

A FÍSICA QUÂNTICA COMO UMA TRADIÇÃO DE PESQUISA: UMA ANÁLISE A PARTIR DA EPISTEMOLOGIA DE LARRY LAUDAN

QUANTUM PHYSICS AS A RESEARCH TRADITION: AN ANALYSIS IN THE LIGHT OF LARRY LAUDAN'S EPISTEMOLOGY

Fernanda Ostermann¹
Sandra Denise Prado²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Departamento de Física/fernanda@if.ufrgs.br

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Departamento de Física/prado@if.ufrgs.br

RESUMO

Neste trabalho apresentamos os conceitos centrais da epistemologia de Larry Laudan e analisamos a física quântica como um exemplo de tradição de pesquisa – unidade de análise proposta por sua metodologia. Apesar de representar uma visão de ciência bastante frutífera nesse início de século, as idéias de Laudan ainda têm pouco impacto na pesquisa em ensino de física. A contribuição deste artigo também se constitui na exploração de um exemplo de uma tradição na física pouco aprofundada em sua obra, mas de grande apelo didático em disciplinas de história e epistemologia da física dos cursos de formação de professores.

Palavras-chave: epistemologia, Larry Laudan, Física Quântica, formação de professores.

ABSTRACT

In this paper the central concepts of the epistemology of Larry Laudan and the analysis of some aspects of quantum physics as an example of a research tradition - analysis unit proposed by its methodology – are presented. Although Laudan represents an influential and important vision of science in the beginning of this century, his ideas still have little impact in the Physics Teaching Research. This paper also contributes with examples of tradition in physics that are not very explored in his work, but of great didactics appeal in courses of Physics history and Physics epistemology for teacher's education.

Keywords: epistemology, Larry Laudan, Quantum Physics, teacher education.

INTRODUÇÃO

Larry Laudan graduou-se em Física pela Universidade de Kansas em 1962, tendo obtido seu Ph.D em Filosofia pela Universidade de Princeton em 1965. Atualmente, é pesquisador sênior no “Instituto de las Investigaciones Filosóficas” da Universidade Autônoma Nacional do México (UNAM). Foi o fundador do Departamento de História e Filosofia da Ciência da Universidade de Pittsburgh e também lecionou na “University College London”, na Universidade de Cambridge e nas universidades do Hawaii, Illinois, Melbourne, Minnesota, e Rochester. Seus livros principais são *Progress and Its Problems* (University of California Press and Routledge, 1977); *Science and Hypothesis* (D. Reidel, 1981); *Science and Values* (University of California Press, 1984); *Science and Relativism* (University of Chicago Press, 1990) e *Beyond Positivism and Relativism* (Westview Press, 1996). Essas obras foram traduzidas para o chinês, francês, italiano, japonês, russo e espanhol. Em “*Progress and Its Problems*”, Laudan apresenta sua epistemologia como um resgate da racionalidade da ciência, tratando deliberadamente de evitar alguns dos pressupostos-chave que produziram o que o autor chama de “colapso da análise tradicional”. Suas idéias evoluem a partir do impacto produzido pelas obras de Thomas Kuhn (1978) e Imre Lakatos (1989), que, para ele, representaram o abandono, como causa perdida, da racionalidade da ciência ou uma pequena variação na análise tradicional (“sofisticação” do modelo popperiano), respectivamente. Laudan também contesta as pretensões da epistemologia cientificista em aspectos cruciais, como o realismo epistemológico e a vinculação do progresso com o alcance da verdade (Pesa e Ostermann, 2002 e Cupani, 1994).

Neste trabalho apresentamos os conceitos centrais de sua epistemologia a fim de explorar uma teoria do conhecimento científico ainda pouco investigada na área de ensino de Física, mas bastante frutífera nesse início de século (Guridi et al, 2003). Analisamos também a Física Quântica (FQ) como um exemplo de tradição de pesquisa – unidade de análise proposta por Laudan.

IDÉIAS CENTRAIS DA EPISTEMOLOGIA DE LAUDAN E A FÍSICA QUÂNTICA COMO EXEMPLO

A frase que pode resumir sua epistemologia é a seguinte “A ciência é, em essência, uma atividade de resolução de problemas” (Laudan, 1986, p. 39)¹. Nesta perspectiva, propõe duas teses (op. cit. p. 42):

Tese 1: A primeira e essencial prova de fogo para uma teoria é se proporciona respostas aceitáveis a perguntas interessantes; em outras palavras, se proporciona soluções satisfatórias a problemas importantes.

Tese 2: Para avaliar os méritos das teorias, é mais importante perguntar se constituem soluções adequadas a problemas relevantes do que se são “verdadeiras”, estão “corroboradas”, “bem confirmadas” ou são justificáveis de qualquer outro modo no âmbito da epistemologia do momento.

¹ Sua perspectiva epistemológica sugere que não há uma diferença fundamental entre a ciência e outras formas de investigação intelectual.

A dialética básica da ciência estaria no contraponto entre problemas desafiantes e teorias adequadas. Laudan, ao ampliar a esfera dos tipos de problemas existentes, propõe uma taxionomia que distingue, basicamente, problemas empíricos de conceituais. Os problemas empíricos são definidos como “qualquer coisa acerca do mundo natural que nos surpreende como estranha ou que necessita de uma explicação; não necessitam descrever com precisão um estado de coisas real, o que se requer é que alguém pense que é um estado de coisas real (Laudan, 1986, p. 43). Por exemplo, perguntar-se como e porque os corpos caem em direção ao centro da Terra com uma regularidade assombrosa. Para considerar algo como problema empírico, temos que sentir que “pode-se ganhar um prêmio ao solucioná-lo”. Esses problemas acerca do mundo se diferenciam dos fatos, que seriam enunciados verdadeiros sobre o mundo, na medida em que há muitos fatos que não suscitam problemas empíricos porque são desconhecidos. Por exemplo, em 1859, Gustav Kirchhoff provou que a energia emitida por um corpo negro dependia exclusivamente da temperatura do corpo e da frequência da energia emitida via uma função então desconhecida. Em 1879, Josef Stefan propôs, com base em dados experimentais, que essa energia seria proporcional à quarta potência da temperatura. Essa mesma conclusão foi obtida por Ludwig Boltzmann, em 1884, por meio de considerações teóricas usando Termodinâmica e Teoria Eletromagnética de Maxwell. O resultado - a Lei de Stefan-Boltzmann - ainda não responde adequadamente ao Teorema de Kirchhoff, visto que não relaciona essa energia com frequência ou comprimento de onda especificamente. Em 1896, Wilhelm Wien encontrou uma solução que concordava com as observações experimentais para grandes comprimentos de onda, mas que divergia para comprimentos de onda nas regiões do ultra-violeta e infra-vermelho longínquos. Na virada do século XIX para o XX, a radiação de corpo negro se constituía em um problema empírico da maior relevância para os físicos, em particular, para os especialistas em Termodinâmica.

Numa tentativa de ajustar a curva teórica aos dados experimentais, Max Planck deu um passo sem precedentes, em 1900, ao assumir que a energia total é composta de pacotes de energia – os quanta de energia. Planck ganhou o Prêmio Nobel em 1918 por este trabalho.

Outros exemplos de problemas empíricos que decorrem dos quanta de Planck seriam a predição da anti-matéria que levou ao desenvolvimento de experimentos para a detecção de uma série de partículas elementares (por ex. neutrino, bóson de Higgs, gráviton); o fenômeno da radioatividade que levou ao manuseio da energia nuclear; a pesquisa de materiais supercondutores com o desenvolvimento da supercondutividade; o fenômeno de interação da radiação com matéria culminando na invenção do LASER e a interação das ondas de rádio com o núcleo do Hidrogênio que permite imagens de ressonância magnética nuclear.

TIPOS DE PROBLEMAS EMPÍRICOS

Há três tipos de problemas empíricos (Laudan, 1986, p. 46).

1) Problemas não resolvidos:

Estão nessa categoria os problemas que não foram resolvidos adequadamente por nenhuma teoria.

A dificuldade experimental para a detecção do gráviton constitui um problema empírico não resolvido para a Física de Partículas (área da Física fundamentada na Física Quântica). Há uma forte analogia entre o fóton e o gráviton. As partículas mensageiras das forças eletromagnéticas são os fótons virtuais, mas evidentemente detectamos fótons reais na forma de radiação eletromagnética (clássica). Do mesmo modo, visto que a gravidade tem um raio de ação infinito, o gráviton deve ser uma partícula sem massa que deve ser detectada através de ondas gravitacionais (clássicas). As ondas gravitacionais são muito mais fracas que as ondas eletromagnéticas, visto que a força da gravidade por unidade de massa é menor que a força eletromagnética por unidade de carga. A sua detecção é muito importante pois elas permitiriam a verificação de previsões fundamentais da Relatividade Geral, por exemplo. Elas são, no entanto, muito difíceis de serem observadas dada sua fraca interação com a matéria. Ainda nesse contexto, o Bóson de Higgs, uma partícula predita pelo Modelo Padrão, também se constitui em outro problema empírico da maior importância. A massa de cada partícula resulta da influência de um campo universal associado ao Bóson de Higgs, que está sempre presente, mesmo no vácuo absoluto. A detecção do Bóson de Higgs está então diretamente relacionada ao problema das massas dos corpos.

Outros problemas empíricos de menor relevância, pelo menos aparentemente, se mostram cruciais no desenvolvimento de novas tecnologias como a dos computadores quânticos. Um exemplo é a rápida perda de coerência na superposição de estados quânticos no limite macroscópico. Experimentos recentes (Bjork et al, 2004) tentam quantificar as escalas de algumas superposições quânticas macroscópicas.

2) Problemas resolvidos:

Estes problemas são os que foram satisfatoriamente resolvidos por uma teoria e, nesta classe, não faltariam exemplos de problemas empíricos resolvidos pela FQ. Em 1905, Einstein elaborou uma teoria para o Efeito Fotoelétrico. Elétrons de certos metais ou semicondutores são ejetados pela superfície do material iluminado por radiação eletromagnética. A Teoria Eletromagnética da luz fornecia resultados que divergiam dos resultados experimentais levando Einstein a propor uma teoria que usasse o quantum de luz de Planck para solucionar o problema. A teoria de Einstein para o Efeito Fotoelétrico supõe a troca de quantum de energia entre o material e a radiação. Einstein recebeu o Prêmio Nobel em 1921 por este trabalho.

Em 1913, Niels Bohr escreveu um artigo revolucionário acerca do Átomo de Hidrogênio. O modelo de Bohr explicava a estabilidade do átomo e suas linhas espectrais em termos de órbitas estacionárias e da quantização espacial. Bohr ganhou o Prêmio Nobel de Física em 1922 por esse trabalho.

3) Problemas anômalos:

Laudan os define como sendo os que uma teoria concreta não consegue resolver, mas uma ou mais teorias alternativas sim já os resolveram. Nesta classe de problemas, temos dificuldade de exemplificar com a FQ, uma vez que se reconhece que não existem teorias alternativas que resolvam problemas não solucionados por ela.

É consenso que a Física Quântica e a Teoria da Relatividade Geral sejam as duas teorias mais fundamentais da Física e que elas formam a base sobre a qual outras teorias são formuladas.

A teoria quântica explica todos os fenômenos conhecidos até o momento com algo grau de precisão e não disputa seu sucesso com nenhuma teoria rival, a não ser com pequenas variantes de seu próprio núcleo.

Para Laudan, umas das características distintivas do progresso científico é a transformação de problemas anômalos e não resolvidos em problemas resolvidos. Devemos perguntar, portanto, no caso de todas e cada umas das teorias, quantos problemas resolveram e quantas anomalias enfrentam. Esta pergunta se converte em uma das ferramentas fundamentais para a avaliação comparativa das teorias científicas.

Quanto ao *status* dos problemas não resolvidos, Laudan destaca que (op.cit. p. 47) os problemas não resolvidos só contam como autênticos problemas quando deixam de ser problemas não resolvidos (op.cit. p.47). Isto se deve, por exemplo, a resultados experimentais que são difíceis de reproduzir ou a instrumentos de medida que não são confiáveis. Portanto, esse tipo de problema tem um *status* ambíguo (op.cit.p.48). Por exemplo, quase por um século, o problema de se buscar evidências da existência dos átomos não se configurava como um problema relevante tendo em vista a ascensão renitente da concepção atômica da matéria quase ao final do século XIX.

Quanto aos problemas resolvidos, Laudan assinala que para determinar se uma teoria resolve um problema, é irrelevante se a teoria é verdadeira ou falsa. Por exemplo, o modelo atômico de Bohr, por algum tempo, resolvia o problema da estabilidade do átomo, apesar de se mostrar falso com o advento da nova FQ.

Há uma freqüente não permanência das soluções, que pode ser constatada na explicação semi-clássica dos primeiros modelos atômicos ou na explicação quântica para o mesmo problema empírico (da estabilidade atômica, por exemplo). Além disso, os critérios de aceitação das soluções dos problemas evoluem ao longo do tempo, não sendo transculturais ou transtemporais.

Quanto aos problemas anômalos, Laudan assinala que o aparecimento de uma anomalia suscita dúvidas acerca da teoria que mostra tal anomalia, mas não faz inevitável seu abandono. Por exemplo, segundo Lakatos (1989), o modelo de Bohr triunfa apesar de se tratar de um “remendo” semi-quântico. Defende que não importa tanto quantas anomalias gera uma teoria, mas que importância cognitiva têm essas anomalias concretas, que estariam relacionadas ao grau de discrepância entre o resultado experimental observado e a previsão teórica ou à sua antiguidade e resistência em ser resolvida por uma dada teoria concreta. A avaliação dos problemas empíricos é uma questão cognitiva racional, pois para Laudan, a importância da resolução de problemas empíricos (tanto resolvidos como anômalos) não é a mesma em todos os casos, dado que alguns problemas são de muito maior importância que outros. Por exemplo, quando ocorre a inflação de um problema por sua solução, a deflação de um problema por sua dissolução, a ponderação de problemas por sua generalidade ou a deflação de um problema por modificação do domínio. A avaliação da importância de um problema ou anomalia concreta requer também o conhecimento das diversas teorias do domínio e o conhecimento de se essas teorias tiveram ou não êxito ao propor soluções. Se um problema não resolvido por T1 é também não resolvido para todas as teorias do domínio, então, esse problema não pode pesar muito na avaliação de T1. Se, ao contrário, o problema constitui uma efetiva anomalia.

PROBLEMAS CONCEITUAIS

Laudan, se distanciando dos filósofos empiristas, propõe uma nova categoria de problemas, os chamados problemas conceituais (definidos como aqueles apresentados por uma teoria), argumentando que a capacidade de teorias rivais para a resolução de problemas empíricos pode ser praticamente equivalente (op.cit.p.80). Por exemplo, segundo o autor, a disputa entre atomistas e anti-atomistas (1815-1880) representam períodos de controvérsia científica nos quais o apoio empírico era essencialmente o mesmo. O início do desenvolvimento da FQ está relacionado, entre outras coisas, à “vitória” dos atomistas no final do século XIX.

Tipos de problemas conceituais

1) Problemas internos: quando uma teoria é logicamente inconsistente e, portanto, auto-contraditória; surgem de uma ambigüidade ou circularidade conceitual no âmbito da teoria. Por exemplo, seguindo a interpretação ortodoxa da FQ (Escola de Copenhagen), temos inconsistência na explicação da dualidade onda-partícula, pois um padrão de interferência na tela (fenômeno ondulatório) é incoerente com a detecção pontual que ocorre e que caracterizaria um fenômeno corpuscular (Pessoa Jr, 2003).

Nesse aspecto, a teoria quântica é bastante incompreensível. Há uma dificuldade interna para solucionar o problema da dualidade onda-partícula e o processo de medida com o decorrente colapso da função de onda. O conceito de partícula envolve um ente com posição e velocidades especificadas, enquanto que o conceito de onda, envolve entidades não-localizadas no espaço. Classicamente, um fenômeno pode ser ondulatório ou corpuscular, mas as duas características são antagônicas. Na FQ, embora o comportamento simultâneo de onda e partícula nunca fora detectado, precisamos de ambos os conceitos para descrever a dinâmica do mundo microscópico. Objetos quânticos ora se apresentam como onda, ora como partícula, mas a detecção é sempre corpuscular. A corrente ortodoxa da FQ é silenciosa em termos do que está acontecendo enquanto nenhuma medida é realizada .

2) Problemas externos: quando uma teoria é logicamente inconsistente com outra teoria aceita. Quanto às fontes de problemas conceituais externos, Laudan destaca (1986, p. 88) basicamente três tipos de dificuldades.

Dificuldades intra-científicas: quando teorias científicas de diferentes domínios estão em tensão. São conhecidas as incompatibilidades entre a FQ e a Relatividade Geral (RG). Em poucas palavras, a MQ opera no domínio das escalas microscópicas (átomos e partículas sub-atômicas), enquanto que a Relatividade opera na escala de massas planetárias, galácticas, etc. Um exemplo de problema é o buraco negro, um objeto extremamente massivo e relativamente pequeno, cuja descrição quântica não é coerente com a relativística. Uma outra dificuldade da unificação dessas teorias advém da maneira diferente como a massa é tratada em cada uma delas. Pela relação de Incerteza de Heisenberg, posição-momentum, uma partícula confinada em um espaço muito pequeno, poderá criar uma certa quantidade de energia muito grande . Em escalas de tempos relativamente muito curtos, a relação de incerteza de energia-tempo, permitiria a criação de partículas muito massivas, fato este nunca observado.

Dificuldades normativas: quando uma teoria científica está em conflito com teorias metodológicas da comunidade científica. Na FQ muitas disputas se centram sobre questões metodológicas. Basicamente, coexistem várias interpretações epistemológicas acerca de seus fundamentos (Pessoa Jr, 2003; Ostermann e Prado, 2005; Bunge, 2003). Entre as interpretações mais conhecidas estão a Escola de Copenhagen (dualista-positivista), as diferentes vertentes realistas (variáveis ocultas, ondulatória) e, mais, recentemente, a chamada “Muitos Mundos”. As várias interpretações da FQ não podem ser distinguidas através de experimentos. Se fosse possível, elas não seriam novas interpretações, mas sim novas teorias.

Dificuldades relativas à visão de mundo: uma teoria científica está em conflito com algum componente da visão de mundo dominante. Na maior parte dos casos, como resultado das tensões entre ciência, por um lado e a teologia, filosofia e sociologia, por outro. Ao final da década de 20, o surgimento da nova MQ encontrou pronta e rápida aceitação entre os muitos intelectuais que estavam convencidos de que já não se podia confiar nas rígidas categorias causais da ciência clássica. Por outro lado, há dissonâncias entre a MQ e nossas crenças filosóficas acerca da causalidade, mudança, substância e “realidade”.

Ao propor um modelo centrado na resolução de problemas, Laudan, em síntese, enfatiza que (op.cit.p.100) o problema – empírico ou conceitual – resolvido é a unidade básica de progresso científico. O objetivo da ciência é, portanto, ampliar ao máximo a esfera de problemas empíricos resolvidos, ao mesmo tempo, que reduzir ao mínimo o âmbito de problemas anômalos e conceituais.

Outro conceito importante em sua epistemologia é o de efetividade global de uma teoria na resolução de problemas. Esta se determina avaliando o número e a importância dos problemas empíricos que a teoria resolve, e “subtraindo” o número e a importância das anomalias e problemas conceituais que a teoria gera. Há progresso se, e somente se, a sucessão de teorias científicas em um domínio mostra um grau crescente de efetividade na resolução de problemas. Quando modificamos uma teoria ou a substituímos por outra, essa mudança é progressiva se, e somente se, a versão posterior resolve os problemas com mais eficácia que sua predecessora (op.cit.p.102). No caso da FQ, apesar das divergências epistemológicas e de seus problemas conceituais, sua evolução abriu novas áreas na Física (Nuclear, Partículas, Cromodinâmica Quântica, Estado Sólido) e suas rupturas com o mundo clássico (não causalidade, não localidade, etc) continuam gerando progresso científico e filosófico.

TRADIÇÃO DE PESQUISA

A unidade de análise adotada por Laudan (1986, p. 104) é a tradição de pesquisa (TP). Algumas características de uma TP são as seguintes:

1) As TP têm um certo número de teorias específicas que a exemplificam e a constituem parcialmente: algumas destas teorias serão contemporâneas, outras serão sucessoras temporais de teorias anteriores. No caso da FQ, sua constituição está baseada em postulados e em suas diferentes formulações (matricial, ondulatória, de Dirac).

2) Toda TP evidencia determinados compromissos metafísicos e metodológicos que, como conjunto, individualizam a TP e a distinguem de outras. Como compromissos metafísicos,

teríamos para a FQ como objeto de estudo o mundo microscópico, e seu formalismo com seus métodos matemáticos seriam parte de seus compromissos metodológicos.

3) Cada TP (diferentemente das teorias específicas) discorre através de um certo número de formulações diferentes, pormenorizadas e tem, geralmente, uma longa história, que se estende ao longo de um considerável período de tempo. (Ao contrário, as teorias têm, freqüentemente, uma vida curta.) Se considerarmos a TP Quântica englobando tanto a velha como a nova MQ, claramente, verificaríamos uma evolução desde modelos presos à Física Clássica até os que representam uma verdadeira ruptura com o mundo macroscópico.

Uma TP é, portanto, um conjunto de “sins” e “nãos” ontológicos (objetos de indagação) e metodológicos (métodos de indagação), constituindo-se em um conjunto de pressupostos gerais acerca das entidades e dos processos de um âmbito de estudo e acerca dos métodos apropriados que devem ser utilizados para investigar os problemas e construir as teorias deste domínio. A TP Quântica tem êxito quando, por intermédio de suas teorias componentes, conduz à solução adequada de um âmbito crescente de problemas empíricos e conceituais.

A evolução das TP's ocorre para Laudan quando há modificação em alguma de suas teorias específicas subordinadas ou quando há uma mudança em alguns de seus elementos nucleares mais básicos². Laudan vê uma integração das TP's (e não um monismo teórico como propôs Kuhn), ao defender que um cientista pode trabalhar com coerência em mais de uma TP (op.cit.p.141). A co-existência de TP rivais é a regra e não a exceção. Um período histórico que ilustra pluralismo teórico seria na gênese da FQ, quando, apesar das inconsistências, os cientistas trabalhavam em mais de uma TP (por exemplo, eletromagnetismo e mecânica newtoniana).

Laudan pode ser considerado o último racionalista do século XX ao argumentar em favor da existência de critérios racionais para a escolha de TP's (racionalismo epistemológico). Na avaliação das TP's, sua progressividade envolveria um aspecto retrospectivo de avaliação – o progresso geral (determinado pela comparação de sua efetividade na resolução de problemas dos conjuntos de teorias que constituem sua versão mais antiga com a dos que constituem sua versão mais recente) - e um aspecto prospectivo de avaliação que seria uma taxa de progresso, identificada por suas mudanças na adequação momentânea durante um período de tempo específico³. Em relação aos contextos nos quais são avaliadas as TP's, Laudan destaca o contexto da aceitação no qual os cientistas decidem aceitar uma TP entre um grupo de TP's rivais, isto é, decidem aceitá-la como se fosse verdadeira. Como fazem essa escolha? Segundo o autor, trata-se de uma escolha racional: escolhem a TP mais adequada para resolver problemas. A escolha de uma TP entre suas rivais é uma escolha progressiva (e, portanto, racional) na medida em que a TP escolhida resolve problemas melhor que suas rivais (Laudan, 1986, p. 148). Quanto ao contexto da utilização, Laudan argumenta que os cientistas podem ter boas razões⁴ para trabalhar em uma TP que não aceitam. (Em geral, é o que ocorre com TP's novas). É sempre racional seguir qualquer TP que tenha uma taxa de progresso mais elevada que a de suas rivais (mesmo que seu progresso geral seja menor). No caso da FQ, a célebre frase “Feche os olhos e

² Neste ponto ele assume novamente uma posição contrária a de Lakatos que considerou o núcleo firme de um programa pesquisa como irrefutável por decisão provisória. Para Laudan, o conjunto de elementos irrefutáveis de uma TP varia com o tempo.

³ Esse conceito da epistemologia de Laudan busca resolver o problema de como avaliar teorias novas. A taxa de progresso, então, é a medida da rapidez com que uma TP faz um progresso qualquer.

⁴ São muitos os motivos específicos para seguir uma TP e estão ligados ao que na comunidade científica se chama de “promessa” ou “fecundidade” (op.cit.p.151).

calcule”, representa que o triunfo da teoria na solução de problemas pode ser considerado mais importante do que sua veracidade.

Laudan faz a seguinte caracterização geral das mudanças científicas(Laudan, 1986, p. 160):

1) A adequação ou eficácia das teorias individuais depende da quantidade de problemas empíricos importantes que resolvem e da quantidade de problemas conceituais e anomalias graves que geram. A aceitação dessas teorias está em conexão tanto com sua eficácia como com a aceitação de sua TP associada.

2) A aceitação de uma TP está determinada pela eficácia de suas teorias para resolver problemas.

3) A promessa, ou possibilidade de utilização racional de uma TP está determinada pelo progresso geral ou pela taxa de progresso exibida por ela.

4) A aceitação, o rechaço, a utilização e a não utilização constituem as grandes atitudes cognitivas que os cientistas podem adotar legitimamente com respeito às TP's (e suas teorias constitutivas). A determinação da verdade ou da falsidade é irrelevante para a aceitação ou viabilidade das teorias e das TP's.

5) Todas as avaliações das teorias e das TP's têm que ser realizadas em um contexto comparativo. O que importa não é, em sentido absoluto, quão efetiva ou progressiva seja uma TP, mas como resulta a sua eficácia ou caráter progressivo na comparação com suas rivais.

Na epistemologia de Laudan, o objetivo cognitivo concreto mais geral da ciência é resolver problemas e o modo principal de ser cientificamente racional é fazer tudo que podemos para aumentar ao máximo o progresso das TP's (op.cit.p.164). Fazer seleções racionais é, segundo este ponto de vista, efetuar escolhas que sejam progressivas. Relacionando a racionalidade com o caráter progressivo, Laudan sustenta que podemos dispor de uma teoria da racionalidade sem pressupor nada acerca da verdade das TP's.

Para Laudan, a revolução científica **não** é a categoria básica para o tratamento da evolução da ciência. O debate sobre os fundamentos conceituais de qualquer TP é um processo historicamente contínuo. Esse ponto é também bastante evidente na FQ, uma vez que atualmente cresce o número de cientistas que se debruçam sobre problemas de seus fundamentos (Bjork et al, 2004).

Revoluções científicas são produzidas quando uma TP, até então desconhecida ou ignorada pelos cientistas de uma dada área, alcança um grau de desenvolvimento tal que os cientistas se sentem obrigados a considerá-la seriamente como aspirante à sua lealdade ou à de seus colegas. Em uma dada revolução, é possível comparar objetiva e racionalmente as TP's rivais (a incomensurabilidade não leva à irracionalidade⁵), a partir de dois argumentos: do ponto de vista da resolução de problemas e do progresso. Do ponto de vista da resolução de problemas

⁵ Ao contrário da epistemologia kuhniana, Laudan defende que a possível incomensurabilidade das TP's não exclui a existência de avaliações comparativas de sua aceitabilidade.

é possível mostrar que teorias explicativas rivais podem se dirigir a um mesmo problema. Por exemplo, no início do século XX, teorias semi-clássicas ligadas à velha FQ davam conta, até certo ponto, de problemas na escala atômica. Do ponto de vista do progresso (caso em que não se poderia decidir se as teorias rivais tratam do mesmo problema), por outro lado, a partir da determinação da efetividade das TP's, poderíamos construir algo como uma graduação progressiva de todas as TP's em um dado momento. Seria, então, possível comparar a progressividade de TP's diferentes, inclusive se fossem totalmente incomensuráveis. A possível incomensurabilidade das TP's não exclui a existência de critérios racionais para escolha entre elas, de acordo com Laudan. Em defesa da “ciência não madura”⁶, Laudan argumenta contra a existência de uma “ciência madura” como a concebem Lakatos e Kuhn. Para ele, é difícil sustentar a idéia de que a noção de “ciência madura” encontra exemplificação na história da ciência.

Em síntese, a epistemologia de Laudan é uma das últimas leituras racionalistas do desenvolvimento científico do século XX, que contestando a visão cientificista, representa uma contribuição significativa para a filosofia da ciência e para o ensino de Física neste início de milênio. Uma leitura da FQ à luz de sua epistemologia permite perceber que, apesar das divergências epistemológicas e de seus problemas conceituais, sua evolução abriu novas áreas na Física (Nuclear, Partículas, Cromodinâmica Quântica, Estado Sólido) e suas rupturas com o mundo clássico (não causalidade, não localidade, etc) continuam gerando progresso científico e filosófico.

REFERÊNCIAS

BJORK, G. et al. A size criterion for macroscopic superposition states. *Journal of Optical B*, 6: 429-436, 2004.

BUNGE, M. Twenty-five years of Quantum Physics: from Pythagoras to us, and from subjectivism to realism. *Science & Education*, 12: 445-466, 2003.

CUPANI, A. A filosofia da ciência de Larry Laudan e a crítica do “positivismo”. *Manuscrito*, XVII (1): 91-143, 1994.

GURIDI, V.; SALINAS, J.; VILLANI, A. *Contribuições da epistemologia de Laudan para a compreensão das concepções epistemológicas de estudantes secundários de Física*. In: Atas do IV Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física. Bauru, outubro de 2003.

KUHN, T. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva, 1978.

LAKATOS, I. *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza, 1989.

LAUDAN, L. *El progreso y sus problemas*. Madrid: Encuentro, 1986.

⁶ Uma noção ligada à idéia de progresso não cumulativo, no sentido de que reduções do domínio de problemas podem ser progressivas sob certas circunstâncias.

LAUDAN, L. *Sciences and Values*, Berkeley: Univ. Of California Press, USA, 1984..

LAUDAN, L. *La ciencia y el relativismo*. Madrid: Ed. Alianza, 1990.

OSTERMANN, F.; PRADO, S.D. Interpretações da mecânica quântica em um interferômetro virtual de Mach-Zehnder. Artigo aceito para publicação na Revista Brasileira de Ensino de Física em março de 2005.

PESA, M.; OSTERMANN, F. La ciencia como actividad de resolución de problemas: la epistemologia de larry laudan y algunos aportes para las investigaciones educativas en ciencias. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. v.19, n.especial. p.84-99, 2002.

PESSOA Jr., O. *Conceitos de Física Quântica*. S.P: Livraria da Física, 2003.