico” ou “cientificamente comprovado” carrega uma idéia de verdade que é passada não só pelos professores da área de Ciências, como pela mídia, mas apesar da “força” do caráter empírico, outros critérios também são usados pelos alunos.

Quando, no começo do curso, propomos que a Física trabalha com modelos, os alunos passam a aceitar que a ciência tem uma relação com a realidade, mas que não é a realidade. Fica, de certo modo, a impressão de que a ciência tende a se aproximar cada vez mais da verdade e da realidade e que a sucessão de modelos utilizados acontece, buscando essa aproximação e a coerência maior entre o modelo e o fato experimental, seja ele diretamente observado ou obtido através de aparelhos.

Ensinar física moderna exige que os critérios que sustentam as afirmações sejam diversificados, ou seja, não basta apenas buscar a adequação aos dados empíricos. Ao se introduzir a dualidade onda - partícula, o contato com a não certeza da ciência moderna gera mudança no critério de qualidade de explicação e, como pudemos ver, em vários casos, apesar de nossa amostra não ser extensa, o critério de plausibilidade, mais de acordo com o sentimento de entendimento aparece. A diversidade dos critérios de explicação parece ser um resultado positivo obtido no curso.

È necessário que não se perca de vista que o entendimento do cotidiano sem conhecimentos especializados é impossível, e que este é provido pelos conhecimentos científicos modernos, que apesar de conter um fator de incerteza, possibilitaram todo desenvolvimento tecnológico com que convivemos nesse início de século.

REFERÊNCIAS

Brewer, W. F., Chinn, C.A., Samarapungavan, A.S.. Explanation in Scientists and Children. **Minds and Machines**, v.8, p.119-136, 1998

Brockington, G.. **A realidade escondida: a dualidade onda - partícula para estudantes do ensino médio**, dissertação de mestrado. IF – FEUSP, 2005

- Einstein, A.; Infeld, L. **A evolução da Física**. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1962
- Hempel, C. G. **Explicação científica**. In: *Filosofia da ciência*. MORGENBESSER, S. (org.). São Paulo: Cultrix, 1979.
- Martins, I., Ogborn, J., Kress, G. Explicando uma explicação, **Ensaio**, v.1, n. 1, 29 – 46, set. 1999
- Ostermann, F., Cavalcanti, C.J.H. Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: elaboração de material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais, **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.8, n.3, p.267-286, dez. 1999
- Pessoa Jr., O. **Conceitos de Física Quântica**, 1ª edição, S.Paulo: Editora Livraria da Física, 2003
- Pietrocola, M., Atualização dos currículos de física no ensino médio de escolas estaduais: a transposição das teorias modernas e contemporâneas para a sala de aula, FEUSP, FaPESP, processo nº2003/0146-3 (não publicado) 2003.
- Strawson, P.F. **Análise e metafísica: uma introdução à filosofia**. 1ª edição, S.Paulo. Discurso Editorial. 2002.
- Valadares, E.; Moreira, A.M..Ensinando Física Moderna no segundo grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.15, n.2, 121-135, ago 1998
- Weinberg, S. Can Science Explain Everything? Anything? Disponível em <http://www.nybooks.com/articles/14263> Acesso em 18/julho/2005