PODE O AMBIENTE CULTURAL E SOCIAL DEFINIR O CONTEÚDO ESCOLAR DE FÍSICA : O CASO DA MECÂNICA QUÂNTICA

(CAN THE CULTURAL AND SOCIAL ENVIRONMENT DEFINE THE PHYSICS SCHOOL CONTENT: THE CASE OF QUANTUM MECHANICS)

Frederico Firmo de Souza Cruz 1
Sônia Maria S. C. de Souza Cruz 2

1 Universidade Federal de Santa Catarina/ Departamento de Física/fred@fsc.ufsc.br
2Universidade Federal de Santa Catarina/ Departamento de Física/sonia@fsc.ufsc.br

Resumo

A inserção da Física Moderna no ensino médio, tem entre outros argumentos a necessidade de instrumentalizar os cidadãos para que possam atuar criticamente dentro da sociedade. A escolha de conteúdos e conceitos científicos a serem ensinados, é usualmente feita a partir de proposições de professores, pesquisadores e cientistas. Neste trabalho, a partir de uma análise de um fenômeno sócio- cultural amplamente difundido, o misticismo quântico, vamos mostrar que conceitos fundamentais da Mecânica Quântica, que não são usualmente tratados nos cursos podem ser importantes para possibilitar o cumprimento do ideal da alfabetização científica, dando aos cidadãos meios para discutir criticamente o misticismo e suas consequências, assim como para formar professores e pesquisadores. O trabalho nos leva a concluir que a consulta aos pares pode ser insuficiente deixando de fora aspectos importantes e que a análise sócio-cultural pode desempenhar um papel importante na definição de conteúdos específicos e saberes a serem ensinados.

Palavras-chave: Física Moderna, alfabetização cientifica, aspectos sócio-culturais, Mecânica Quântica

Abstract

Among other aims, the insertion of Modern Physics in the high school curricula means to give the citizen, conceptual instruments to act critically in society. Usually the contents an concepts chosed to compose the programs are indicated by high school and university science teachers and scientists. In this work , through the analysis of the quantum mysticism, we are going to show that some fundamental quantum concepts that are absent in the most usual programs, can be quite important to give the citizens means to critically debate the consequences of quantum mysticism. This absence can be an obstacle to achieve the ideals of scientific literacy and also to the formation of science teachers and researchers. We conclude that the consult only to the scientific community is necessary but not sufficient and that the socio-cultural analysis can have an important role in the definition of the contents of curricular programs.

Keywords: Modern physics, scientific literacy, social and cultural aspects quantum mechanics

Introdução

O objetivo deste artigo é demonstrar como a análise de fenômenos culturais, podem servir de base na definição de programas e contéudos escolares da física. Dentro da comunidade de ensino de ciências várias correntes tem se debruçado sobre a questão da alfabetização científica , a importância das relações de ciência tecnologia e sociedade e as ligações entre ciência e cultura. Estudos e análises nesta direção também estão ligadas a propostas curriculares mais abrangentes, como as presentes nos PCNs, ampliando em muito o escopo da educação em ciências incluindo-se nisto a definição de novas competências e habilidades e conteúdos escolares.

A Alfabetização Científica começa ganhar destaque na década de 70, inicialmente reconhecida por expressões como "Popularização da Ciência, Entendimento Público da Ciência e Democratização da Ciência. Por outro lado, o desenvolvimento científico e tecnológico faz com que a partir da década 80 ela passe a ter dimensão de " política para a Educação" em diferentes países. Ter uma população que possa tratar com responsabilidade assuntos científicos no contexto social passou ser meta política de estado em diferentes países . Diferentes formas foram desenvolvidas para atingir esta meta dentre elas ganhou destaque o Enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS). De maneira geral a idéia subjacente a alfabetização científica é que a população tenha domínio sobre um conhecimento científico mínimo que a instrumentalize a participar de forma consciente de debates e desafios que envolvem a inserção da ciência e tecnologia na realidade social. Entre outras coisas é importante que os cidadãos saibam se defender do uso inadequado desse conhecimento pelos charlatões. Um dos aspectos que merece destaque é a introdução de conceitos da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio devido a sua presença importante na tecnologia e na sociedade e na cultura. Esta inserção de conteúdos é um problema antigo dentro da comunidade de ensino de ciências e que ainda parece não ter tido uma solução adequada

A inserção de conteúdos de física moderna, gerou inúmeros trabalhos que tentaram delinear as necessidades educacionais, e propor a incorporação de temáticas envolvendo conhecimentos de uma física moderna, já centenária. Exemplos de trabalhos analisando a importância e a necessidade destes conteúdos são (GRECA, 2000; OSTERMANN e RICCI, 2005, LOBATO e GRECA, 2005; trabalhos buscando pensar e propor metodologias adequadas para a FMC são (ARONS, 1990; FISCHLER e LICHTFELDT, 1992; GIL e SOLBES, 1993; TERRAZZAN, 1994; OSTERMANN e RICCI, 2004); trabalhos envolvendo aplicações temáticas e ou intervenções pontuais com análise das dificuldades encontradas nesses processos são (OSTERMANN, 1999; MOTA, 2000, REZENDE JR, 2006; MACHADO e NARDI, 2007) e em trabalho recente (REZENDE JR. E DE SOUZA CRUZ 2009) analisaram a percepção e as dificuldades dos professores do ensino médio no que se refere aos conteúdos de física moderna. Neste trabalho também foi analisada a proposta de temas e conteúdos feitos por professores em exercícios em dois estados do país. Estes temas não diferem de forma substantiva dos levantamentos feitos através de um estudo Delphi, no trabalho de (OSTERMANN e MOREIRA, 2000 e 1998). Neste trabalho extremamente citado os autores obtiveram uma lista de tópicos de Física Contemporânea para o Ensino Médio, proposta por físicos, pesquisadores em ensino de Física e professores de Física do Ensino Médio. Nesta lista constam os temas: efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, leis de conservação, radioatividade, forças fundamentais, dualidade onda-partícula, fissão e fusão nuclear, origem do universo, raios X, metais e isolantes, semicondutores, laser,

supercondutores, partículas elementares, relatividade restrita, Big Bang, estrutura molecular, fibras ópticas.

A lista de temas sugeridos e os dez anos entre um trabalho e outro demonstram que os cursos de Fisica Moderna e Mecânica Quântica nas Universidades não mudaram de forma significativa. Os temas tocados podem facilmente ser encontrados em todos os compêndios usualmente utilizados na formação de pesquisadores e professores de física. Neste trabalho arguimos que apenas uma pesquisa no interior da comunidade tanto de pesquisadores como de professores pode ser necessária mas não é suficiente para o estabelecimento dos conteúdos conceituais de temas e programas. O levantamento no interior da comunidade é sem dúvida necessário, pois não podemos deixar de perguntar aos prováveis atores da disseminação escolar, o que gostariam de ministrar. Por outro lado, não é suficiente, pois o "habitus" de uma comunidade tem um papel importante nas suas escolhas e propostas. Dos trabalhos acima podemos notar que os temas refletem a formação e a tradição presente em quase todos os cursos de graduação. Porém arguimos a insuficiência desta consulta, e estamos defendendo a idéia de que é necessário se ir para além dos muros da academia e das escolas para se definir por exemplo o conteúdo conceitual da física a ser ministrado. Neste trabalho pretendemos demonstrar que uma análise de fatores sociais e culturais externa a comunidade científica pode jogar uma luz sobre a escolha das temáticas e dos conteúdos conceituais programáticos. Para tanto vamos utilizar como estudo de caso a Física Moderna e em particular a Mecânica Quântica.

O reencantamento do mundo e a Mecânica Quântica.

A Mecânica Quântica extrapolou em muito os muros da academia e os bancos escolares das universidades. Uma simples busca no google pode mostrar que existem cerca de 9 070 000 entradas para medicina quântica, 3 380 000 para terapia ou cura quântica, 6 090 000 para psicologia quântica, 2 910 000 para mente quântica, e aproximadamente 2 000 0000 para tantra quântico. Nas palavras de Richard Dawkins:

"Você pode comprar quantos livros de cura quântica desejar, sem mencionar a psicologia quântica, responsabilidade quântica, moralidade quântica, imortalidade quântica e teologia quântica. Eu ainda não encontrei um livro sobre feminismo quântico, administração financeira quântica, ou teoria afro quântica, mas dê um tempo para isto."

Grande parte dos conteúdos presentes nestes sites pode ser colocado sob o guarda chuva do misticismo quântico. O que, em outras épocas, seria considerado uma contradição em termos, parece ser aceito por uma parcela grande de pessoas e de linhas relativistas que equiparam os saberes místicos e os científicos colocando-os dentro de um mesmo patamar de valoração.

O misticismo quântico é sem dúvida um fenômeno social que merece ser analisado pela sua penetração social e pelas suas consequências. Embora na sua atual dimensão seja um fenômeno recente, com raízes no orientalismo dos anos 60 e 70, não se pode dizer que nas origens da Mecânica Quântica não se tenha tido uma aproximação com pensamentos orientais. Para muitos a origem do misticismo atual tem origem no livro Tao da Física de F. Capra, mas também é notório que o misticismo atual utiliza frases de Bohr, Schroedinger, Pauli, Heisemberg e Wigner que são repetidas como um mantra. A relação destes fundadores com idéias místicas e orientais unidas às idéias revolucionárias da Mecânica Quântica quebrando paradigmas como o determinismo, geram de há muito interpretações de todas as matizes. Entretanto a Mecânica Quântica, que veio questionar sem dúvida alguns dos paradigmas da modernidade, esteve sempre ligada à racionalidade.

Em algum momento do século vinte a relação entre a racionalidade, associada à ciência e técnica, e a sociedade foi se transformando de um amor quase incondicional, e de uma crença quase cega nas infinitas possibilidades da razão, numa relação de amor e ódio.

Apesar das rupturas presentes na Mecânica Quântica, devido ao seu compromisso com a racionalidade, ela continuou sendo associada à bandeira da modernidade. Isto é, ela continuou associada ao ideal da modernidade que prometia através da racionalidade, levar à emancipação do homem findando com todos os abusos, com a criação de uma nova sociedade organizada, estável, democrática, igualitária ,livre da teocracia, dos abusos do poder, das superstições, dos poderes mágicos e divinos herdados por direito de sangue e capaz de domar a natureza, tornando-a submissa através de uma ciência objetiva cujas leis universais estariam intrinsecamente ligadas à moralidade . Este mundo da razão, nas palavras de Weber, estaria associado ao desencantamento. Isto é o desencantamento, entendido como uma libertação da superstição e da magia.

Porém , Awschwitz, Hiroshima, Nagazaki e o totalitarismo, abalaram profundamente a crença social na razão e o desencantamento Weberiano adquiriu outros significados se associando à morte da emoção, da poesia, do livre pensar, da criatividade enfim do sujeito . Desencantado com a ciência e com a razão, a pós-modernidade vai propor sua crítica e também vai propor o reencantamento do mundo retirando a razão de seu lugar privilegiado . Este reencantamento do mundo também trouxe de volta o misticismo moderno (talvez devêssemos dizer pós moderno) que em seu novo status adota adjetivos científicos em busca de legitimação e seduz corações e mentes .

A apropriação, interpretação e utilização da quântica por grupos sociais não pode ser controlada, e numa sociedade livre não pode ser vetada, porém é necessário se ter uma crítica e um olhar especial sobre isto. Existem apropriações ingênuas e bem intencionadas, existem apropriações que são frutíferas e geram idéias e instrumentos . Mas existem também as apropriações indevidas, que podem colocar em risco a saúde física e mental de pessoas assim como as indébitas que estão claramente ligadas ao charlatanismo.

Neste ponto, estas apropriações se colocam como objeto do ensino de ciências. Devemos perguntar se o cidadão esta minimamente preparado para reconhecer no meio de tudo isso, o que é perigoso o que é charlatanismo ou o que é simplesmente inócuo. Embora não tenhamos uma pesquisa de campo, podemos a priori dizer que a resposta é negativa, visto que como mostraremos abaixo , o misticismo quântico trabalha com conceitos que não são usualmente tratados nos cursos de física moderna ou de Mecânica Quântica.

Uma das frases mais utilizadas pelos místicos é a de R. Feynman:

"Houve um tempo quando os jornais diziam que apenas 12 homens entendiam a teoria da Relatividade. Eu não acredito que jamais houve este tempo. Deve ter havido um tempo onde apenas um homem entendeu, isto porque ele a captou, antes de escrever o artigo. Mas depois que as pessoas leram o artigo, muitos compreenderam a teoria da relatividade de uma forma ou de outra, certamente mais do que 12 (formas). Por outro lado, eu penso que posso seguramente dizer que ninguém compreendeu a Mecânica Quântica."

Esta frase dita por um dos grandes nomes da física quântica, parece criar um obstáculo quase intransponível para a compreensão dos conceitos quânticos, o que no entanto, não parece intimidar os místicos de plantão. Por exemplo, no site -http://hitxp.wordpress.com/2007/09/06/vedic-quantum-

mechanics/ , esta frase é citada e seguida por , "*Mas eu (Maharishi Mahesh Yogi- Guru Dev) irei ensiná-los,"* e continua

"Deixe-me dar-lhes um exemplo. Seja uma partícula quântica, por exemplo, um elétron. Quase oposta a sua natureza de partícula, foi provado que o elétron se move através de duas fendas ao mesmo tempo. É como se você se movesse através de duas portas adjacentes,(separadas por uma parede fina cuja espessura é quase a mesma que o seu corpo) ao mesmo tempo. Isto foi provado em vários experimentos "(grifo do Guru)

"Tome uma partícula quântica e conduza um experimento sobre ela sem olhá-la, você obterá um resultado. Agora tome a mesma partícula e realize o mesmo experimento, mas desta vez a observando, você obterá um outro resultado. Em outras palavras a partícula sabe se você a está observando ou não. Isto foi provado em vários experimentos "(grifo do Guru)

Para maior destaque vamos a seguir, em nossa análise, frisar os conceitos envolvidos no discurso místico.

Para tanto vamos seguir Amit Goswani , físico de formação e místico de profissão, que atua de forma bem mais sofisticada do que o Guru, com suas frases soltas, do site acima. No capítulo 2 de seu livro, A Fisica da Alma, (Goswami, 2008) ele descreve o experimento da fenda dupla falando de ondas de *possibilidade* (mudando espertamente o termo **onda de probabilidade**) e vai didaticamente falar sobre **interferência e superposição** . Na secção seguinte fala de **medições quânticas** e da natureza da consciência se referindo ao **problema da medida e o papel do observador** e a seguir vai tratar a **não-localidade quântica.** Discutindo as experiências de Aspect, Dalibard e Roger conclui que *"os fótons do experimento estão conectados por meio de um domínio não local da consciência que transcende o espaço e tempo"* e que isto é uma prova da telepatia.

Dando continuidade ao seu discurso pseudo-científico, Amit passa a discutir o experimento da escolha retardada de Wheeler. Aventando a relação deste experimento com o conceito de sincronicidade de Jung e Pauli, afirma que esta é uma das primeiras tentativas de compreender a reencarnação por meio do conceito de *não localidade quântica no tempo*. A secção termina com a frase--" *o experimento da escolha retardada foi comprovado experimentalmente na década de 1980"*

Na secção seguinte o titulo é *"As ondas de possibilidade não entram em colapso quando não as observamos".* Nesta mistura de discurso místico experimental, fala de um parapsicólogo que mostrou experimentalmente que *"consegue influenciar a desintegração radioativa, embora de forma modesta, mas estatísticamente significativa, demonstrando a eficiência da psicocinese"*

Amit ainda vai afirmar que *[..]fenômenos físicos, tais como a clarividência e as experiências fora do corpo, são exemplos da operação não localizada da consciência...e que a Mecânica Quântica dá sustentáculo a tal teoria fornecendo um apoio crucial para o caso da não-localidade da consciência.*

Numa linha distinta da de Amit, podemos mencionar algumas especulações científicas , que também tem sido apropriada por místicos, como verdades. A mente e a consciência, tem sido objeto de muitas especulações, científicas ou não. Um exemplo de especulação científica é a proposta de que a consciência pode nascer de processos quânticos subatômicos que ocorrem nas estruturas proteicas dos microtúbulos, no cérebro. Apresentada pelo neurofisiologista Hameroff (1993) e pelo físico matemático

Penrose, esta proposta pode ser considerada uma especulação científica pois tem base científica e informação suficiente para ser refutada. De fato , ela foi contestada por Tegmark (2000) que a partir de cálculos baseados no modelo de Hameroff-Penrose, mostrou que as condições no cérebro causariam a decoerência, eliminando os efeitos quânticos. A questão ainda é alvo de debate pois, outros modelos de microtúbulos foram propostos e questionaram os resultados de Tegmark.
Apesar da controvérsia, o modelo de Hameroff -Penrose tem sido citado por místicos, como prova científica da mente quântica. Existem outras concepções e proposições sobre o papel da Mecânica Quântica na mente, porém não as iremos tratar aqui.

Devemos enfatizar que trabalhos como o de Amit Goswami, se utilizam efetivamente de conceitos da Mecânica Quântica, e os seus relatos sobre os experimentos são extremamente convincentes para um público leigo e visam convencer o leitor de que existe uma explicação já comprovada científicamente para reencarnação, imortalidade, etc... Este talvez seja o fato mais distintivo do novo misticismo, ele nasce como crítica da ciência e da razão, mas busca a todo momento uma legitimação científica.

De forma sintética podemos listar os conteúdos e conceitos científicos relevantes nesta salada mística : a dualidade, a interpretação probabilística, a teoria da medida, o colapso da função de onda papel do observador, a não-localidade , o emaranhamento, a decoerência e a discussão sobre experimentos na Mecânica Quântica. Dada a dimensão que o misticismo quantico tomou, a difusão destes conceitos e as possíveis implicações de seu uso passam a ter uma relevância social importante. Somado a estes conceitos, a questão epistemológica se torna relevante, pois o exemplo acima mostra que o critério de demarcação entre o que é científico e não científico pode ser importante no julgamento sobre a validade de uma explicação. Nos parece que dentro do espírito de alfabetização científica estes conceitos físicos e a discussão epistemológica são relevantes para um cidadão comum e devem estar presentes nas proposições de inserção da Física Moderna. Isto demonstra o que inicialmente foi colocado, sobre o papel da análise social e cultural na definição de conteúdos e conceitos científicos relevantes para a escola.

No caso do misticismo quântico, a análise se torna ainda mais importante quando vemos que boa parte dos conceitos sugeridos não esta presente nos temas e tópicos sugeridos através de levantamentos feitos juntos à comunidade científica e à comunidade de educadores. Como pontuamos anteriormente, as propostas presentes nos levantamentos refletem a formação dos professores e pesquisadores, o que indica a necessidade de analisar a ausência de tais conceitos nos programas dos cursos de formação de professores e bacharéis.

Os programas tradicionais e a formação.

Os conteúdos trazidos a baila na secção anterior, estão usualmente ligados ao que se chama Fundamentos da Mecânica Quântica. Durante décadas, os Fundamentos de Mecânica Quântica foram considerados assuntos de interêsse mais filosófico do que científico, o que implicou no estabelecimento de uma certa tradição didática, onde estes conteúdos eram ignorados. Dentro desta tradição didática os cursos de Mecânica Quântica, em geral, seguem uma tendência que pode ser sintetizada pela frase, na seção *O espirito geral da obra* - no livro de Claude Cohen-Tannoudji, Mécanique Quantique: *Nos parece que a melhor maneira de se familiarizar com a Mecânica Quântica é de se servir dela para a resolução de problemas concretos. Devido a isto, nos esforçamos para introduzir tão rapidamente quanto possível os postulados da Mecânica Quântica a fim de poder aplicá-los em seguida no resto da obra.(* COHEN-TANNOUDJI, 1997,p. 4*)*

Este espírito fica explícito no índice do livro : 1- Ondas e Partículas- Introdução as idéias

fundamentais da Mecânica Quântica, 2- Instrumentos matemáticos da Mecânica Quântica, 3- Os postulados da Mecânica Quântica, 4- Aplicação dos postulados no caso simples: spin ½, 5- Oscilador Harmônico, 6-Propriedade Gerais do Momento Angular. e 7- Partícula em um potencial central e Átomo de Hidrogênio.

Esta estrutura do livro de Cohen -Tannoudji se repete, com pequenas mudanças, mas mesmo espírito na grande maioria dos livros, por exemplo: Introduction to Quantum Mechanics de D. J. Griffith (1995), Principles of Quantum Mechanics- R. Shankar (1994) Modern Quantum Mechanics- J.J. Sakurai (1994) E mesmo quando há um enfoque um pouco distinto como o de Gordon Baym (1974) no seu livro Lecture Notes on Quantum Mechanics, ou Mecânica Quântica, de A. F. R. de Toledo Piza (2003), não se tem uma mudança fundamental no espírito e não se encontra nestes livros uma discussão mais detida seja sobre as interpretações seja sobre conceitos como não localidade, decoerência , emaranhamento, teoria da medida etc... Isto é, estes conceitos estão implícitos mas não são trabalhados. Obviamente existem livros que tratam explicitamenteestes assuntos, como o Quantum theory, concepts and methods de Asher Peres (2002), o Quantum mechanics – A modern development de L. Ballentine (1998) ou ainda o Consistent Quantum Theory de Robert Griffith, (2002). Entretanto nenhum destes é utilizado normalmente nos cursos de formação.

Para os cursos introdutórios, o programa para Estrutura da Matéria dos Cursos de Licenciatura e Bacharelado costuma seguir o espírito do livro Física Quântica, Átomos, Moléculas, de Robert Eisberg e Robert Resnick : 1- Radiação Térmica e Postulado de Planck, 2- Fótons, 3- Postulados de De Broglie, 4- Átomo de Bohr, 5- Teoria de Schroedinger, 6- Solução da Equação Independente do Tempo de Schroendiger, 7- Átomo de Hidrogênio, 8- Spin, 9- Átomos Multieletrônicos .(EISBERG, 1998) Mais uma vez os conceitos já mencionados não são tratados.

Devido ao grande desenvolvimento experimental ocorrido nas últimas décadas as questões outrora tratadas como filosóficas entraram dentro do main stream, e é possível que isto tenha implicações nos livros didáticos futuros.

Curiosamente existe uma difusão maior destas questões através de livros de divulgação científica ou mesmo em sites educativos ou não . Esta presença maior da divulgação reflete provavelmente a penetração maior destes temas em ambientes não acadêmicos. Surgiram ainda vários livros , que não podem ser considerados propriamente dirigidos aos leigos, porém alcançam misteriosamente uma grande divulgação. Eles se caracterizam por um grande esforço de transposição para o tratamento destes temas. Alguns outros, visam estudantes de graduação em física. Por exemplo os livros Quantum challenge de G, Greenstein e A. G. Zajonc (1997) e o More than one mystery- de Mark Silverman. (1994). Porém, mais uma vez, estes livros não são usualmente indicados nos bancos escolares.

Em resumo, se nos restringirmos aos movimentos internos da comunidade de professores do ensino médio ao ensino superior , não se pode esperar que os licenciandos ou bacharéis tenham instrumentos suficientes para entrar no espinhoso debate do misticismo quântico, o que obviamente traz como reflexo a ausência destes temas nas propostas curriculares para o ensino médio. Por outro lado é sensível que conceitos quânticos extrapolaram os muros acadêmicos e que neste movimento se transformaram numa questão que deve ser enfrentada pelo ensino de ciências.

CONCLUSÃO

Uma análise qualitativa da difusão e divulgação e da apropriação de conceitos da Mecânica Quântica, pelos mais variados estratos da sociedade, nos mostra a importância de instrumentalizar o cidadão para

que o mesmo possa analisar e agir mais criticamente frente ao uso e abuso deste conhecimento. Por outro lado esta mesma análise nos indicou lacunas importantes na formação de licenciados e bacharéis. A ausência destes conteúdos importantes, além de afetar a formação mais específica, pode ainda ter consequências na inserção de temas de Física Moderna no Ensino Médio e dificultar o cumprimento do ideal da alfabetização científica.

A guisa de conclusão, é interessante observar que o caso da Mecânica Quântica aqui tratado, não deve ser considerado como único. Independente da educação escolar, sempre existe a difusão de conhecimentos científicos que são apropriados e resignificados por grupos sociais e muitas vêzes podem ter uma forte presença na cultura e na vida social. A resignificação dos conceitos científicos é um processo que não pode e nem deve ser controlado, mas que também pode ter implicações danosas. A difusão destes conhecimentos se dá, sobretudo, através dos meios de divulgação científica, que pela sua natureza são atrativos, tratam de temas muitas vezes de ponta, o que os torna mais ágeis do que os livros textos e a educação formal. Quando adquirem uma dimensão social tão grande, como no exemplo do misticismo quântico, se tornam também importantes como objetos para um ensino que pretende instrumentalizar os cidadãos. Neste sentido, a análise destes fenômenos sócio culturais é de grande valia para a escolha de conceitos científicos que devem compor programas curriculares.

REFERÊNCIAS

ARONS, A. B. **A guide to introductory physics teaching**. New York: John Wiley,1990.

BALLENTINE, L . **Quantum mechanics - A Modern development** . Singapore:World Scientific Pub. Co. Pte. Ltd. , 1998.

BAYM, G. **Lectures on Quantum mechanics**. Boulder,Co: Westview Press,1974 .

BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília: Ministério da Educação, 1999, 360p.

CAPRA, F. **Tao da Física.** São Paulo:Pensamento-Cultrix, 2000.

COHEN-TANNOUDJI C. et al. **Mécanique Quantique** . Paris: Herman , 1997.

EISBERG, R. e RESNICK, R. **Física Quântica.** São Paulo:Editora Campus, 1998.

FISCHLER, H. e LICHTFELDT, M. Modern physics and student's conception. **International Journal of Science Education,** v. 14, n. 2, 1992.

GIL, D. and SOLBES, J. The introduction of modern physics overcoming a deformed vision of science. **International Journal of Science Education**, v. 15, n. 3, p. 255-260, 1993.

GOSWAMI, A . **A Física da Alma.** São Paulo: Aleph, 2008

GRECA, I. M. **Construindo significados em Mecânica Quântica:** resultados de uma proposta didática aplicada a estudantes de Física Geral. 2000. 284f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

GREENSTEIN, G. and ZAJONC, A. G.: **The Quantum challenge.** Sudbury: Jones an Bartlett

Publishers , 1997.

GRIFFITHS, D. **Introduction to quantum mechanics.** New York: Prentice Hall, 1995

GRIFFITHS R. B. **Consistent Quantum Theory.** Australia:Cambridge University Press , 2002

HAMEROFF, S. et al. Nanoneurology and the Cytoskeleton: Quantum Signaling and Protein Conformational Dynamics as Cognitive Substructure. In:PRIBRAM, K.H. (org.), **Rethinking Neural Networks: Quantum Fields and Biological Data,** Proceedings of Appalachian Conference on Behavioral Neurodynamics, N.J.,EUA, Hillsdale :1993, pp. 317-376.

LOBATO, T. e GRECA, I. M. Análise da inserção de conteúdos de Teoria Quântica nos currículos de Física do ensino médio. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 11, n.1, p. 119-132, 2005.

MACHADO, D. I. e NARDI, R. Construção e validação de um sistema hipermídia para o ensino de Física Moderna. REEC. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 6, p. 90-116, 2007.

MOTA, L. M. **As Controvérsias sobre a interpretação da Mecânica Quântica e a formação dos licenciados em Física:**um estudo em duas instituições: UFBA e UFSC. 2000. 176f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Centro de Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

OSTERMANN, F. **Tópicos de Física Contemporânea em escolas de nível médio e na formação de professores de Física.** 1999. 433f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

_____ Construindo uma unidade didática conceitual sobre Mecânica Quântica: Um estudo na formação de professores de Física. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 10, n. 2, p. 235-257, 2004.

_____; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.5, n.1, 2000. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino>.

_____; RICCI, T. F. Construindo uma unidade didática conceitual sobre Mecânica Quântica: um estudo na formação de professores de Física. **Ciência & Educação,** Bauru, v. 10, n. 2, p. 235-257, 2004.

_____; _____. Conceitos de física quântica na formação de professores: relato de uma experiência didática centrada no uso de experimentos virtuais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física,** Florianópolis, v. 22, n. 1, p. 9-35, 2005.

PIZA, A. F. R. de Toledo, **Mecânica Quântica**, São Paulo:Ed. da USP, 2003.

PERES, A . **Quantum Theory: concepts and methods.** Boston:Kluwer Academic Publishers, 2002

REZENDE JR, M e DE SOUZA CRUZ, F. F. Física Moderna e Contemporânea na formação de licenciandos em física: necessidades e conflitos .**Ciência & Educação,** Bauru,v. 15, n. 2, p. 305-21, 2009

SAKURAI J.J. **Modern Quantum Mechanics,** USA, Addson Wesley Pu.Co.,1994

SHANKAR, R. **Principles of Quantum Mechanics.** London: Kluwer academic/Plenum Publishers,1994

SILVERMAN, M. P. **More than one mystery** . New York: Springer-Verlag, 1994.

TEGMARK, M. The Importance of quantum decoherence in brain processes, **Physical Review E** ,v61, 4194-4206, 2000.

TERRAZZAN, E. A. **Perspectivas para a Inserção da Física Moderna na Escola Média**. 1994. 241f. Tese. Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.