

Dualidade onda-partícula na educação profissional: os enunciados dos estudantes em atividades com o Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder

Wave-particle duality in professional education: the wordings of the students in activities with the Virtual Interferometer Mach-Zehnder

*Jader da Silva Neto*¹

*Fernanda Ostermann*², *Cláudio José de Holanda Cavalcanti*³

¹Instituto de Física/Doutorando em Ensino de Física/UFRGS,
jader.neto@bento.ifrs.edu.br

²Instituto de Física/Departamento de Física/UFRGS,
fernanda.ostermann@ufrgs.br

³Instituto de Física/Departamento de Física/UFRGS,
claudio.cavalcanti@ufrgs.br

Resumo

Este trabalho relata uma pesquisa qualitativa realizada em um Curso Técnico em Radiologia Médica, na cidade de Bento Gonçalves/RS. O objetivo foi testar a viabilidade de um *software* tipo bancada virtual, o qual simula o Interferômetro de Mach-Zehnder, como ferramenta para possibilitar a compreensão da dualidade onda-partícula, no estudo das interações das radiações com a matéria. Esta pesquisa ocorreu com uma turma de trinta e dois alunos que receberam aulas teóricas e realizaram atividades de simulação computacional acompanhadas de roteiros exploratórios. Todas as atividades de ensino foram elaboradas tendo como marco teórico o sociointeracionismo de Vygotsky. Encontramos na filosofia sociolinguística de Bakhtin conceitos como enunciado, voz, linguagem social e diálogo, os quais possibilitaram analisar as interações discursivas entre os alunos. Este tipo de análise trouxe evidências acerca da construção de conceitos em Física Quântica, como a forte referência à óptica ondulatória clássica para descrever o fenômeno de interferência quântica.

Palavras-chave: interações discursivas, educação profissional, dualidade onda-partícula.

Abstract

This paper reports a qualitative survey carried out in a Technical Course in Medical Radiology in the city of Bento Gonçalves/RS. The objective was to test the feasibility of a virtual workbench software type, which simulates the Mach-Zehnder interferometer as a tool to enable understanding of wave-particle duality, the study of interactions of radiation with matter. This research took place in a class of thirty-two students who received classroom and computer simulation activities carried out together with exploration routes. All teaching activities have been prepared having as the theoretical framework of Vygotsky's sociointeractionism. Found in the philosophy of Bakhtin's sociolinguistic concepts such as support statement, voice, language and social dialogue, which enabled us to analyze the

discursive interactions among students. This type of analysis provided evidence about the construction of concepts of quantum physics, as the strong reference to classical wave optics to describe the phenomenon of quantum interference.

Key-words: discursive interactions, professional education, wave-particle duality.

Introdução

Desde as primeiras propostas de inserção de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no currículo de física nas escolas brasileiras, como Terrazzan (1992), um longo caminho foi percorrido, com diversos estudos teóricos e implementações em sala de aula. Segundo Pinto e Zanetic (1999), a abordagem de tópicos de FMC, além de aguçar a curiosidade dos alunos trazendo para a sala de aula conhecimentos que extrapolam os limites da ciência, auxilia na construção de uma nova visão de mundo. Seguindo nesta linha, consideramos tal abordagem como uma possibilidade de conectar a física ensinada em sala de aula com o desenvolvimento científico e tecnológico que se tem alcançado. Muitas iniciativas foram tomadas com o propósito de levar a Física Quântica (FQ) até os currículos de ensino médio como se pode ver na literatura.

Uma modalidade de ensino que ainda continua sendo pouco explorada em relação às preocupações com o ensino de física é a educação profissional. A respeito dos cursos desta modalidade de ensino, estes ainda são considerados de valor inferior pela sociedade quando comparados ao nível superior, persistindo, mesmo que de maneira inconsciente, a ideia de que a formação técnica é destinada aos menos favorecidos, àqueles que por algum motivo não ingressarão em uma universidade.

Conforme aponta Silveira (2006), a implementação da educação profissional resgata elementos presentes na educação oferecida durante o Brasil colonial, formalizando um sistema paralelo ao ensino secundário. Dessa forma, é possível identificar os preceitos de divisão social do trabalho, divisão entre trabalho manual e trabalho intelectual e a ideia de que deve haver uma educação para a classe dominante e outra para a classe trabalhadora. No que se refere à mentalidade existente em relação aos cursos da educação profissional, destacamos a noção que os alunos têm e, possivelmente, alguns docentes, de que para atuar como técnico é necessário direcionar esforços para a observação e reprodução de procedimentos técnicos. Facilmente percebe-se a crença de que o ensino técnico é sinônimo de treinamento, em que “saber - fazer” é mais importante do que “saber – por que – fazer”, desperdiçando dessa forma as oportunidades de crescimento pessoal e profissional que seriam possibilitadas pelo aprendizado de cada técnica e não pelo treinamento.

Procurando aliar as preocupações em relação ao ensino de física na educação profissional à abordagem de conceitos de FQ, realizamos uma investigação a partir de uma intervenção didática junto ao componente curricular “Proteção Radiológica” do segundo módulo do curso técnico em Radiologia Médica de uma instituição da rede particular de ensino, na cidade de Bento Gonçalves/RS. A pesquisa foi realizada em uma turma composta por trinta e dois alunos, com histórico médio de alunos afastados dos bancos escolares há alguns anos (Silva Neto *et al.*, 2010; Silva Neto *et al.*, 2011).

Esta intervenção didática focou a interação das radiações com a matéria (efeito fotoelétrico, espalhamento Compton, interferência e difração de elétrons) e para possibilitar esta abordagem foi tomado como conceito central a dualidade onda-partícula (Pessoa Jr., 2006). A escolha deste tema deve-se ao fato de que a interação da radiação com a matéria é um processo que, em geral, se dá em escalas microscópicas. Dessa forma, para podermos

explicar muitos dos fenômenos típicos desta interação, faz-se necessário, em algumas situações, considerarmos o caráter ondulatório e, em outras, o caráter corpuscular da radiação.

O estudo da dualidade onda-partícula ocorreu a partir da simulação computacional do fenômeno da interferência através do Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder (IVMZ), um *software* tipo bancada virtual. O IVMZ é um arranjo experimental de fácil manipulação e é uma versão mais atual do experimento da dupla fenda de Young (Müller e Wiesner, 2002). Uma versão aprimorada deste software foi desenvolvida por professores do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e tem sido amplamente utilizada nas atividades para o ensino de conceitos-chave da FQ em nível de graduação (Ostermann *et al.*, 2006; Pereira *et al.*, 2009). Em relação à abordagem da dualidade onda-partícula, optamos pela formulação ondulatória da FQ, proposta por Schrödinger, já que esta construção é matematicamente análoga à Óptica Ondulatória Clássica.

Visando possibilitar a investigação em um ambiente de aprendizagem colaborativa, adotamos uma metodologia de ensino capaz de proporcionar interação entre os alunos e, para isso, apoiamos-nos na teoria sociointeracionista de Vygotsky.

Para complementar algumas das ideias de Vygotsky e por enfatizar o aspecto sociocultural na constituição do indivíduo optamos por considerar alguns conceitos utilizados por Bakhtin como enunciado, voz, linguagem social e diálogo, conforme propõe Wertsch (1993). Com esta aproximação buscamos ampliar a compreensão do processo de mediação dos signos. O diferencial deste trabalho em relação a outros é a utilização do *software* em um contexto em que ainda não fora testado, a educação profissional.

Marco teórico da pesquisa

Na abordagem sociocultural a ênfase no papel que a interação social desempenha no desenvolvimento das funções mentais é um aspecto de grande importância. Assim, considerando as contribuições de Vygotsky e Bakhtin para a pesquisa que realizamos, merecem destaque alguns conceitos relacionados à abordagem sociocultural.

O sociointeracionismo de Vygotsky

Ao destacar as contribuições da cultura, da interação social e a dimensão histórica do desenvolvimento mental, Vygotsky salienta que o desenvolvimento cognitivo é influenciado pelo contexto social, cultural e histórico em que os sujeitos estão inseridos, de modo que o homem não se constrói na ausência do outro. A origem do desenvolvimento cultural tem origem na interação do homem com o meio, compartilhando suas vivências e tomando conhecimento de experiências vividas por outros, o que o leva a agregar novos aspectos culturais à sua formação.

Para Vygotsky, as funções mentais superiores têm origem social; surgindo primeiramente no plano interpsicológico e, posteriormente, no plano intrapsicológico. A transição do plano interpsicológico para o intrapsicológico é mediada por instrumentos e signos, possuindo estreita relação com a noção de zona de desenvolvimento proximal (ZDP) (Vygotsky, 1998). De acordo com o sociointeracionismo, o nível de desenvolvimento mental que é alcançado pelo sujeito está relacionado à sua capacidade de conversão de funções psicológicas elementares, como os reflexos, em funções psicológicas superiores, como a consciência e a tomada de decisões. Esta conversão das funções psicológicas elementares em superiores é possibilitada somente pela mediação, a qual ocorre com a utilização de instrumentos e signos.

Vygotsky (1998, p. 72-73) faz a seguinte diferenciação entre instrumentos e signos:

A função do instrumento é servir como um condutor da influência humana sobre o objeto da atividade; ele é orientado externamente; deve necessariamente levar a mudanças nos objetos. Constitui um meio pelo qual a atividade humana é dirigida para o controle e domínio da natureza. O signo, por outro lado, não modifica em nada o objeto da operação psicológica. Constitui um meio da atividade interna dirigido para o controle do próprio indivíduo; o signo é orientado internamente.

Os instrumentos e os signos são utilizados pelo homem como ferramentas, nesse caso, de ordem psicológica. Dentre estas ferramentas de ordem psicológica, a linguagem é de grande importância e isto é evidenciado quando Vygotsky refere-se à linguagem como sendo o principal instrumento de intermediação do conhecimento entre os seres humanos, uma vez que está relacionada diretamente com o desenvolvimento psicológico individual e coletivo. Desenvolvimento psicológico individual porque as informações intermediadas recebidas são assimiladas e convertidas em uma forma de linguagem interna; desenvolvimento psicológico coletivo porque é a linguagem que possibilita a socialização entre indivíduos que fazem intercâmbio de significados.

Percebe-se de forma muito clara a dimensão assumida pela interação social, uma vez que atua como única via para as palavras (significado linguístico) e para a fala (ferramenta utilizada) possibilitarem, além do compartilhamento de significados, a certificação de que os significados que estão sendo captados são aqueles compartilhados para os signos em questão. É a internalização dos instrumentos e signos aceitos pela sociedade que possibilita o desenvolvimento cognitivo.

De acordo com Vygotsky (1998) os instrumentos e signos podem, a partir da perspectiva psicológica, ser incluídos na mesma categoria, a atividade mediada, a qual pode ser vista como o precursor do intercâmbio de signos. Este intercâmbio de signos ocorre com a utilização de instrumentos que evoluem na interação social. A atividade mediada ocorre frente ao uso de instrumentos para a troca de signos e estes, por sua vez, tem influência direta sobre os instrumentos, de modo que todas essas relações levam o indivíduo tanto ao um crescimento intelectual quanto cultural.

A fim de explicar este desenvolvimento intelectual, Vygotsky introduz a ZDP, caracterizando tal desenvolvimento como sendo constituído por pequenos saltos qualitativos de um nível de conhecimento para outro. Esse crescimento intelectual é possibilitado pela interação social, a qual possibilita o contato de um sujeito com os instrumentos e signos de outros, elevando seu nível de desenvolvimento.

A filosofia sociolinguística de Bakhtin

Com o intuito de complementar o referencial vygotskyano e em função da abordagem sociocultural, fez-se necessário a utilização de alguns conceitos bakhtinianos no desenvolvimento desta pesquisa. Esta aproximação tem como objetivo ampliar a compreensão do processo de mediação dos instrumentos e signos. De acordo com Wertsch (1993, p. 23) “o objetivo básico da aproximação sociocultural à mente é elaborar uma explicação dos processos mentais humanos que reconheça a relação essencial entre estes processos e seus cenários culturais, históricos e institucionais.” Visando esta relação essencial a perspectiva sociocultural procura descrever e explicar a ação humana, a qual emprega instrumentos mediadores para formatar a ação.

Bakhtin destaca a importância da palavra na constituição da consciência que, sendo um processo coletivo é permeado pela existência dos signos. Em relação à palavra há dois aspectos relevantes: ela procede de alguém e se dirige a alguém, constituindo o produto da interação entre locutor e ouvinte. Esse dialogismo está entre as principais categorias do pensamento bakhtiniano. Se uma palavra é dirigida a alguém, então temos um enunciado

completo formado por esta palavra. Em relação à palavra, Bakhtin destaca a palavra de autoridade, a qual não necessita ser persuasiva, pois já se encontra unida à autoridade (religiosa, política, do professor) de modo que a força de seu argumento está ligada à hierarquia de onde procede (Wertsch, 1993). O reconhecimento da existência da palavra de autoridade é muito relevante para compreender as relações de diálogo empregadas em sala de aula, seja entre professor e alunos ou entre os próprios alunos. A palavra do professor, impregnada pela autoridade que sua pessoa representa, é um elemento chave para guiar as ações e/ou enunciados dos demais envolvidos em um processo dialógico.

Inicialmente, quando uma palavra é dirigida a alguém, tem-se um enunciado completo formado por esta palavra e este enunciado funciona, segundo Bakhtin, como um elo na cadeia de comunicação verbal. Dessa forma, evidencia-se o fato de que um enunciado não é indiferente a outros enunciados; estão associados pelo menos a duas vozes (Wertsch, 1993). A produção destes enunciados requer a invocação de gêneros discursivos ou, formas de construção típicas e relativamente estáveis definidas pelo contexto social e cultural onde se inserem os falantes. Os gêneros discursivos, segundo Bakhtin, podem ser primários (constituídos por enunciados da comunicação discursiva imediata, tais como interjeições, ordens, diálogos do cotidiano, cartas, diários, bilhetes, entre outros) ou secundários (funções da linguagem que vão além da comunicação imediata, como artigos e enciclopédias). Ao se formular um enunciado, considera-se, entre outros fatores, o nível de informação que os demais ouvintes têm em determinada área, suas opiniões e seus preconceitos, de modo que estes são determinantes na escolha do gênero discursivo empregado. Este pano de fundo dá ao enunciado um caráter de autoridade ou dialógico a partir dos procedimentos composicionais e recursos linguísticos escolhidos (Bakhtin, 1997). Uma vez pronunciado requer-se, em relação aos demais interlocutores, a compreensão/aceitação dos enunciados durante as interações discursivas. A aceitação destes enunciados está, de certo modo, ligada ao grau de autoridade que representa e sua compreensão requer a tradução ou associação a palavras que fazem parte de um universo conceitual mais inteligível. Esta tradução é o que Bakhtin define como associar uma contrapalavra a cada palavra do enunciado.

Nas interações discursivas, os diversos enunciados que são formulados pelos alunos podem evidenciar a presença de mais de uma voz. Este processo é descrito por Bakhtin como ventriloquação e pressupõe que uma voz nunca é a única responsável pela criação de um enunciado e pelo seu significado, ou seja, um enunciado pode evidenciar uma pluralidade de vozes. Durante as interações discursivas, nas situações em que o ouvinte não dispõe de contrapalavras para compreender os enunciados envolvidos, poderá fazer o uso destes para formar o seu enunciado. Este processo de “apropriação” dos enunciados dos outros ou o que poderíamos chamar de “falar usando as palavras de outro” corresponde à ventriloquação. Na análise do discurso em um processo dialógico, em algumas falas é impossível identificar um único autor e isso se deve ao complexo processo de interanimação das vozes na composição dos enunciados.

Na nossa perspectiva, é na investigação das contrapalavras que podem ser detectados indícios de alguma aprendizagem, uma vez que estas são usadas como um artifício para a compreensão dos enunciados. Por outro lado, reconhecer os gêneros de discurso empregados pode levar a compreender melhor as relações envolvidas na negociação de significados em sala de aula.

Atividades de ensino

O planejamento do componente curricular “Proteção Radiológica” iniciou com uma reorganização na ordem de apresentação dos conteúdos, de forma que o conceito central de

nossa intervenção/investigação não constasse apenas como um apêndice e sim como um tópico de grande relevância para os conteúdos subsequentes, uma vez que o mesmo seria retomado de forma a evidenciar sua importância para um técnico em radiologia. Com o objetivo de proporcionar atividades diferenciadas procurou-se trabalhar com materiais que inovassem o estudo dos conceitos relacionados à dualidade onda-partícula. Dentre estes materiais podemos citar o uso de simulações computacionais, elaboração de roteiros exploratórios para tais simulações, seleção de textos apropriados e a redação de textos pelo professor. Em função do referencial teórico adotado, tendo em vista a interação social dos alunos entre si e com o professor, bem como a facilitação da aprendizagem pelo “parceiro mais capaz” através do trabalho cooperativo, as atividades de ensino ocorreram através de aulas expositivas, simulações computacionais realizadas em grupos e debate acerca de temas abordados a partir de textos de jornais e/ou internet. Assim, além de possibilitar a participação dos alunos, promovendo uma aprendizagem mais eficiente e construção colaborativa de conhecimentos acerca de tópicos de FQ, a adoção do sociointeracionismo de Vygotsky proporcionou um vasto material para análises posteriores.

Hipótese inicial e metodologia da pesquisa

A hipótese inicial desta pesquisa está relacionada ao caminho tomado pelo fóton no interferômetro e sua detecção.

Consideramos que a dificuldade em inferir o “caminho escolhido” pelos fótons reside na crença de que a detecção de pontos no anteparo reflete o comportamento de uma partícula clássica. A partir desta dificuldade, o confronto de ideias promovido pelo trabalho colaborativo pode levar ao entendimento de que os fótons apresentam um comportamento que não nos permite traçar qualquer analogia com o comportamento de um objeto clássico. Em relação a este trabalho colaborativo, pode-se dizer que a existência de um parceiro mais capaz (Vygotsky, 1998) permite o intercâmbio de signos, além de facilitar a resolução de problemas que não poderiam ser resolvidos individualmente. Isto destaca um conceito central da teoria de Vygotsky: a ZDP. A partir desta hipótese foram aplicados os materiais didáticos desenvolvidos e utilizadas as estratégias de ensino anteriormente descritas.

A partir das interações discursivas geradas em aula, procedeu-se a coleta de dados através de gravações de áudio, respostas a roteiros exploratórios e debates em sala de aula. Essas estratégias destacam-se do ponto de vista da interação que proporcionam durante as situações de ensino-aprendizagem em atividades colaborativas como as que foram propostas.

A análise das interações discursivas registradas durante as atividades didáticas buscou nos enunciados dos alunos outros elementos da filosofia sociolinguística de Bakhtin que proporcionassem elementos indicativos de alguma aprendizagem acerca dos tópicos estudados, por exemplo, a interanimação de vozes, a ventriloquação e o emprego de contrapalavras, já discutidos anteriormente. O reconhecimento do enunciado como elo na cadeia de comunicação verbal, evidencia que este pode conter diversas vozes, oriundas de diversos falantes e que, naquele momento, estão corporificadas em um único enunciado. Nas atividades colaborativas proporcionadas, os enunciados de um aluno entram em contato com os enunciados dos outros e também do professor, ocorrendo a interanimação de vozes. Dessa forma, um enunciado é sempre produzido por no mínimo duas vozes.

Quando enfatizamos a importância do enunciado e a ele associamos outros termos bakhtinianos como ventriloquação, interanimação de vozes e contrapalavras queremos verificar se os conceitos presentes nos enunciados dos alunos revelam alguma compreensão acerca do conceito central da pesquisa, a dualidade onda-partícula. Retomando um aspecto anterior, chegamos às contrapalavras que são associadas aos enunciados e desta forma, são as

contrapalavras que nos propiciam maior conhecimento a respeito do processo de compreensão e construção de significados no tópico estudado.

As vozes dos estudantes e a dualidade onda-partícula

O trabalho colaborativo em sala de aula promoveu discussões acerca das situações apresentadas. Algumas destas discussões são apresentadas a seguir. As falas foram transcritas preservando os termos utilizados pelos estudantes, aqui identificados pela letra inicial “E”.

Cenário 1: padrão de interferência formado com laser (modo clássico)

A proposta inicial era explicar o padrão de interferência formado com luz *laser*, o qual está representado na figura 1.

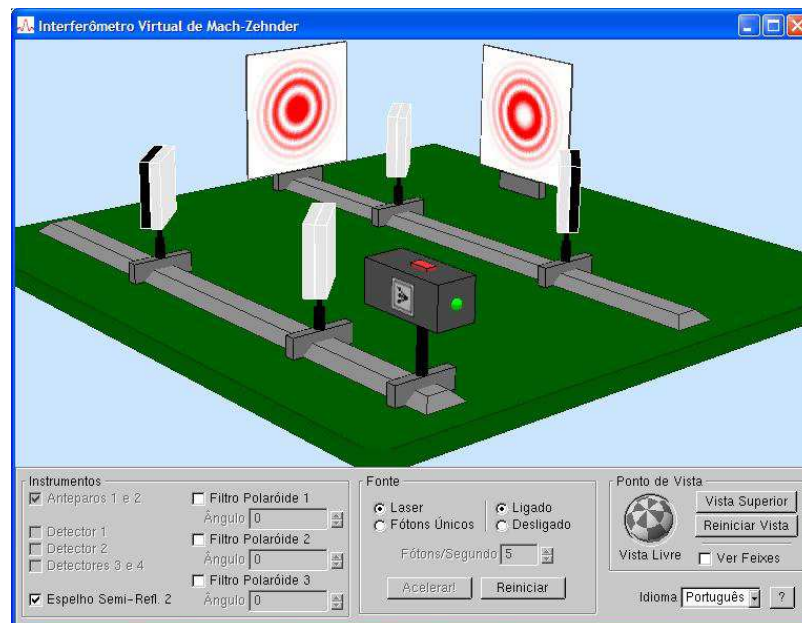


Figura 1- Padrão de interferência com luz *laser*.

O estudante E₁ está sentado em frente ao computador e controla o *software*.

E₁: É igual àquele que o professor apresentou no semestre anterior, mas agora não é com fendas.

E₂: É verdade. É o experimento de Young, mas agora as fendas são estes divisores de feixe. O efeito é o mesmo.

E₃: É mesmo. Olha só, quando eu tiro um divisor de feixe a interferência desaparece. É o mesmo que fechar uma fenda.

O diálogo entre estes estudantes mostra que eles foram capazes de relacionar facilmente a formação do padrão de interferência com o experimento de Young, contando, portanto, com argumentos da óptica ondulatória clássica.

A análise deste trecho que destacamos permite identificar pelo menos três vozes nos enunciados dos estudantes. A voz do professor se faz presente na passagem “É igual àquele que o professor apresentou”, na qual o estudante manifesta em um enunciado, algo que não foi dito pelo professor, mas feito por ele. Quando o estudante E₂ expressa “É o experimento de Young”, percebe-se a voz dos livros didáticos devido à presença de um termo tradicionalmente utilizado nestes livros. Por outro lado, a referência que faz ao experimento

de Young traz para o diálogo termos que lhe conferem um caráter mais científico, como “interferência”. Ao exclamar “divisores de feixe”, o estudante está associando, de forma muito clara, uma contrapalavra à “fenda” a fim de prover sentido ao enunciado que captou. Esta expressão é, de certa forma, compartilhada com E₃, que “toma posse” da mesma ao emitir uma expressão de concordância e utilizá-la em seu enunciado.

Estes enunciados expressam o caráter completamente interativo da comunicação entre os estudantes, o que é evidenciado pela negociação de significados ao longo do diálogo.

Cenário 2: A detecção dos fótons (regime quântico)

Os trechos destacados referem-se ao discurso dos alunos quando confrontados com o padrão de interferência formado com fótons individuais (um fóton de cada vez é emitido pela fonte), conforme padrão de interferência apresentado na figura 2.

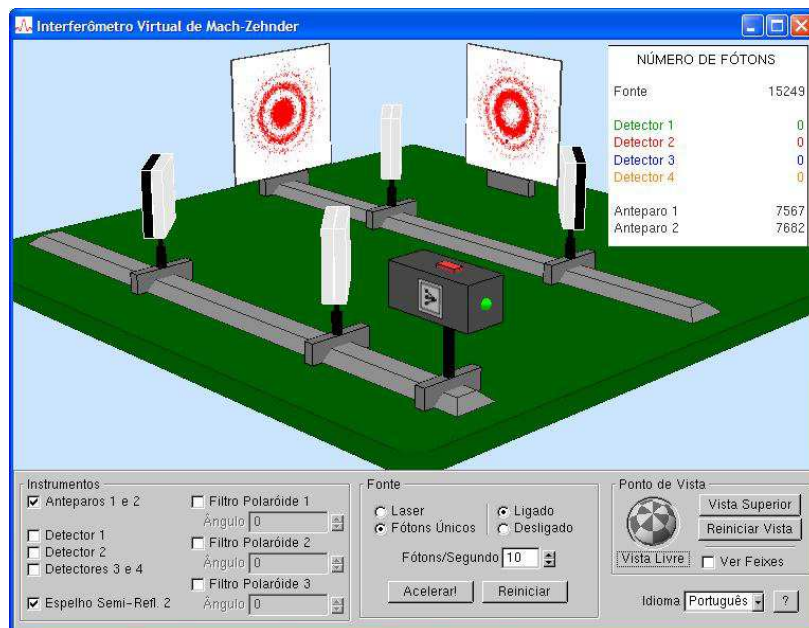


Figura 2 - Padrão de interferência em regime quântico.

E₄: Não vai aparecer nada na tela, pois os fótons não passam pelo espelho.

E₅: Claro que vai formar figura de interferência. Agora os fótons vão se dividir no meio.

E₄: O fóton não se divide.

E₆: É verdade, o fóton não vai ser dividido. Vai refletir primeiro num divisor de feixe, depois neste espelho e quando bater no segundo divisor vai chegar só neste anteparo. No outro não aparece nada porque nenhum fóton chega até lá.

A simulação com fótons individuais resgata nestes alunos a analogia com a óptica ondulatória clássica que, mesmo não aparecendo de forma explícita, surge como contrapalavra nos enunciados “... vai formar figura de interferência” e também “... refletir primeiro num divisor de feixe, depois neste espelho ...”.

Ao contrário do primeiro cenário apresentado, podemos aqui presenciar, através dos enunciados dos estudantes E₄ e E₅ uma disputa pela “liderança” ou posição como parceiro mais capaz. Os enunciados destes estudantes revelam um claro embate de ideias. Ao pronunciar “Não vai aparecer nada ...”, assim como “O fóton não se divide”, o estudante E₄, de certa forma, procura guiar as discussões limitando as explicações dadas pelos demais colegas. O mesmo é feito por E₅ indo de encontro ao enunciado anterior quando este

pronuncia “vai formar figura de interferência”. Tanto E₄ quanto E₅ usam discursos de autoridade, tendo como pano de fundo argumentos que se valem de termos característicos da ciência.

A análise dos enunciados ainda permite verificar na fala de E₆ o que Bakhtin caracteriza como interanimação de vozes. No enunciado deste estudante, “É verdade, o fóton não vai ser dividido” o enunciado de E₄ é retomado em sua totalidade, servindo como ponto de partida para um novo enunciado. A fala de E₆ tem continuidade a partir de argumentos apresentados por este estudante com a finalidade de persuadir E₅ quanto à explicação do fenômeno em estudo. Nesta argumentação, na passagem “... e quando bater ...”, a contrapalavra “bater” evidencia o caráter corpuscular atribuído ao fóton, uma vez que a interação deste com o espelho se resume a uma colisão.

Quando o estudante E₄, o qual comanda o *software*, seleciona a opção para emitir fótons, a interação discursiva recomeça com um momento de aparente surpresa.

E₄: Como assim? Tá aparecendo pontos, e nos dois anteparos.

E₅: Viu só, foi como eu disse. Aparece a mesma figura.

E₄: Como pode ser igual às ondas? Eu pensei que não iria aparecer nada?

E₆: Os fótons se propagam como as ondas então?

E₄: Não sei, mas eles não se dividem pelo meio mesmo. Tem mais fótons num anteparo do que no outro.

As falas dos estudantes enfatizam o primeiro conflito entre a concepção da luz como onda e sua detecção pontual nos anteparos. A intensa disputa do cenário anterior em busca de uma liderança, baseada em discursos de autoridade, é substituída agora pela visível contradição em que se encontram os estudantes E₄ e E₆. O período de conflito e contradição vivenciado por esses estudantes, bem como a disputa por quais signos serão aceitos são características da aprendizagem proporcionada por processos onde há interação social. Há o intercâmbio de signos entre os sujeitos e, dessa forma, estes se desenvolvem cognitivamente.

A ideia de dividir o laser sobre as fendas para justificar a divisão do fóton nos divisores de feixe evidencia a busca de apoio na óptica ondulatória clássica para explicar os fenômenos observados. Esta sequência de enunciados revela uma disputa pela liderança entre E₄ e E₅. Na primeira sequência, enquanto faziam suas previsões, E₄ usa argumentos científicos para persuadir os demais colegas, apelando para propriedades associadas às partículas elementares (partículas indivisíveis). Quando selecionam a emissão de fótons, o estudante E₅ procura assumir a liderança na discussão e, mesmo não apresentando argumentos convincentes, o silêncio dos demais colegas revela que sua posição foi, pelo menos em parte, aceita. Além disso, o silêncio demonstra o quanto grande foi o conflito cognitivo vivido por E₄ e E₆. Embora a explicação de E₅, segundo a qual “... os fótons vão se dividir no meio ...” esteja incorreta do ponto de vista da ciência, o discurso deste estudante ainda é de autoridade.

Em relação à disputa pela liderança nestes enunciados, segundo Lima Junior *et al.* (2010, p. 4), percebe-se que, algumas vezes, um aluno pode conduzir as ações verbais e não-verbais dos colegas, revestindo-se de certa autoridade e ocupando, de forma temporária, um papel semelhante ao do professor no que se refere à sua liderança e autoridade frente aos alunos. O discurso do professor está impregnado por sua autoridade e isto é determinante para a condução das interações discursivas. Logo, tomar posse desta autoridade, na visão de um estudante, é um diferencial para que sua liderança se consolide frente ao grupo e à situação apresentada.

A estilística e as características composicionais dos enunciados, bem como os objetivos que têm os estudantes nos permitem caracterizar o gênero discursivo empregado como primário, uma vez que são utilizados termos do cotidiano e a fala ocorre de forma espontânea. Em diversos momentos, conforme os enunciados já destacados, os estudantes mostram-se influenciados pelo gênero de discurso de livros científicos ou pelo discurso do professor.

Cenário 3: O caminho percorrido pelos fótons

A tentativa de inferir o caminho percorrido pelo fóton foi abordada através da inserção de detectores nos braços do interferômetro, conforme a figura 3.

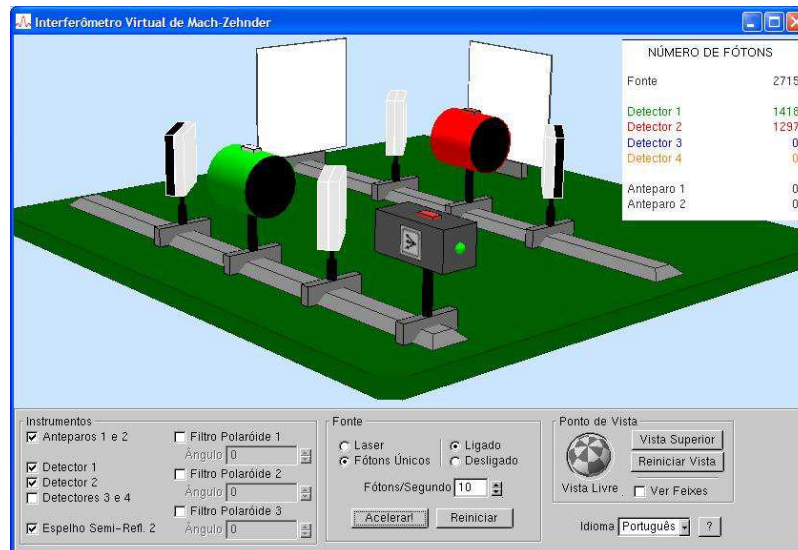


Figura 3 - Inserção de detectores para inferir o caminho seguido pelo fóton.

E₄: O fóton passa pelo caminho 1 porque este detector (detector 1) tá marcando.

E₅: O fóton segue o caminho 2. Olha o detector.

E₄: É mesmo. Passa no caminho 1 e no 2 também.

E₆: Verdade, mas passa em um caminho de cada vez.

E₅: Tu estava certo mesmo. Se o fóton se dividisse teria que aparecer nos dois detectores ao mesmo tempo.

E₄: É, mas ainda não dá pra dizer muita coisa porque tem mais em um lado do que no outro.

E₅: Como os fótons aparecem no anteparo 1, se nesse caminho tem um detector?

Nesta sequência de enunciados é possível verificar que o estudante E₄, embora ainda esteja inseguro em relação às suas considerações, passa a atrair a atenção dos demais colegas, uma vez que sua explicação foi, parcialmente, confirmada.

Percebe-se que estes enunciados expressam, mais uma vez, o caráter interativo da comunicação entre os estudantes, o que é evidenciado pela forma com que procuram construir significados e pela entonação das palavras empregadas nestes enunciados. Diferentemente do cenário 2, os enunciados aqui formulados não visam constituir liderança na interação verbal e sim a construção coletiva.

O primeiro enunciado de E₄ apresenta duas vozes distintas. Inicialmente, quando enuncia “O fóton passa pelo caminho 1”, atribui uma trajetória bem definida para o fóton, tal qual um corpo é descrito em um problema de Mecânica. Neste caso, a voz é da Física Clássica. A continuação deste enunciado traz a voz do próprio estudante, baseada na visualização das detecções no interferômetro. Na segunda intervenção do estudante E₄, este

reformula seu enunciado anterior recorrendo à interanimação de vozes. Seu enunciado anterior e o enunciado do estudante E₅ requerem um enunciado que tenha maior poder explicativo em relação ao fenômeno observado.

Frente ao cenário apresentado, onde através dos enunciados dos estudantes percebe-se uma insatisfação com seus próprios argumentos e a dificuldade em conciliar detecções pontuais com um fenômeno ondulatório, faz-se necessária a intervenção do professor como parceiro mais capaz. O enunciado “Como os fótons aparecem no anteparo 1, se nesse caminho tem um detector?” e o silêncio dos estudantes frente a impossibilidade de dar uma explicação satisfatória para o fenômeno observado representa um conflito cognitivo insolúvel sem tal intervenção. A negociação/construção de significados com o auxílio do professor ocorre no sentido de expandir a zona de desenvolvimento potencial dos estudantes, permitindo-lhes resolver problemas antes insolúveis. Neste processo de mediação e negociação de significados coube ao professor organizar as discussões e conduzir os alunos à construção de um modelo para a dualidade onda-partícula.

Cenário 4: entrevista com os estudantes após a utilização do *software*

Na entrevista, após a simulação do fenômeno da interferência, solicitamos aos estudantes que fizessem alguns comentários a respeito da interação com o *software*. Alguns trechos relevantes estão descritos:

E₁: É muito bom trabalhar com este *software*. Não é difícil de manipular. É intuitivo sobre o que você tem que fazer.

E₂: Eu gostei do *software*, pois ajuda a compreender a dualidade.

E₄: Este *software* me ajudou muito. Eu já li sobre a dualidade onda-partícula, mas não tinha compreendido. Agora eu pude entender o comportamento dos fótons usando a simulação.

E₆: No começo eu pensei que eu iria ver o fóton. Ao trabalhar com o *software* eu errei tudo e não conseguia entender o comportamento dos fótons no interferômetro.

Os enunciados de E₁ e E₂ se restringiram à manipulação do *software* atribuindo-lhe a facilidade de manipulação e a capacidade para auxiliar na compreensão da dualidade onda-partícula. Salientamos que o *software* não é único elemento diferencial nesta abordagem da dualidade onda-partícula. As atividades exploratórias foram elaboradas tendo como base teórica os principais conceitos do sociointeracionismo e a partir das interações discursivas é que ocorreu a construção de um modelo para a dualidade. O *software* foi o elemento que desencadeou todos os momentos de intercâmbio de signos.

Os estudantes E₄ e E₆ procuraram relacionar a manipulação do *software* às suas expectativas e dificuldades durante as atividades propostas. A forma com que E₄ participa das discussões, buscando a liderança ao utilizar um gênero discursivo permeado por termos científicos e um discurso de autoridade, podem ser explicados pelo fato de já conhecer, pelo menos parcialmente, o fenômeno estudado. No enunciado deste estudante, ao pronunciar “já li sobre a dualidade onda-partícula” detectamos, de forma retrospectiva, a voz da ciência em alguns de seus enunciados anteriores, como em “O fóton não se divide”.

O estudante E₆ alega ter sentido dificuldades em descrever o comportamento do fóton e, pelos enunciados que formulou, podemos atribuir tais dificuldades à forma com que concebe o fóton. Alguns de seus enunciados trazem os seguintes trechos: “...pensei que eu iria ver o fóton ...” e “passa em um caminho de cada vez”. Analisando estas falas percebemos, claramente, a tentativa de atribuir ao fóton características comuns às partículas materiais que descrevemos na Física Clássica.

Considerações finais

A partir de nossa prática pedagógica e vivências em sala de aula, tanto antes desta pesquisa quanto durante a mesma, percebemos que a abordagem de conteúdos de Física na educação profissional encontra, muitas vezes, barreiras que são criadas durante o ensino médio, por exemplo, os conceitos alternativos (amplamente investigados na pesquisa em ensino), as lacunas na formação e também a repulsa pelo estudo de assuntos relacionados à Física. Dessa forma, a abordagem que nos propusemos a fazer assume grande importância por ser encarregada de fornecer subsídios para que a Física possa ser finalmente compreendida e por trazer novos conhecimentos até os alunos, imprescindíveis à sua formação.

A análise que fizemos do discurso dos estudantes nos leva a concluir que as atividades propostas por meio de trabalho colaborativo mediado pelo IVMZ são promissoras em promover uma melhor compreensão da dualidade onda-partícula e que a analogia com a óptica ondulatória clássica, apesar de algumas limitações, pode ajudar neste processo. A construção, pelos alunos, de um modelo para o comportamento dual da luz, como seria de esperar, é demorado e enfrenta muitos obstáculos devido ao seu caráter altamente contra-intuitivo. Isto pode ser visto pelos enunciados que destacamos e analisamos no decorrer do texto.

Considerando o referencial bakhtiniano, a análise do discurso evidencia as potencialidades tanto do *software* quanto da forma de abordagem desenvolvida para o estudo da dualidade onda-partícula, seja em nível de graduação como descrito por Pereira (2009) ou em cursos da educação profissional, onde estes ainda não haviam sido testados.

Referências

- BAKHTIN, M. M. **Estética da criação verbal**. São Paulo: Martins Fontes, 1997.
- LIMA JUNIOR, P.; OSTERMANN, F.; REZENDE, F. Liderança e gênero em um debate acadêmico entre graduandos em Física. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 10, n. 1, 2010.
- MÜLLER, R.; WIESNER, H. Teaching quantum mechanics on an introductory level. *American Journal of Physics*, v. 70, n. 3, 200-209, 2002.
- OSTERMANN, F.; PRADO, S. D.; RICCI, T. S. F. Desenvolvimento de um software para o ensino de fundamentos de física quântica. *Física na Escola*, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 22-25, 2006.
- PEREIRA, A.; OSTERMANN, F. and CAVALCANTI, C. On the use of a virtual Mach-Zehnder interferometer in the teaching of quantum mechanics. *Physics Education*, v. 44, n. 3, 281-291, 2009.
- PESSOA JUNIOR, O. *Conceitos de Física Quântica – volume 1*. São Paulo: Livraria da Física, 2006.
- PINTO, A. C.; ZANETIC, J. É possível levar a Física Quântica para o ensino médio? *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 16, n. 1, p. 7 – 34, 1999.
- SILVA NETO, J.; OSTERMANN, F.; PRADO, S. D. Formação de técnicos na área de Radiologia Médica: desenvolvimento de uma página na internet como recurso didático. *A Física na Escola*, v. 11, n. 1, p. 32-35, 2011.

SILVA NETO, J.; OSTERMANN, F.; PRADO, S. D. O tema da dualidade onda-partícula na educação profissional a partir da simulação do interferômetro de Mach-Zehnder. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 33, n. 1 (1401), 2011.

SILVEIRA, Z. S. *Educação Profissional no Brasil: da industrialização ao século XXI*. 2006. Disponível em: <<http://www.educacaopublica.rj.gov.br/biblioteca/educacao/0109.html>>. Acesso em: 19 jun. 2011.

TERRAZZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de Física na escola de 2º grau. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 9, n. 3, 1992.

VYGOTSKY, L. S. *A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores*. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

WERTSCH, J. V. *Voces de la mente: un enfoque sociocultural para el estudio de la acción mediada*. Madrid: Visor Distribuciones, 1993. 185 p.