

MECÂNICA QUÂNTICA EM SALA DE AULA

QUANTUM MECHANICS AT HIGH SCHOOL

Andréia Guerra¹

Marco Braga²

José Cláudio Reis³

1- CEFET-RJ, Grupo Teknê, grupo@tekne.pro.br

2- CEFET-RJ, Grupo Teknê, grupo@tekne.pro.br

3- Colégio PedroII, Grupo Teknê, grupo@tekne.pro.br

Resumo

Esse artigo apresenta os resultados de uma pesquisa realizada com estudantes da segunda série do ensino médio de uma escola do Rio de Janeiro. As intervenções dos alunos, durante as atividades, e suas avaliações ao final do processo mostram que o estudo da mecânica quântica a partir de uma abordagem histórico-filosófica, onde as relações entre a ciência e as outras produções culturais são exploradas é um possível caminho para abordar este tema.

Palavras-Chave: Ensino, história e filosofia da ciência

Abstract

This article shows the results of an educational research with students of a high school in Rio de Janeiro. Based on the students' participation during classroom activities and according to the end of term reports, it is possible to say that a historical and philosophical approach of the study of quantum mechanics, focusing on the relationship between science and other cultural productions, can be motivating for students.

Key words: Teaching, history and philosophy of science

INTRODUÇÃO

A pesquisa que iremos apresentar é o resultado de um trabalho com mecânica quântica no final do ano letivo da segunda série do ensino médio de uma escola da rede federal do Rio de Janeiro.

As aulas em torno à física quântica se iniciaram após o estudo de teoria cinética dos gases e das leis da termodinâmica. Para desenvolver o trabalho realizamos aulas expositivas sobre o tema e atividades específicas. As atividades tinham por objetivo aprofundar conceitos da física clássica negligenciados no Ensino Médio, mas fundamentais para a compreensão das novidades conceituais e filosóficas trazidas pela física quântica.

No processo de construção dessa intervenção em sala de aula procuramos ainda problematizar os alunos sobre a construção de teorias científicas e discutir relações entre ciência e arte no início do século XX, visando possibilitar a construção de uma visão cultural do conhecimento científico.

As atividades foram realizadas pelos alunos em grupos, a fim de proporcionar uma discussão mais rica sobre o que estava sendo feito. Iremos descrever como foram desenvolvidas as atividades e a interpretação dos estudantes para cada uma delas. Não usaremos sempre o mesmo critério na descrição, porque o conteúdo das respostas e a própria natureza das atividades mereceram abordagens diferentes.

METODOLOGIA DE TRABALHO – PESQUISA E INTERVEÇÃO

Entre as várias dificuldades que este trabalho oferece uma das mais significativas diz respeito à metodologia de pesquisa a ser usada. A partir da atuação direta em sala de aula discutindo com os alunos os novos conteúdos abordados, foram criadas estratégias para captar as impressões e, também, o grau de entendimento sobre os assuntos abordados. Essa opção foi motivada por uma reflexão e uma prática docente que tenta ser constantemente reflexiva e transformadora, buscando caracterizar-nos como professores-pesquisadores (Reis et al., 1990).

A literatura sobre trabalhos com esse enfoque metodológico é bastante vasta e com diferentes denominações: pesquisa participante (Brandão) e pesquisa-ação (Thiollon, 1986) são os principais. Essas metodologias têm um forte vínculo com os movimentos populares na tentativa de transformar os “objetos” das pesquisas em sujeitos do conhecimento, visando uma transformação social. Carlos Rodrigues Brandão enfatiza o aspecto de dominação das pesquisas que desconsideram os sujeitos sociais como tais.

“Na verdade, até aqui tem sido o trabalho científico que divide o mundo sobre o qual realiza a prática de ‘conhecer para agir’ em dois lados opostos: o lado ‘popular’ dos que são pesquisados para serem conhecidos e dirigidos, versus o lado ‘científico’, ‘técnico’ ou ‘profissional’ de quem produz o conhecimento, determina os seus usos e dirige ‘o povo’, em seu próprio nome ou, com mais frequência, no nome de para quem trabalha. A expressão aparentemente neutra que existe na idéia de ‘objeto de pesquisa’, muitas vezes subordina a idéia e a intenção de que aqueles cujas ‘vida’ e ‘realidade’afinal se ‘conhece’, sejam reconhecidos para serem objetos também da historia.” (p. 10)

Outro aspecto importante é que a pesquisa empreendida durante esse trabalho visou não apenas conhecer para depois agir, mas teve a finalidade de conhecer interferindo na realidade da sala de aula. Isso porque não queríamos apenas saber se eram possíveis de aplicações práticas as idéias que tínhamos sobre a introdução da mecânica quântica no ensino médio, mas fazer com que os alunos adquirissem um conhecimento mais profundo da própria física.

As atividades que serviram como instrumentos de análise foram pensadas com o objetivo de fazer com que os alunos refletissem sobre os temas discutidos, enfatizando dessa forma a pesquisa-intervenção. Tais atividades foram implementadas em grupos ou individualmente, na própria sala de aula ou em casa, dependendo da conveniência e da disponibilidade de tempo de que dispúnhamos, bem como da necessidade de uma discussão maior sobre um tema específico.

A maior parte das atividades foi proposta aos alunos como avaliação para que pudessemos contar com a participação e o empenho deles na feitura das mesmas. Entretanto, nem todos os alunos necessitaram de uma cobrança formal para que se envolvessem com a atividade. Nossa última atividade foi uma avaliação deles sobre o trabalho, a partir da resposta a algumas questões sobre a metodologia utilizada para a abordagem dos assuntos. Foi-lhes dito que o trabalho era opcional, mas ainda assim 27 alunos de um total de 30 devolveram as respostas. Considerando que o ano letivo já se encontrava no final e era uma atividade livre, esse pode ser considerado um indicador do significado do trabalho para aquele grupo.

INTERVENÇÕES

1- Modelos

O trabalho se iniciou com uma atividade cujo objetivo era problematizar os alunos sobre a utilização de modelos na construção de teorias científicas. Para isso utilizamos uma “caixa preta”. (Bunge, 1974) (Vianna, 1990).

Estávamos interessados em fazer com que os alunos construíssem um modelo para a “caixa-preta” e refletissem sobre esse processo, bem como sobre a validade do mesmo para explicar o que tinha dentro da caixa.

Com os alunos divididos em grupos foi pedido que eles tentassem construir um modelo do que havia dentro da caixa (a caixa é fechada, tendo apenas um furo numa das faces não podendo ser aberta). Logo a seguir foi entregue aos grupos o seguinte roteiro:

O que são Modelos?

Você pode estar se perguntando: como é possível falar sobre os átomos, se não é possível observá-los? Se não podemos ver os átomos, então, tudo que falarmos sobre eles pode ser considerado verdadeiro?

Construam um modelo do que existe dentro da caixa.

Após terminarem a construção dos modelos, respondam as questões a seguir.

- 1- Em que vocês se basearam para construir o modelo da caixa preta?
- 2- É possível quantificar (expor matematicamente) o modelo que vocês construíram? Justifique sua resposta.
- 3- O modelo de vocês explica o fenômeno observado? Ele é o que está dentro da caixa? Justifique.
- 4- É realmente necessário abrir a caixa para falar sobre o que existe em seu interior? Justifique.
- 5- É possível ter acesso à realidade última da natureza? Justifique.
- 6- A partir das respostas às questões anteriores, faça um comentário final sobre o que é o conhecimento científico e os limites que a experiência tem na construção desse conhecimento.

Todos os oito grupos concordaram ao responder a terceira questão que os seus modelos explicavam o que estava dentro da caixa, mas não achavam que era possível garantir serem eles verdadeiros.

Com relação à quarta questão, cinco grupos afirmaram que só abrindo a caixa seria possível saber o que havia dentro dela. Os outros três acharam que não era necessário abri-la, pois através do movimento do lápis e das deduções seria possível saber o que havia no interior da caixa. Os cinco primeiros grupos defenderam a existência de vários mecanismos que explicassem o funcionamento da caixa, e que por isso não se poderia afirmar o que lá havia, sem abri-la.

Outra unanimidade foi com relação à questão cinco. Todos afirmaram que não era possível ao homem ter acesso à realidade última da natureza, pois ela é muito complexa e também está em constante transformação, impossibilitando qualquer tentativa de conhecê-la completamente. Essa resposta esteve fortemente influenciada pela própria atividade, uma vez que eles perceberam que podiam construir teorias sem que a comprovação fosse verificada diretamente. Além disso, não verificar diretamente a validade do modelo que eles criaram deu-lhes a certeza da impossibilidade do conhecimento último da natureza.

O item seis foi de difícil compreensão para os alunos, pois dois grupos simplesmente deram respostas sem nenhum sentido. Os outros se dividiram igualmente entre afirmar que o conhecimento científico se esgota na experimentação e os que colocaram limites ao papel da experimentação na construção do conhecimento referiram-se a outros fatores como: ética, questões filosóficas e metafísicas. Esses grupos colocaram a questão de que o aprendizado sobre a natureza é mais amplo do que o que se pode tirar da experimentação. Há limites ao que a experimentação pode nos informar sobre a natureza.

Avaliamos que foi importante para os alunos o manuseio e reflexão em torno à caixa preta permitiu uma discussão mais detalhada sobre a construção do conhecimento científico. Avançando na discussão sobre mecânica quântica essa atividade acabou tomando outro significado para os alunos, pois a questão da construção de modelos e do realismo ou não das teorias científicas esteve presente na história da teoria quântica.

2- Regras de Raciocínio em Filosofia

Esse trabalho foi desenvolvido com o objetivo de fazer os alunos refletirem sobre que bases filosóficas a física clássica newtoniana havia sido construída. Isso era importante para que eles tivessem clareza sobre as pretensões mecanicistas de construção de conhecimento científico.

Os alunos tiveram também a possibilidade de retomarem a um tema que já havia sido discutido na primeira série do Ensino Médio. As regras de raciocínio formam uma estrutura muito sólida sobre as quais se construiu um parâmetro confiável para se chegar ao conhecimento científico. Só que elas são limitadas principalmente se tentarmos aplicá-las a fenômenos quânticos. Esse era o ponto que nós pretendíamos fazer os alunos refletirem primordialmente, já que eles deveriam ter clareza sobre as bases da física clássica para poderem perceber as mudanças introduzidas pela física quântica.

Para tanto foi lhes proposto responder cinco questões a partir das quatro regras de raciocínio que Newton apresentara na introdução dos *Principia*. O roteiro que foi entregue aos alunos foi o seguinte:

Essas regras foram elaboradas por Newton e publicadas nos “*Principia*”, em 1687.

Regra – 1

O universo é simples; explicações complexas a seu respeito não são satisfatórias.

Regra – 2

A efeitos similares devemos sempre atribuir causas idênticas.

Regra – 3

Proposições comuns aos corpos conhecidos devem ser aplicadas para todos os corpos.

Regra – 4

Sobre um acontecimento, as considerações e as hipóteses baseadas em observações ou experimentações devem ser aceitas em detrimento de quaisquer outras não baseadas em experiências

1- Como vocês acham que elas podem ser aplicadas à construção de conhecimento sobre a natureza?

2- Qual o grau de aplicação dessas regras na física? E fora da física, elas têm o mesmo grau de validade?

3- Algum fenômeno físico pode contrariar alguma dessas regras?

4- Vocês conhecem alguns modelos atômicos em química. Descreva o modelo mais aceito atualmente. Como ficam as regras de raciocínio aplicadas às teorias atômicas?

5- O elétron foi “descoberto” em 1897 e os principais modelos atômicos foram construídos a partir dessa data. Dois anos antes fora descoberto o raio-X. Vocês acreditam que esses fatos possam ter exercido alguma influência sobre os artistas da virada do século?

Em relação à primeira questão todos os alunos afirmaram que as regras funcionavam como bases norteadoras do raciocínio para a construção do conhecimento científico.

Houve alguma divergência sobre a segunda e a terceira perguntas. Sete grupos afirmaram que as regras aplicavam-se bem à física ou às ditas ciências naturais, mas não às ciências humanas. Mesmo dentro desse grupo alguns afirmaram que para fenômenos mais

complexos, da própria física, as regras não se aplicavam. Em contra partida três grupos disseram que as regras eram gerais, valendo tanto para a física como para outros ramos do conhecimento.

As respostas à quarta questão tiveram um espectro maior de divergência no entendimento das regras e da sua aplicação na construção de explicações de fenômenos da natureza. Dois grupos responderam que as regras se aplicavam completamente às teorias atômicas. Quatro outros disseram que elas não se aplicavam a esses fenômenos, mas foram pouco claros ao explicar porque não se aplicavam. Ao contrário de outros três grupos que foram diretamente ao ponto da não observação dos átomos. Isso significaria que o modelo atômico se construiu sem a observação direta dos átomos. Um grupo não respondeu a essa questão. Vale ressaltar que sete grupos fizeram uma descrição correta do modelo atômico de Rutherford-Bohr.

Todos foram unânimes relativamente à quinta questão. A arte absorve os desenvolvimentos da ciência, pois os artistas fazem parte de um contexto que a ciência ajudou a construir, logo não estão imunes a ele. Em se tratando de uma reflexão relativa às relações ciência e arte, acreditamos que seja interessante vermos o que alguns grupos disseram.

“Os artistas sempre recebem influências de fatos que estejam ocorrendo, de qualquer campo de conhecimento. Acredito que os avanços da ciência principalmente na virada do século exerceram uma grande influência e incertezas nas cabeças dos artistas.”

“Sim o artista é influenciado pelo momento em que vive. Descobertas científicas abrem um novo campo de visão, dando uma nova percepção da realidade. Obviamente o artista exprime a percepção imediata de alguma forma em sua obra.”

Essa clareza é importante para que os alunos possam ver a ciência fazendo, também, parte do contexto sócio cultural, pois isso permite maior aproximação, por parte dos alunos, em relação aos conceitos científicos. É indispensável que eles vejam a física dialogando com outras áreas do conhecimento, pois isso irá humanizar mais suas visões da ciência.

3- Surrealismo, Complementaridade e Indeterminação

Essa atividade foi realizada pelos alunos, na aula seguinte à apresentação do princípio da complementaridade de Bohr. Aquela aula foi expositiva, o argumento de Bohr sobre o fato de que o entendimento da natureza deve abandonar a crença de que explicações contraditórias não são satisfatórias para as teorias científicas foi apresentado sem maiores discussões sobre o significado do termo complementaridade. Assim, a atividade teve o propósito de retomar um conceito que havia sido meramente apresentado anteriormente e aprofundar o princípio da complementaridade. Dessa forma, o grande mérito foi fazer com que os alunos tivessem um ponto de partida não apenas teórico para a reflexão, mas também uma analogia visual que lhes foi bastante importante.

Com o objetivo de discutir o princípio da complementaridade e torná-lo mais acessível aos alunos utilizamos um quadro do pintor surrealista René Magritte, intitulado “O Império das Luzes”. Mantendo exposta a imagem, foi entregue aos alunos as seguintes questões:

1- Há alguma incompatibilidade entre o quadro de Magritte e a realidade que observamos cotidianamente?

Belo quadro, não acha? Uma paisagem tranqüila, bem construída pelo artista, nada está fora do lugar. É noite, epa, não é dia? Como pode? A paisagem é noturna, o céu diurno isso não é possível, uma coisa se opõe a outra?

Segundo Magritte:

“A paisagem leva-nos a pensar na noite, o céu no dia. Na minha opinião, esta simultaneidade de dia e noite tem o poder de surpreender e de encantar. Chamo a este poder poesia.”

Sabemos que não podemos ter noite e dia simultaneamente, mas também sabemos que só percebemos a noite porque existe o dia. Noite e dia são noções que não existem isoladamente. Podemos dizer que mais do que opostos noite e dia são conceitos complementares.

Comente essa idéia de complementaridade a partir da obra de Magritte.

Os alunos foram bastante enfáticos na análise da complementaridade, associando isso ao dia e a noite, como está no quadro. Segundo eles a complementaridade está no fato de que o dia não existe sem a noite e vice versa. Essa percepção foi importante para que pudéssemos na discussão construir uma analogia do que o princípio da complementaridade de Bohr trata.

A análise das falas dos alunos ajuda a compreensão da analogia trabalhada:

“Sim, há uma incompatibilidade, pois as luzes da casa refletidas na água dão a entender que é noite. Porém, o céu está azul e com nuvens brancas, representando o dia. Porém, só percebemos a existência de um deles devido à existência do outro. Ou seja: temos a noção de dia porque temos a noite, não haveria essa oposição que nos faz estabelecer conceitos para a realidade.”

“A incompatibilidade está representada pela dualidade dos fenômenos que convencionamos denominar de dia e noite, dada a impossibilidade do homem, veiculando a arte, de fugir da realidade.

O princípio da complementaridade se faz presente na obra a partir da representação simultânea das noções de noite e dia, sendo estritamente relacionadas na medida em que um não existiria se não fosse o outro. “Entretanto, os fenômenos retratados não são opostos e sim parte de uma mesma natureza complementar.”

2- Segundo André Breton um dos fundadores do Surrealismo e talvez o seu maior teórico, o surrealismo tinha a seguinte finalidade:

“Tudo sugere a existência de um certo ponto da mente no qual vida e morte, real e imaginário, passado e futuro, o comunicável e o incommunicável, as alturas e as profundidades, deixam de ser percebidos como contraditórios...”

Ele está se referindo à superação desses estados contraditórios por outro estado de supra-realidade (surrealismo). Segundo Breton, isso é possível com a pintura surrealista.

Novamente nos vem a questão do contraditório e da necessidade de sua superação. Em arte isso é muito interessante e estimulante, mas será que isso tem algum valor na ciência? Qual a opinião do grupo a esse respeito?

É possível que fenômenos físicos também sejam complementares, ou seja, comportem duas explicações antagônicas, sem que possamos decidir sobre uma delas? Justifique

Em relação a essa questão não houve uma unanimidade. Apenas três grupos falaram claramente que a complementaridade seria possível em fenômenos físicos reais.

“Sim, a ciência deste século vive de complementaridade, seja da onda e da partícula ou da matéria e da energia, e sobre ela foi construída. O antagonismo, segundo ela, só depende do instrumento de medição, mas nunca deixa de existir.”

“A física quântica nos traz esse novo conceito de complementaridade; a partir de suas teorias é possível, sim, que alguns fenômenos físicos comportem duas explicações antagônicas. O problema da luz (onda ou fóton) é o maior exemplo dessa contradição, é o problema causador da teoria quântica e da idéia das explicações antagônicas para um mesmo fenômeno físico, nunca antes entendido por completo.”

As outras respostas foram menos claras e deixaram dúvidas sobre o entendimento do conceito, bem como sobre a possibilidade da complementaridade existir na ciência.

O prosseguimento da discussão contou ainda com a análise de dois quadros surrealista, só que agora de Salvador Dali: “Espanha”, de 1938 e “Mercado de escravos com o busto de Voltaire”, de 1940.

A utilização desses quadros teve a finalidade de levantar a questão sobre a indeterminação da observação de dois aspectos presentes no mesmo quadro (fenômeno). No “Espanha”, Dali constrói a figura de uma mulher a partir de várias imagens que iam se conectando para formar o todo. Só que ao nos concentrarmos nos detalhes da imagem, perdemos a noção de que há uma mulher representada e vice-versa. O outro quadro apresenta o mesmo aspecto, por exemplo, o busto de Voltaire é construído a partir da figura de duas mulheres. Se nos concentrarmos nelas não vemos Voltaire e o detalhamento dele indetermina o delas.

A análise desses quadros foi feita oralmente pelos alunos, sem que tenha sido possível um relato escrito, devido a problemas de tempo. Da exposição oral pudemos perceber que muitos tiveram a percepção da indeterminação inerente aos quadros. O que os ajudou no entendimento do princípio da indeterminação que estudamos nas aulas seguintes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia de pesquisa que adotamos possibilitou o desenvolvimento de uma pesquisa-intervenção no cotidiano escolar que levou os alunos a estudar física quântica, um assunto em geral excluído da sala de aula, a partir de uma abordagem menos técnica e especializada. Para isso a abordagem interdisciplinar que desenvolvemos nesse trabalho sobre a construção do conhecimento científico foi bastante apropriada.

Edgar Morin (2000) destaca a necessidade de reorganizarmos o saber para termos uma sociedade democrática, e nesse sentido aproxima-se do que desenvolvemos nesse trabalho.

“O desenvolvimento de uma democracia cognitiva só é possível com uma reorganização do saber; e esta pede uma reforma do pensamento que permita não apenas isolar para conhecer, mas também ligar o que está isolado, e nela renasceriam, de uma nova maneira, as noções pulverizadas pelo esmagamento disciplinar: o ser humano, a natureza, o cosmo, a realidade.” (p. 104)

As atividades realizadas nos possibilitaram fazer inferências sobre as relações entre ciência e arte e a partir daí discutirmos de forma mais aprofundada conceitos da física clássica que são desprezados numa abordagem exclusivamente técnica da ciência, mas que por sua vez são fundamentais para o entendimento da física quântica. O físico e historiador da ciência Arthur Miller (2001) falou sobre a importância que teve a visualização para Einstein conceber a relatividade. Pudemos ver pela fala dos alunos que eles também deram uma importância muito grande à visualização que a arte possibilitou para a compreensão da física moderna. Nesse sentido, fica evidente que a abordagem desenvolvida durante o curso propiciou aos estudantes uma visão mais cultural da ciência. A apropriação cultural da ciência é uma necessidade que já foi enfatizada por Zanetic, em 1989, na sua tese de doutorado intitulada: “Física também é cultura”.

Quando os alunos percebem que o dois campos do conhecimento, aparentemente tão antagônicos, se relacionam de forma a construírem visões de mundo próximas, suas percepções e compreensões da ciência mudam de patamar. Isso faz com que esses estudantes tenham maiores condições de desenvolverem uma interpretação mais crítica do mundo que os cerca, pois, como enfatizou Edgar Morin (2000), eles apropriaram-se de um saber rico de complexidade e de

significado para as suas vidas. Não foi apenas um saber para ser esquecido quando passarem as exigências escolares.

A avaliação que os alunos fizeram do trabalho nos habilita a falar do acerto da abordagem. A maioria deles apontou que estudar mecânica quântica tinha sido a melhor parte do curso por sua aproximação com a arte, por possibilitar análises instigantes sobre o mundo e por ter sido uma abordagem com pouca matemática, sendo, segundo eles, mais teórica.

“Essa forma de abordagem da mecânica quântica, com representações artísticas, facilitou o entendimento desse ramo da física quanto à possibilidade de visualização do fenômeno. Essa matéria, na minha opinião, torna-se mais complexa, por tratar de uma realidade invisível; com essas representações, a imaginação torna-se mais “sólida”, o invisível praticamente se converte em visível.”

“Eu mesma relutei em ir a exposição, e só fui porque haveria um trabalho conceitual. Mas quando voltei de lá, voltei admirada. Por que todos adolescentes tem o costume de achar que a ciência é feita para gênios, lunáticos, mas quando eu voltei da exposição fiquei muito surpresa, podia imaginar tudo menos que fosse adorar (como de fato ocorreu) não digo que a ciência deixou de ser complexa (porque acho isso impossível) mas pelo menos eu gostei de tentar entendê-la e aproximá-la da minha realidade. E é exatamente isso que eu pude observar lá, a toda hora os artistas tentam estabelecer relações entre a realidade cotidiana como aparatos tecnológicos e o tempo dentro da ciência.”

“...Se não tivéssemos o mínimo conhecimento científico seríamos incapazes de compreender o que essas obras de arte significam realmente . Teríamos uma vaga idéia e arranjariamos mil interpretações... (claro que há várias interpretações, umas procedem ou não). (Têm-se uma visão sisuda da ciência, um velho barbudo de óculos, algo inalcançável e realizado apenas por seres que parecem de outro planeta.) Os conceitos científicos apropriados pelos artistas só fizeram enriquecer a obra, longe de torná-la feia ou técnica demais. É possível unir a racionalidade com a sensibilidade sim!”

“Eu me surpreendi quando percebi que a física possui muita coisa em comum com a arte, pois estas são praticamente opostas, mas percebi que estava enganada através da arte aprofundei minhas idéias e as coisas ficaram mais simples. Pois quando eu pensava em física apenas surgiam as imagens de contas gigantes, e com essa dinâmica descobri que esta matéria vai muito além disso...”

O trabalho que realizamos foi pontual, voltado para um grupo exclusivo de aluno. Isso torna suas conclusões limitadas, porém pesquisas como essa possuem o valor de demonstrar para outros professores a possibilidade de construirmos práticas mais significantes para os estudantes do Ensino Médio, uma vez que enquanto cidadãos que estão terminando sua formação básica devem estar preparados para interpretar e intervir conscientemente no mundo.

Esse trabalho poderá ter vários desdobramentos futuros, um deles será a elaboração de um corpo mais bem estruturado de atividades e de procedimentos de avaliação para uma futura pesquisa-intervenção. Dessa forma, teremos a possibilidade de construir uma visão mais significativa, para a introdução da física quântica no Ensino Médio, apontando para maior generalização do trabalho desenvolvido.

O último ponto a enfatizar é que esse trabalho só reforçou a necessidade da escola de Ensino Fundamental e Médio se transformar num espaço efetivo de reflexão sobre o

conhecimento, pois só assim poderemos alcançar transformações efetivas em nossa realidade educacional.

REFERÊNCIAS

- BRANDÃO, Carlos Rodrigues (org.) – **Pesquisa Participante**. São Paulo, Editora Brasiliense.
- BUNGE, Mario – **Teoria e Realidade**. São Paulo, Editora Perspectiva, 1974.
- GEERTZ, Clifford – **A interpretação das culturas**, Rio de Janeiro, Zahar Editores, 1978.
- GRECA, Ileana Maria, MOREIRA, Marco Antonio e HERSCOVITZ, Victoria E. – Uma Proposta para o Ensino de Mecânica Quântica. In **Revista de Ensino de Física**, Vol. 23, nº 4, p. 444-457, dez. 2001.
- HOLTON, Gerald - As Raízes da Complementaridade. In **Revista Humanidades**, vol. II, nº 9, UnB, p. 49-71, out/dez, 1984.
- LEVY-LEBLOND, Jean Marc - “É Possível Ensinar a Física Moderna.” In Morin, Edgar, **A Religião dos Saberes: o desafio do século XXI**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2001, p. 69-72.
- MILLER, Arthur, I. - **Insights of Genius: imaginary and creativity in science and art**. New York, Copernicus, 1996.
- MORIN, Edgar – **A Cabeça Bem-Feita: repensar a reforma, reformar o pensamento**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2000.
- REIS, José Claudio de O. et alli - A interdisciplinaridade no ensino de ciências a partir de uma perspectiva histórico-filosófica. In **Revista Catarinense de Ensino de Física**, Vol. 15, nº 1, p. 32-46, abril de 1998.
- _____ - Ciência e arte: expressões de uma mesma concepção de Mundo? Comunicação apresentada no **12º COLE**, Congresso de Leitura do Brasil, realizado na UNICAMP, Campinas, 1999.
- THIOLLENT, Michel – **Metodologia da Pesquisa-Ação**. São Paulo, Cortez Editora, 1986.
- VIANNA, Deise et alli – “Física da atualidade na escola: a dualidade onda-partícula.” In Gonçalves, Odair (org), **O ensino da física e a física da atualidade**. Rio de Janeiro, SBF/UFRJ, 1990.
- ZANETIC, João - Física também é cultura. São Paulo, tese de doutorado, USP, 1989.