

**ABORDAGEM DE TÓPICOS DE MECÂNICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO  
PARTINDO DA APROXIMAÇÃO COM O COTIDIANO***Addressing quantum mechanics topics in high school from the approach to daily life***Marivane de Oliveira Biazus** [marivanebiazus@gmail.com]**Cleci T. Werner da Rosa** [cwerner@upf.br]*Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática**Universidade de Passo Fundo, Curso de Física**BR285 – Bairro São José - CEP: 99052-900**Passo Fundo – RS***Resumo**

O estudo refere-se a uma investigação sobre a inserção da Física Quântica no ensino médio, cujo objetivo foi desenvolver uma sequência didática para a abordagem de tópicos de Física Moderna e Contemporânea nesse nível de ensino, recorrendo a diferentes ferramentas didáticas e avaliando sua pertinência. Como suporte teórico, adotou-se a teoria sociointeracionista de Vygotsky para estruturar a sequência didática e nortear sua implementação em sala de aula. A sequência didática foi estruturada em vinte encontros, nos quais a Mecânica Quântica foi abordada, utilizando-se vídeos, documentários, simuladores, atividades experimentais, entre outras ferramentas didáticas. A coleta de dados ocorreu mediante o uso do diário de bordo, e os resultados foram discutidos com base na análise da interação aluno-professor, aluno-aluno e aluno-material.

**Palavras-chave:** Física Quântica. Interação social. Ensino médio.

**Abstract**

The study is an investigation on the introduction of Quantum Physics in high school, aiming to develop a didactic sequence for addressing topics of Modern and Contemporary Physics in this school level using different didactic tools and assessing their relevance. Vygotsky's social interactionist theory was used as theoretical support to structure the didactic sequence and guide its application in the classroom. The didactic sequence was structured over twenty meetings, in which Quantum Mechanics was addressed through videos, documentaries, simulators, experimental activities, among other didactic tools. Data was collected upon the use of a logbook, and the results were discussed based on the analysis of student-teacher, student-student, and student-material interactions.

**Keywords:** Quantum Physics. Social interaction. High school.

**Introdução**

Pode-se datar o início do século XX como o marco inaugural da Física Moderna e Contemporânea (FMC), que provocou uma revolução no pensamento científico, oportunizando e impulsionando o desenvolvimento da tecnologia usufruída atualmente. A partir de então, e especialmente nas últimas décadas, pesquisadores, professores e mesmo os documentos oficiais vêm discutindo a sua constituição como conteúdo curricular e a sua inserção na educação básica (TERRAZZAN, 1994; SILVA; KAWAMURA, 2001; OSTERMANN e MOREIRA, 2004; MACHADO e NARDI, 2006; CHAVES, 2010; FERREIRA, 2013).

A inserção desse tópico da Física na escola apresenta, dentre outros objetivos, o de despertar o interesse do aluno para o desenvolvimento tecnológico presente em seu cotidiano, por

meio de conhecimentos que são fruto das pesquisas atuais, permitindo-lhe avaliar conscientemente os impactos das novas tecnologias sobre a sociedade. A essa finalidade soma-se a de oferecer ao estudante condições de criar novas possibilidades científicas e tecnológicas, para que haja uma futura inovação, proporcionando uma melhor qualidade de vida para a sociedade como um todo.

De acordo com Ostermann e Ricci (2002), os sistemas escolares de vários países desenvolvidos, atentos a esses objetivos, já contemplam a FMC em seus currículos e, há algum tempo, vêm desenvolvendo materiais didático-pedagógicos para abordá-la. No Brasil, por sua vez, os Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 1999) e as Orientações Curriculares Nacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (BRASIL, 2002) destacam que o currículo deve proporcionar ao aluno a compreensão e o domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna, adquirindo competências para lidar com as situações que vivencia ou pode vir a vivenciar. Entretanto, não se percebe uma efetiva presença desses tópicos no contexto educacional, ainda que, em tempos de contextualização e de aproximação da escola com a vida dos estudantes, seja praticamente impossível pensar o ensino de Física sem conteúdos relacionados à FMC.

Contudo, as pesquisas realizadas por Oliveira et al. (2007), Machado e Nardi (2003), Silva e Almeida (2011), entre outros, apontam uma série de obstáculos que podem estar barrando essa inserção no ensino médio. Desses estudos, destaca-se a falta de preparo dos professores, que muitas vezes preferem se manter distantes desses conteúdos; a linguagem utilizada nos materiais disponíveis, que nem sempre contribui para facilitar o entendimento dos conceitos; a falta de tempo e de condições para que os professores realizem a seleção dos assuntos a serem abordados; a necessidade de novas metodologias que facilitem a transição do pensamento de uma Física mais visível e quantificável para uma mais abstrata e probabilística; a dificuldade de contemplar outros conteúdos em um currículo que já apresenta uma infinidade de tópicos – somente para citar alguns desses fatores.

Em razão de todos esses entraves, o que se observa nas escolas ainda é um ensino fortemente pautado nos conteúdos de Física Clássica, apresentado de forma fragmentada e centrado na resolução de exercícios, muitas vezes distantes da experiência vivencial do aluno, levando a que as questões apresentadas mantenham-se no centro das discussões promovidas por professores e pesquisadores. Tais reflexões, pautadas no desejo de proporcionar um ensino de Física sintonizado com o mundo vivencial e essencialmente tecnológico que circunda o dia a dia dos estudantes, definem o questionamento principal deste estudo. Nele, busca-se averiguar as potencialidades que uma proposta didática tem para o seu envolvimento com a FMC quando centrada na aproximação com o cotidiano dos estudantes.

Diante do exposto, define-se como o objetivo do estudo avaliar a pertinência de uma sequência didática apoiada em diferentes ferramentas e elaborada para a abordagem de tópicos de Mecânica Quântica no ensino médio. Elege-se, para fins de refinamento da investigação, o processo de interação social como norteador da proposta e indicativo da potencialidade da sequência didática para a aprendizagem em Física. Tal embasamento encontra-se apoiado na perspectiva de que a interação social constitui ações partilhadas, em que os sujeitos aprendem imitando, concordando, fazendo oposição, estabelecendo analogias, internalizando símbolos e significados, tudo isso num ambiente social e histórico, construindo, assim, o conhecimento de forma conjunta. Segundo Vygotsky (1999a), é na interação entre as pessoas que em primeiro lugar se constrói o conhecimento, o qual depois será intrapessoal, ou seja, será partilhado pelo grupo junto ao qual tal conhecimento foi conquistado ou construído.

Nesse sentido, o estudo apoia-se na perspectiva de Vygotsky como suporte teórico, inclusive para a estruturação da sequência didática. Em termos de metodologia de pesquisa, a

investigação pode ser classificada como do tipo qualitativa, na qual, de acordo com Triviños (1994), trabalham-se os dados de forma a buscar seu significado, tendo como base a percepção do fenômeno dentro do seu contexto. Para tanto, o estudo operacionaliza-se mediante o uso do diário de bordo como instrumento para coleta de dados, seguindo o proposto por Zabalza (2004).

### **Teoria sociointeracionista de Vygotsky**

Diversas são as possibilidades teóricas de se proceder à organização didática para abordar a FMC no ensino médio, estando a escolha relacionada tanto às propostas educacionais vigentes em documentos oficiais ou escolares quanto às convicções dos docentes. Dentre essas possibilidades, está a sociointeracionista, que servirá de suporte teórico para o planejamento das aulas e para a análise da sua pertinência.

Inicialmente, é preciso registrar que se entende a escola não como espaço exclusivo para a apropriação de conhecimentos, mas como um lugar destinado à formação de cidadãos. A conjectura desse ambiente, portanto, precisa considerar que os sujeitos nele presentes buscam mais do que informações; buscam compreensão de mundo e do mundo em que se encontram. Nessa perspectiva, a interação entre esses sujeitos torna-se a essência e a possibilidade de conhecimento em seu mais amplo significado. Conhecer a si, ao outro e com o outro se mostra fundamental para aqueles que procuram na escola uma possibilidade de evolução de seu pensamento.

A interação é, enquanto possibilidade de desenvolvimento cognitivo, a base da teoria de Lev Semenovich Vygotsky, cuja obra se dedica a evidenciar que essa interação ocorre por meio de relações estabelecidas com o contexto social, histórico e cultural no qual o sujeito está imerso. Tendo como pano de fundo o marxismo, o seu trabalho compreende o desenvolvimento de uma teoria sobre funções psicológicas superiores, a qual defende que a linguagem e o pensamento estão fortemente conectados.

Para Vygotsky (1999a), o ser humano é criado histórica e socialmente, e suas relações com a natureza e com os outros homens no nível da consciência são espontâneas apenas quando ele não tem consciência sobre aquilo que está fazendo. No entanto, à medida que toma consciência da consciência que possui, mais e mais ele abstrai sobre seus atos e sobre o meio. Com isso, seus atos deixam de ser espontâneos, para se tornarem sociais e históricos, envolvendo a sua psique.

O pensamento psíquico do ser humano, aqui centrado nos seus processos mentais superiores (pensamento, linguagem, comportamento associado à conduta), tem origem em processos sociais, cujo desenvolvimento é mediado pelo uso de instrumentos e signos. Esses, por sua vez, são construídos social, histórica e culturalmente no meio em que o sujeito está inserido. Em outras palavras, os processos mentais superiores estão baseados na imersão social do homem, que é um ser histórico, ontológico e filogenético. Desse modo, o homem é herdeiro de toda a evolução filogenética, ou seja, da espécie, e também da cultura, e seu desenvolvimento ocorre de acordo com as características do meio social em que vive.

Com base nesse entendimento, Vygotsky introduz uma série de conceitos em sua teoria que são fundamentais para a compreensão de como o homem constrói seus conhecimentos. Um deles é o conceito de mediação, cujo entendimento parte da tese de que o acesso ao conhecimento, aos objetos não é direto, mas mediado por recortes processados pelos sistemas simbólicos que o sujeito possui. Os sistemas simbólicos de representação da realidade, fornecidos culturalmente, são internalizados pelos sujeitos, influenciando seus comportamentos, de modo que se pode afirmar serem as atividades externas funções interpessoais que se transformam em atividades internas, intrapsicológicas (VIGOTSKI, 1999a). Isso significa que “As funções psicológicas superiores,

baseadas na operação com sistemas simbólicos, são [...] construídas de fora para dentro do indivíduo” (OLIVEIRA, 1992, p. 27).

Portanto, para Vygotsky, é com a interiorização de instrumentos e sistemas de signos produzidos culturalmente que se dá o desenvolvimento cognitivo. A linguagem é um importante sistema simbólico para isso, pois permite o intercâmbio social, ou seja, a comunicação entre indivíduos e a generalização do pensamento, pois simplifica e cria categorias conceituais para os objetos, cujo significado é compartilhado pelos usuários dessa linguagem. Isso quer dizer que os conceitos são construções culturais, internalizadas pelos indivíduos ao longo do seu processo de desenvolvimento. Logo, para definir um conceito, é necessário estabelecer uma relação entre os elementos e suas características encontrados no mundo real, considerados relevantes por diversos grupos culturais. É o grupo cultural onde o indivíduo se desenvolve que vai lhe fornecer, pois, o universo de significados que ordena o real em conceitos, nomeados por palavras da língua desse grupo.

Baseado nessas concepções, Vygotsky (1999b) focaliza o seu interesse no processo de formação de conceitos, que, para ele, é uma extensão do processo de internalização, caracterizando-se pelo confronto entre o conhecimento espontâneo e o científico. Embora possam parecer conflitantes, o conhecimento espontâneo e o científico apenas pertencem a níveis diferentes de desenvolvimento da criança, pois, enquanto criança, o indivíduo entra, de fato, em conflito com os conhecimentos cotidianos e os discutidos na escola. Porém, à medida que ele se desenvolve, tais divergências deixam de existir, dando lugar a um relacionamento mais abrangente, no qual se torna importante a busca pela proximidade entre esses tipos de conhecimento (ROSA, 2001).

A relação entre aprendizagem e desenvolvimento cognitivo em Vygotsky considera que o aprendizado começa muito antes de a criança frequentar a escola, servindo, desse modo, como um aprendizado prévio. Na escola, o aprendizado estará voltado para a assimilação de fundamentos do conhecimento científico, produzindo “algo novo” do desenvolvimento da criança, além da pura sistematização. Esse “algo novo” está associado à zona de desenvolvimento proximal, outro conceito importante na teoria do autor.

No entender de Vygotsky, há dois níveis de desenvolvimento nos sujeitos. O primeiro, denominado de “nível de desenvolvimento real”, é o resultante de ciclos de desenvolvimento já completados (por exemplo, a idade mental de uma criança medida num teste), ou seja, aquilo que a criança consegue fazer por si mesma. O segundo nível, denominado de “nível de desenvolvimento proximal”, representa as funções que estão em processo de maturação, o estado dinâmico de desenvolvimento. Nesse nível, a criança necessita de orientação de adultos em colaboração com companheiros mais capazes para a solução do problema, até que consiga realizá-lo sozinho. Assim, na expressão de Vygotsky, “aquilo que é zona de desenvolvimento proximal hoje será o nível de desenvolvimento real amanhã – ou seja, aquilo que uma criança pode fazer com assistência hoje, ela será capaz de fazer sozinha amanhã” (1999a, p. 98).

Em termos escolares, o autor enfatiza, nessa ideia, que a aprendizagem é o produto da ação dos adultos que fazem a mediação no processo de aprendizagem das crianças, sendo um aspecto necessário e fundamental no decorrer do desenvolvimento. Este é entendido, nessa perspectiva, como o resultado da convivência no meio social e da aprendizagem pelo processo de socialização, principalmente aquela sistematizada no ambiente escolar.

Para Vygotsky, as potencialidades do indivíduo devem ser levadas em conta durante o processo de ensino-aprendizagem, porque, no contato com uma pessoa mais experiente e com o quadro histórico-cultural, suas potencialidades são transformadas em situações capazes de ativar nele esquemas processuais cognitivos ou comportamentais. Nesse sentido, a escola exerce um papel

essencial, devendo ter como ponto de partida o nível de desenvolvimento real da criança e, como ponto de chegada, o alcance do seu potencial.

Dessa forma, pode-se concluir que, para Vygotsky, o aprendizado progride mais rapidamente do que o desenvolvimento, por isso a proposta de que a escola precisa atuar na zona de desenvolvimento proximal. É aí que o professor, agente mediador, utilizando-se da linguagem, do material cultural, dentre outros recursos, intervém e auxilia para a construção e reelaboração do conhecimento do aluno, para que haja seu desenvolvimento.

Em uma aproximação com o ensino de Física, objeto da presente investigação, pode-se mencionar que a perspectiva vygotskyana tem subsidiado estudos e propostas didáticas, revelando perspectivas e desafios, principalmente por se mostrar alinhada com a formação de um aluno crítico e participativo na sociedade, conforme apregoam os PCNs (BRASIL, 1999). Acredita-se que a interação, a reflexão e o diálogo entre aluno e professor, durante a realização das atividades, podem promover e ampliar sentidos e significados dos conceitos abordados em aula, especialmente em Física. Diante disso, busca-se, na teoria sociointeracionista de Vygotsky, referencial para o desenvolvimento de estratégias de ensino para abordar a Mecânica Quântica no ensino médio, o que se apresenta na continuidade.

### **Desenvolvimento e aplicação da sequência didática**

A sequência didática foi estruturada considerando três elementos básicos: a necessidade de aproximá-la das situações cotidianas dos alunos; a importância de favorecer a interação social; e a realidade encontrada na escola pública. Os dois primeiros já foram justificados no texto, contudo, o terceiro tem sua importância nas demandas e nas condições presentes na escola. Nesse sentido, ao pensar a proposta, tem-se em mente que ela deverá ser executada no período de um trimestre, ao longo do qual é destinada à disciplina de Física uma carga horária de dois períodos semanais. Essa é a realidade da maioria das escolas públicas do Rio Grande do Sul, inclusive da instituição em que a proposta foi aplicada.

A sequência didática foi elaborada buscando recorrer a uma diversidade de ferramentas e sem o intuito de elaborar algo novo, que não estivesse difundido na literatura especializada. Em outras palavras, a sequência se serviu de algo que já está ao alcance dos professores, apenas propondo inovações na organização e aplicação em sala de aula. Todos os materiais empregados nas aulas, inclusive os que ficaram à disposição dos alunos para pesquisa e estudos adicionais, estão disponíveis no *site* <<http://www.fisicamoderna.net/>>.

A aplicação da sequência didática ocorreu em vinte encontros, com dois períodos semanais, cada qual com 45 minutos de duração. O desenvolvimento dos encontros seguiu o cronograma das atividades letivas; inclusive, os tópicos abordados faziam parte do plano de trabalho da professora, que, cabe ressaltar, trata-se de uma das pesquisadoras. Destaca-se, nesse mesmo sentido, que houve, nos encontros, momentos inerentes ao cotidiano da sala de aula, como saída dos alunos para a merenda, interrupções para a transmissão de recados, a presença de anunciantes, etc., detalhes que são relatados por terem influenciado o andamento das atividades. Outro aspecto digno de nota diz respeito à comunicação de um grupo criado em uma rede social, estratégia que se revelou bastante válida, pois, além de possibilitar o contato permanente com os alunos, serviu para mantê-los motivados e divulgar os materiais utilizados nos encontros.

A elaboração das aulas na forma de sequência didática teve como referencial teórico a perspectiva sociointeracionista de Vygotsky, conforme já mencionado, e buscou valorizar o contexto social no aprendizado e a interação como possibilidade de trocas e construção do conhecimento. Com

base nessa perspectiva, os encontros foram estruturados de modo a envolverem, inicialmente, uma introdução do assunto, na forma de contextualização. Na continuidade, apresentaram-se a construção do problema e a formulação/discussão de hipóteses; a seguir, abordou-se o conteúdo da aula; e, ao final, como uma sistematização dessa abordagem, discutiu-se a aplicação de tal conhecimento. A seguir, passa-se a descrever os encontros, na forma de relato de aplicação, e na seção seguinte, são discutidos os resultados dessa aplicação em termos do seu favorecimento para a interação social.

O primeiro encontro foi destinado à apresentação da proposta e à introdução do tema, na forma de resgate dos conhecimentos prévios. Para tanto, foi apresentado um conjunto de imagens que os estudantes deveriam identificar, registrando comentários. As imagens estavam associadas a conteúdos já vistos em séries/anos anteriores, ou mesmo vinculados a situações cotidianas relacionadas ao tema em estudo. Para cada imagem, o aluno deveria escrever o que conhecia a respeito, qual sua aplicabilidade na vida cotidiana, onde o fenômeno/objeto poderia ser encontrado, algo relacionado que ouviu, ou, mesmo, a ausência de conhecimento. As imagens ilustravam uma caneta laser, um modelo atômico, a luz branca emitida por uma lâmpada, a formação do arco-íris, o físico Albert Einstein, um poste de iluminação pública com lâmpada, um sensor de presença com célula fotovoltaica, um smartphone, um painel solar e um controle remoto.

Como resultado desse primeiro momento, após recolher o material, foi aberta a oportunidade de debate e de troca de informações, dentro de uma perspectiva interacionista. Ou seja, os estudantes discutiram entre si e trocaram experiências de modo que cada um teve oportunidade de rever seu conhecimento e de ampliar esse conjunto de informações. Destaca-se que, nessa etapa, a inferência da professora/pesquisadora foi a menor possível, resguardando-se para o momento futuro.

No segundo encontro, a aula teve início com a recapitulação das imagens anteriores e, a partir delas, com a inferência de perguntas simples como: o que é um átomo? O que é a luz? Por que o arco-íris é formado por sete cores? Qual a relação de Einstein com esses conceitos? Como as lâmpadas da rua acendem ao anoitecer? Como funciona o smartphone? E o controle remoto da televisão? Nessa discussão, percebeu-se que a maioria dos alunos não demonstrava compreender o que era um átomo, ou entender o que o modelo apresentado significava. Após o debate, foram discutidas algumas ideias iniciais sobre a FMC e a sua relação com as imagens. Salientou-se a importância do desenvolvimento dessa área da Física, assim como a sua participação no desenvolvimento tecnológico e na produção de objetos bastante comuns no dia a dia das pessoas.

No terceiro encontro, como introdução, foram apresentados alguns dispositivos utilizados no cotidiano e que estão associados à Física Clássica. Partindo deles e das discussões da aula anterior, a problemática do encontro construiu-se em torno da relação entre a Física Clássica e a Física Moderna. Foram aventadas várias hipóteses sobre a distinção entre ambas e sobre as razões que levaram aos estudos que originaram a Física Moderna. Feitas essas discussões, passou-se a esquematizar no quadro as principais características e o objeto de estudo das duas áreas. Da mesma forma, foram elencados fatores que contribuíram para o surgimento da Física Moderna e, com ela, das tecnologias. Foram exploradas as questões referentes ao corpo negro e à natureza da luz, que levaram cientistas como Planck e Einstein a propor teorias que conduziram ao surgimento da Física Moderna. Enfatizou-se a importância dos conhecimentos acumulados pela humanidade, a participação de vários cientistas e a construção não linear das ciências. Como fechamento do encontro, foi exposto um conjunto de imagens de dispositivos cujo funcionamento baseia-se na Física Clássica e na Física Moderna, possibilitando aos estudantes aplicar seus conhecimentos advindos das discussões da aula.

O tema do quarto encontro foi modelos atômicos, e, como introdução, recorreu-se à imagem do átomo tradicionalmente exposto nas aulas de Ciências no ensino fundamental. O objetivo estava em questionar os alunos sobre a pertinência desse modelo e sobre como foi possível ao homem

construí-lo. Depois de um momento de discussão no grupo, passou-se a abordar, de forma cronológica, os modelos atômicos, destacando as principais características e a evolução de cada um. Enfatizou-se que o átomo é um modelo idealizado e que é possível que as conclusões feitas pelos cientistas estejam equivocadas e, inclusive, que o átomo seja muito diferente do modelo hoje utilizado. Salientou-se, também, que o modelo de Dalton não poderia ser maciço, assim como o de Thomson não poderia ser “um pudim de passas”. Além disso, explanou-se por que Rutherford não conseguiu dar estabilidade ao seu modelo. Mencionou-se, ainda, que cada modelo acrescentou elementos que culminaram no modelo de Bohr, o qual conseguiu estabelecer estabilidade ao átomo, explicando-o de maneira coerente.

Após as explicações, e para finalizar o encontro, foi proposto aos alunos que, em grupos de trabalho, elaborassem um paralelo entre os modelos e descrevessem as suas características comuns, bem como as mudanças propostas pelos cientistas. Na sequência, o modelo foi distribuído entre os estudantes, tendo cada grupo levado para casa o material do outro, a fim de realizarem uma avaliação.

O quinto encontro teve início com uma retomada dos modelos atômicos, especialmente em termos das contribuições dos grupos aos trabalhos de seus colegas. Ainda, como introdução da atividade, foi exibido o vídeo intitulado *Modelo padrão das partículas elementares*, que apresenta o início do universo, quando ainda existiam apenas uma força universal e um tipo de partícula elementar. O documentário mostra, além disso, que a gravidade e a força nuclear se separaram com o passar do tempo, provocando uma inflação, e que o universo se expandiu desde o tamanho do átomo até um tamanho indescritível, levando à separação da Força Fraca e do Eletromagnetismo, com a conseqüente formação das quatro forças fundamentais. Os quarks, então, formaram os prótons e os nêutrons, que, por sua vez, passaram a formar os núcleos atômicos. O vídeo, com duração de aproximadamente 15 minutos, também aborda os bósons mediadores e o modelo padrão.

Ao término do vídeo, foi apresentada aos alunos a problemática da aula: o átomo é realmente a menor porção da matéria? Será que existem partículas menores que ele? Posto isso, na forma de hipóteses, os estudantes foram instigados a discutir o assunto. Num primeiro momento, todos admitiram não terem compreendido os termos citados no vídeo, tendo-o considerado difícil. A seguir, foi perguntado o que mais chamou atenção no vídeo e quais foram os termos incompreensíveis. As respostas foram anotadas no quadro, dentre as quais, destacam-se: a teoria do Big Bang e o surgimento do universo; as forças fundamentais do universo – força gravitacional, força forte, força fraca e eletromagnetismo; partículas elementares – quarks, léptons; bósons mediadores.

Depois desse levantamento, foi entregue aos alunos um texto sobre o Modelo Padrão das Partículas, para que, em pequenos grupos de trabalho, discutissem o assunto. Feito isso, cada grupo apresentou aos colegas a sua compreensão. Dadas a interatividade entre os grupos e a polêmica das discussões estabelecidas, a conclusão da atividade foi postergada para a aula seguinte. Diante disso, para o sexto encontro, foi solicitado que cada aluno providenciasse aplicações contextualizadas dos conceitos, ou mesmo leituras e vídeos que pudessem complementar as discussões.

O sexto encontro foi marcado pela continuidade do trabalho. Inicialmente, retomou-se o assunto, oportunizando que os alunos apresentassem oralmente os materiais complementares que haviam encontrado a respeito. Com base neles, foram retomadas algumas inferências feitas na aula anterior – as quais constituíam, ainda, uma hipótese sobre o tópico em estudo, que foi discutido pela professora por meio de uma explicação sobre o modelo padrão das partículas elementares. Nessa fala, enfatizou-se que o modelo padrão, na verdade, trata-se de uma teoria, considerada uma das mais eficientes pela comunidade científica sobre a natureza da matéria, e que partícula elementar é tudo aquilo que forma outras estruturas, ou seja, ela não possui uma estrutura menor. Na sequência,

esclareceu-se aos alunos que, atualmente, o átomo não é a menor porção da matéria como os gregos acreditavam.

Na continuidade, um novo questionamento foi introduzido para fomentar a discussão e ampliar as hipóteses mencionadas no início da aula. A questão posta foi: como os cientistas conseguiram descobrir a existência dessas partículas que constituem o átomo? Em uma analogia, foi descrita a cena na qual um telefone seria jogado na parede e se desmontaria em pedaços. Esses pedaços poderiam ser partículas elementares, pois a sua união formaria o telefone novamente. Isso é o que se permite observar, mas, ao se reduzir a escala, seria possível detectar que esses pedaços são formados por outros pedaços, cada vez menores, ou seja, por partículas muito menores. Para demonstrar como os cientistas puderam detectar partículas tão pequenas, foi exibido um trecho do filme *Anjos & Demônios*, em que são mostrados o grande colisor de Hádrons, em Genebra, na Suíça, e a produção de uma partícula denominada “Partícula de Deus”. Para complementar, foi exibido outro vídeo, *O grande colisor de Hádrons – LHC*, que mostra como funcionava o colisor e como eram detectadas as partículas. Para finalizar, abordou-se a descoberta recente do bóson de Higgs e os impactos produzidos por essa descoberta na compreensão da formação do universo.

Esse encontro se mostrou bastante produtivo, pois se observou que os alunos estavam atentos às explicações e participativos nas discussões. É interessante salientar que alguns estudantes já haviam assistido ao filme, do qual foi reproduzido um trecho específico, e inclusive alguns já haviam ouvido falar sobre o colisor de partículas.

O sétimo e oitavo encontros foram destinados à realização de exercícios sobre os conceitos abordados e a uma revisão para a avaliação. Para tanto, optou-se por utilizar o material disponibilizado no *site* e reunir os estudantes em pequenos grupos, com o objetivo de promover sua interação. Contudo, para que o trabalho em grupos seja favorecedor de aprendizagem, na perspectiva de Vygotsky, especialmente em termos de troca entre os mais e menos experientes, é necessário que o professor saiba organizar esses grupos. Desse modo, foi necessário identificar os níveis de desenvolvimento dos alunos, dispendo-os em grupos que os mesclassem. Nessa dinâmica, também foram respeitadas preferências pessoais dos alunos, pois a afetividade e os laços entre os colegas são, igualmente, mecanismos a se considerar em atividades dessa natureza.

O nono encontro foi destinado à realização da avaliação, que consistiu em nove questões dissertativas com consulta ao material e que compôs uma das notas referentes ao primeiro semestre. Essa avaliação, de acordo com a perspectiva de Vygotsky, necessita ser mais do que uma averiguação do que o aluno já sabe, do que uma constatação dos conhecimentos memorizados/aprendidos, devendo representar um instrumento que permite determinar o que o aluno está na iminência de fazer, ou seja, aquilo que, com ajuda do professor (ou de outro ser mais capaz), terá condições de fazer. Evidentemente que isso não é uma tarefa fácil, uma vez que tal situação é peculiar a cada indivíduo e, portanto, deveria ser realizada uma avaliação individualizada. Entretanto, a possibilidade de consulta ao material didático visou favorecer o diálogo e a interlocução com os registros, podendo se constituir em um mecanismo de auxílio à aprendizagem, especialmente para os que estão na iminência de se apropriar de tais conhecimentos.

O décimo encontro teve em seu momento inicial a discussão/correção da avaliação realizada na aula anterior. Na sequência, e como introdução ao tema, explanou-se aos alunos sobre situações presentes no cotidiano e que ilustram a presença da luz, com vistas a iniciar um debate em torno da sua natureza. Dessa forma, e como problemática inicial, foram apresentadas duas situações em que é possível avaliar o comportamento da luz de formas distintas: onda e partícula.

Utilizando-se *slides* como ferramenta, retomaram-se os conceitos de ondulatória e discutiu-se o espectro eletromagnético com ênfase na luz visível. A maioria dos conceitos trabalhados era de

conhecimento dos alunos, o que facilitou o diálogo e a interação. No momento seguinte, enfatizou-se que a luz é uma partícula, pois o efeito fotoelétrico, próximo assunto a ser abordado, somente poderia ser explicado se os alunos soubessem que a luz tem essa natureza. Também, foram mencionadas as contribuições de Max Planck e Einstein para o efeito fotoelétrico e as discussões em torno da natureza da luz. Essa parte do encontro foi marcada pelo diálogo, utilizando-se como recursos, além dos *slides*, outros materiais disponíveis no *site*. No encerramento da aula, e como modo de aplicar o conhecimento abordado, foram citadas situações cotidianas em que o efeito fotoelétrico está presente.

Na continuidade dos encontros, o décimo primeiro e décimo segundo foram destinados a apresentar aos alunos uma situação-problema, cuja solução passava pela relação entre a frequência da onda eletromagnética incidente e a função trabalho característico de cada material para a ocorrência do efeito fotoelétrico. Após discussões sobre as hipóteses aventadas pelos estudantes para solucionar esse problema, foram-lhes apresentada a expressão matemática para cálculo da frequência de corte e a energia de um elétron ejetado. Da mesma forma que o sétimo e o oitavo, esses dois encontros foram estruturados de modo que os alunos, em pequenos grupos de trabalho, pudessem discutir e realizar os exercícios. Ao final do décimo segundo encontro, foi oportunizado um momento para que eles próprios realizassem a correção dos exercícios no quadro. Percebeu-se que essa dinâmica representa uma oportunidade para discussões e construção de conhecimento interativo.

O décimo terceiro encontro destinou-se a estabelecer uma relação direta entre o efeito fotoelétrico, visto até o momento de forma teórica, e a vida cotidiana dos estudantes. Para tanto, foi estruturado de modo a apresentar, inicialmente, um simulador e, na continuidade, uma atividade experimental. Como elemento introdutório, foi utilizado o simulador Efeito Fotoelétrico, do *site Phet* <<https://phet.colorado.edu/en/simulation/photoelectric>>. Nesse simulador, utilizado coletivamente com recurso do projetor multimídia, foi possível visualizar o efeito fotoelétrico de maneira esquemática. Empregando-se o modelo atômico de Bohr, procurou-se explicar, no primeiro *slide*, de modo simples, como ocorre o efeito. No *slide* seguinte, foi mostrado o experimento realizado por Lenard, onde se observou, de forma experimental, o efeito fotoelétrico. O *slide* subsequente foi dedicado a explicar como ocorre o efeito fotoelétrico, e, na continuidade, foram abordadas algumas de suas aplicações no dia a dia, como fotocélulas, sensores de presença, portas com entrada automática, entre outras. Em uma dessas aplicações, enfatizou-se o acendimento e desligamento automático da iluminação pública. Os *slides* foram estruturados com base no material disponibilizado no *site*. De modo especial, foram exibidos os *slides* da apresentação “Efeito fotoelétrico”.

Após as discussões sobre o conteúdo mencionado, foi desenvolvida com os alunos uma atividade experimental, visando à aplicação dos conhecimentos construídos. A realização da atividade foi demonstrativa, pois havia apenas um exemplar do material necessário. Contudo, os alunos foram arranjados em círculos e puderam participar intensamente da atividade, inclusive em sua operacionalização. Na atividade, discutiram-se, inicialmente, o funcionamento de um *light dependent resistor* (LDR) – traduzido para o português, “resistor dependente da luz” –, dentro de um circuito eletrônico, e suas relações com o efeito fotoelétrico. O circuito demonstrado consiste nos seguintes materiais: um *light emitter diode* (LED) – traduzido para o português, “diodo emissor de luz” – vermelho, um resistor de 480  $\Omega$ , um LDR e uma bateria. Todos os elementos do circuito estão ligados em série. O LDR é construído com material semicondutor que tem a sua resistência elétrica diminuída quando na incidência da luz (normalmente em torno do espectro visível). A Figura 1 representa o circuito utilizado.

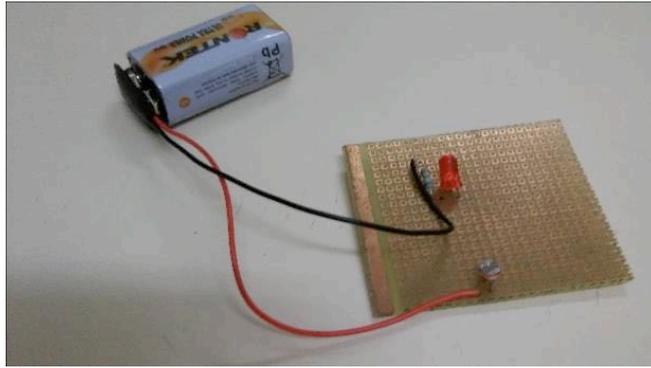


Figura 1 - Circuito utilizado. Fonte: As autoras.

Como forma de contextualização dos conhecimentos discutidos, especialmente do circuito mostrado, foi apresentada aos alunos uma luminária de jardim, daquelas que emitem luz à noite. Na luminária, há uma placa solar que produz energia pelo efeito fotovoltaico, além de um LED branco, um transistor e uma bateria recarregável. Durante o dia, a placa solar captura a luz do sol, e a tensão elétrica produzida pela placa recarrega a bateria com energia elétrica. À noite, a tensão elétrica da placa é muito mais baixa do que a tensão da bateria, e esta passa a fornecer energia ao LED, provocando o seu acendimento.

Durante a explanação e a realização da atividade experimental, salientou-se aos alunos que, embora os materiais e as formas de fabricação do LDR, da placa fotovoltaica e do LED sejam parecidos, e ainda que os efeitos produzidos estejam relacionados com fótons, trata-se de componentes eletrônicos distintos. O LDR pode ser feito com material semicondutor levemente dopado e somente é capaz de fazer variar a corrente elétrica, não podendo produzir energia. Como é um resistor, consome energia elétrica, e seu princípio de ação (variação da resistência elétrica) depende dos fótons incidentes. A placa fotovoltaica, embora também dependa dos fótons incidentes sobre ela, gera energia elétrica. O LED, quando recebe um campo elétrico (produzido por uma tensão elétrica), emite fótons no espectro visível (e proximidades), mas não produz energia, somente a consome. Por fim, destaca-se que o encontro foi marcado pela participação dos alunos, com seus questionamentos e colocações acerca dos assuntos apresentados. O uso de painéis solares como forma de energia foi um tema bastante comentado pelos estudantes durante o encontro, revelando um de seus focos de interesse.

No décimo quarto encontro, os alunos foram levados ao laboratório de informática, onde acessaram uma atividade disponibilizada no *site*, na página de simulações. A simulação virtual selecionada para o estudo foi a do efeito fotoelétrico, cabendo salientar que ela integra o material disponibilizado gratuitamente pelo PhET, de propriedade da Universidade do Colorado, nos Estados Unidos. O simulador apresenta uma fonte de luz que emite os fótons, conforme o comprimento de onda escolhido e a intensidade de luz emitida pela fonte que está sobre a placa negativa. Se a luz emitir uma quantidade de energia suficiente para arrancar o elétron (frequência de corte), os elétrons arrancados serão atraídos pela placa positiva e uma corrente será gerada. Essa corrente pode ser vista através de um amperímetro. O simulador permite que se faça a escolha do material, da intensidade e do comprimento de onda. Desse modo, pode-se observar se o efeito ocorre ou não quando se altera o material, a intensidade ou o comprimento de onda.

Para essa atividade, foi estruturado um roteiro-guia contendo questões que deveriam ser respondidas pelos alunos. Estes, organizados em duplas, realizaram a simulação indicada no roteiro-guia e procederam aos registros em papel. Além disso, solicitou-se que os estudantes fizessem anotações sobre os resultados obtidos, como, por exemplo, com quais cores do espectro da luz visível ocorreu o efeito fotoelétrico, o que mudou quando foram alteradas as intensidades da luz

emitida e o número de elétrons arrancados em cada cor. Apesar de alguns contratempos, como o fato de o simulador não ter rodado em alguns computadores, a atividade foi proveitosa e interessante aos alunos, pois se mostraram motivados e participativos. O objetivo da proposta era criar a relação entre a frequência da luz emitida, o seu comprimento de onda, a sua intensidade e a ocorrência ou não do efeito fotoelétrico.

Na parte inicial do décimo quinto encontro, foi realizado um fechamento do trabalho anterior. Para tanto, solicitou-se aos alunos que apresentassem suas tabelas e discutissem a atividade. Com base nos dados obtidos e sintetizados na tabela, surgiram, por parte dos estudantes, algumas conclusões, assim expressas: o efeito fotoelétrico não ocorreu com a luz vermelha, pois, dentre a verde e a violeta, é a cor que apresenta a menor frequência e o maior comprimento de onda; a cor violeta, ao contrário da vermelha, provocou o efeito fotoelétrico e foi a que mais ejetou elétrons, apresentando essa cor a maior frequência em relação às cores vermelha e verde e o menor comprimento de onda; com a cor verde, ocorreu o efeito fotoelétrico, independentemente de a intensidade do feixe ser de 100% ou 50%, e o número de elétrons ejetados foi menor do que na cor violeta.

Com essas conclusões, foi introduzida a relação entre a frequência da onda eletromagnética incidente e a natureza do material para a ocorrência do efeito fotoelétrico. Enfatizou-se que a sua ocorrência depende de uma energia mínima, representada pela frequência de corte, para que elétrons sejam ejetados de um material. A frequência de corte é a razão entre a função trabalho (energia com que os elétrons estão ligados no material) e a constante de Planck. Foi apresentada a fórmula matemática que representa a frequência de corte, bem como a fórmula que permite determinar a energia de um fóton necessária para arrancar elétrons do material na forma de trabalho e transformá-la em energia cinética.

Como fechamento da atividade, foram retomadas as indagações apresentadas no momento anterior à sua realização, abordando-se, ainda, exemplos de aplicação. Verificou-se, novamente, envolvimento da turma; todavia, um grupo expressivo de alunos manifestou dificuldade na compreensão da relação entre a frequência da onda eletromagnética incidente e a natureza do material, especialmente em termos matemáticos. Essa observação serviu de subsídio para as próximas atividades.

No décimo sexto encontro, após uma breve interrupção da direção da escola, foi retomado o assunto da aula anterior, revisando-se aspectos sobre os quais os estudantes apresentaram dificuldades. Salienta-se que muitas dessas dificuldades diziam respeito à parte matemática, à operação com número, especialmente com potências de dez. Durante a realização dos exercícios, observou-se que alguns alunos conseguiram compreender os cálculos, enquanto outros demonstraram dificuldade.

O décimo sétimo e o décimo oitavo encontros foram destinados à correção das questões propostas na última aula, à revisão do conteúdo e à realização da segunda avaliação. O procedimento adotado foi o mesmo descrito no sétimo, oitavo e nono encontros. Ressalta-se que a realização da avaliação foi exigência da escola, que apresenta uma estrutura trimestral composta por no mínimo duas avaliações, além de uma avaliação formativa e da autoavaliação do aluno. No décimo sétimo encontro, ocorreu a correção das atividades, e foi possível identificar os alunos que responderam às questões e conseguiram compreender, assim como os alunos que não o fizeram. Muitos questionamentos surgiram, e as principais dúvidas eram em relação às transformações de unidades e aos cálculos envolvendo potência.

O décimo nono encontro foi marcado, inicialmente, pela discussão sobre a avaliação e, na sequência, pela realização de uma atividade sobre o efeito fotoelétrico. Para isso, foi lançada a

pergunta segundo a qual eles deveriam formular suas hipóteses de trabalho: a onda eletromagnética emitida pela lâmpada de mercúrio e pela lâmpada de ultravioleta é capaz de provocar o efeito fotoelétrico em uma placa de alumínio? Com base nisso, foi proposta uma atividade experimental, novamente na modalidade demonstrativa, utilizando um conjunto de equipamentos didáticos cedidos pelo Laboratório de Física de uma universidade da cidade. Esse equipamento didático está ilustrado na Figura 2.

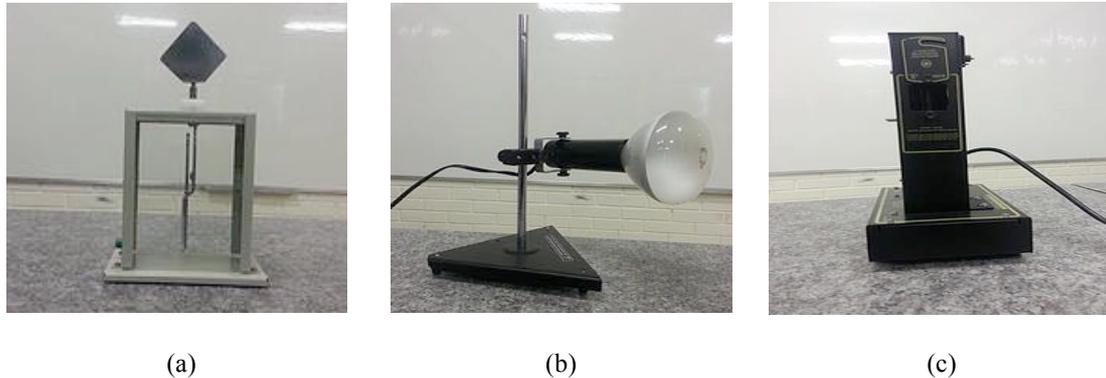


Figura 2 - Conjunto de equipamentos didáticos. Nota: (a) Aparato composto por uma placa de zinco ligada a uma haste fixa. Presa à haste fixa, há uma haste móvel. Tanto a haste fixa quanto a móvel estão dentro de uma caixa de vidro para evitar influências externas. (b) Lâmpada de vapor de sódio. (c) Lâmpada de vapor de mercúrio. Fonte: As autoras.

Nesse experimento, a placa de zinco e as hastes são eletrizadas com carga negativa. Ao serem eletrizadas, a haste móvel se afasta da haste fixa, denotando que há uma força de repulsão, pois ambas estão carregadas com cargas de mesmo sinal. As fontes de luz, lâmpada de vapor de sódio e de vapor de mercúrio, são colocadas próximas à placa de zinco para emitir a onda eletromagnética. Na primeira etapa do experimento, é utilizada a lâmpada de vapor de sódio, onde não é observado o efeito. Na segunda etapa, é utilizada a lâmpada de vapor de mercúrio, onde é possível notar que, com o passar do tempo, a haste móvel começa se aproximar da haste fixa, ou seja, o efeito fotoelétrico está acontecendo.

Após essa atividade, solicitou-se que os alunos se reunissem em pequenos grupos, de no máximo quatro integrantes, e respondessem aos seguintes questionamentos: por que o efeito só ocorreu com a lâmpada de vapor de mercúrio? Quais são as frequências e os comprimentos de ondas emitidos pela lâmpada de vapor de mercúrio e a lâmpada de vapor de sódio? Qual é a função trabalho do zinco? Utilizando relações matemáticas, determine a frequência de corte do alumínio e compare com as frequências que cada lâmpada emite.

Discutidos e respondidos os questionamentos, cada grupo apresentou a sua pesquisa e os cálculos realizados. Todos concluíram que, de fato, o efeito fotoelétrico aconteceu apenas com a lâmpada de mercúrio, pois a sua frequência é maior do que a frequência de corte do zinco, ou seja, a energia mínima para que elétrons sejam ejetados da placa. A atividade foi bastante produtiva e motivadora para os alunos, tendo chamado atenção o seu empenho em buscarem subsídios para a explicação dos resultados obtidos e o seu interesse no experimento demonstrado. A validade desse tipo de atividade experimental, em que o professor realiza de forma demonstrativa, contando com a colaboração e interação dos alunos, já foi enfatizada neste trabalho, mas é novamente digna de comentário.

Como atividade no vigésimo e último encontro, utilizaram-se as mesmas imagens do primeiro encontro, avaliando a ampliação dos conhecimentos pelos alunos após a execução da

sequência didática relatada. Nesse sentido, observou-se que os encontros proporcionaram uma ampliação conceitual e que os estudantes passaram a explicar as imagens com maior riqueza de informações. Como exemplo, menciona-se a imagem que trazia o acendimento automático da iluminação pública. No primeiro encontro, os alunos apenas descreveram a imagem, inclusive um dos estudantes relatou que o acendimento e o desligamento deveriam ser realizados por uma pessoa por meio de um painel de controle. No último encontro, o funcionamento da iluminação pública foi associado à presença de um sensor. A maioria dos estudantes ressaltou que o sensor se chama “LDR” e explicou satisfatoriamente como ocorre o acendimento e o desligamento da lâmpada.

## Contexto da pesquisa

A pesquisa desenvolvida no estudo caracteriza-se como de natureza qualitativa, recorrendo ao uso do diário de bordo como instrumento para coleta de dados. Esse, por sua vez, refere-se a um caderno que contém anotações acerca de perguntas e intervenções dos alunos quanto aos assuntos abordados, discussões entre os grupos, sentimentos expressados pelos alunos e pela pesquisadora sobre o desenvolvimento dos encontros e reflexões sobre a metodologia e as ferramentas utilizadas em cada encontro. De acordo com Zabalza (2004), esse instrumento é entendido como espaço destinado a registros, anotações e reflexões individuais sobre um determinado processo de aprendizagem. Quando utilizado como instrumento de coleta de dados, o foco passa a ser os conteúdos registrados e a relação entre os objetivos propostos para cada atividade e a avaliação final, tudo devidamente registrado no próprio diário.

A sequência didática elaborada para este estudo foi aplicada em uma turma diurna de terceiro ano em uma escola pública da rede estadual, no município de Passo Fundo, RS. Dessa forma, o público-alvo foi constituído pelos vinte alunos da turma, com idades entre 16 e 17 anos. A maioria dos estudantes provinha das proximidades da escola, com exceção de dois, vindos de outras escolas para cursar o terceiro ano.

## Resultados obtidos

Para a análise dos dados coletados com o uso do diário de bordo, foram estabelecidas categorias, de acordo com o proposto por Bardin (2004). Essas categorias foram definidas *a priori*, tendo como referência o que se deseja analisar na pesquisa ou seja, a interação aluno-aluno, aluno-professor e aluno-material.

### *a) Interação aluno-professor*

Na perspectiva sociointeracionista de Vygotsky (1999a), o professor é o agente mediador que, utilizando-se da linguagem, do material cultural, dentre outros recursos, intervém e auxilia na construção e reelaboração do conhecimento do aluno, para que seu desenvolvimento se torne possível. Desse modo, a interação, a reflexão e o diálogo entre aluno e professor, durante a realização das atividades, foram priorizados com o intuito de se promover e ampliar os sentidos e significados dos conceitos.

Para avaliar se essa interação, de fato, atuou no sentido de promover alterações nos conhecimentos dos alunos e se esse foi um agente estimulador para o aluno, buscaram-se indícios nos relatos do diário de bordo. No relato do segundo encontro, percebe-se o que segue:

Dois alunos comentaram como é difícil entender que o tempo passa diferente para duas pessoas. Um deles exemplificou descrevendo que ao olhar no relógio é possível ver que o tempo se passou. Um minuto para um e para o outro é o mesmo! O outro aluno, ouvindo o

comentário do primeiro, manifestou também ter dificuldades para entender isso, indagou como uma pessoa que ficou na Terra pode ficar mais velha que uma pessoa que viajou no tempo. Questionei os alunos se realmente um minuto no relógio para ele é o mesmo para outro colega. Outro aluno interferiu e colocou que, dependendo da atividade que está fazendo, parece que o tempo passa mais rápido. Brinquei com eles dizendo que quando estão no “whatsapp” o tempo passa e eles nem percebem, mas na aula de Física o tempo não passa nunca!

É importante ressaltar que nesse encontro foram trabalhados conceitos relacionados à viagem no tempo, ao teletransporte, ao surgimento do universo, entre outros assuntos comumente abordados em filmes de ficção científica. Esses assuntos geraram grande interesse entre os alunos, encaminhando o debate para a possibilidade de ocorrência de tais eventos, bem como para os grandes avanços que a ciência, em especial a Física, tem alcançado. Ainda nesse encontro, foi registrada, no diário de bordo, a excelente participação dos alunos na aula, situação distinta da vivenciada nas aulas de Física do ano anterior.

No décimo encontro, houve vários questionamentos e colocações dos alunos a respeito do assunto abordado. A professora destacou, no diário, que a todo o momento era necessário parar a explicação para dar conta das intervenções. Alguns questionamentos estão registrados no trecho transcrito a seguir:

Um dos alunos perguntou sobre a propagação do som no vácuo, mencionando que, se alguém estivesse lá e falasse, ninguém poderia ouvi-lo. Outro aluno indagou sobre a formação do arco-íris e se esse se formaria a qualquer hora. Um terceiro aluno perguntou sobre a velocidade da luz no vácuo, sobre como poderia ser medido seu valor. Outro aluno indagou sobre a possibilidade de ver as partículas da luz, se quando um raio passa por um lugar meio escuro, é possível ver elas? [sic]. [...]. Outro questionamento também feito nessa aula foi sobre o perigo para a saúde dos raios-x, especialmente sobre os usados pelos dentistas.

Diante do registro acima, é possível perceber que o nível de participação e de interesse dos alunos aumenta quando o tema se situa mais próximo de sua realidade, envolvendo situações sobre as quais, de alguma forma, já ouviram falar. Outro registro a ser destacado refere-se à fala de um dos alunos, na qual ele se dirige à professora e menciona que, graças ao diálogo estabelecido durante a aula, está gostando mais da Física.

Para Vygotsky, a interação tem um papel fundamental no desenvolvimento da mente. Partindo da interação entre diferentes sujeitos, se estabelecem processos de aprendizagem e, por consequência, o aprimoramento de suas estruturas mentais existentes. Nesse sentido, a interação em sala de aula é vista como um processo pelo qual todos os alunos têm a oportunidade de falar, levantar as suas hipóteses, trocar informações, confrontar ideias, internalizar símbolos e significados, tudo isso num ambiente social e historicamente localizado. O professor, nesse contexto, deve ser o articulador dos conhecimentos e levar a que todos se tornem parceiros de uma grande construção, mobilizando a classe para pensar conjuntamente, e não para esperar que uma única pessoa tenha todas as respostas para tudo.

Outro momento de interação social entre professor e aluno e, evidentemente, entre os próprios alunos ocorreu ao longo das atividades experimentais. O uso de atividades experimentais de demonstração no processo de construção dos conhecimentos, especialmente na perspectiva de Vygotsky, é relevante e desempenha um papel que ultrapassa o caráter motivacional, conforme defendem Gaspar e Monteiro (2005). Nas palavras dos autores, “Embora a motivação seja um aspecto importante pelo interesse que a demonstração experimental desperta nos alunos, [...] podemos afirmar que essa utilização proporciona uma melhoria no ensino e aprendizagem em sala de aula” (2005, p. 230).

Ainda na perspectiva de Gaspar e Monteiro, o entendimento da interação social como condição necessária à aprendizagem é relevante, mas não suficiente. Os autores seguem mencionando que, para Vygotsky, o que a criança é capaz de fazer hoje com colaboração, conseguirá fazer amanhã sozinha. Dessa forma, julgam que a colaboração é a participação do professor, mas que o essencial e passível de ser observado durante essa atividade é a interação social, avaliando que, se isso se efetivar durante uma atividade experimental, mesmo demonstrativa, o objetivo almejado com esse tipo de trabalho terá sido alcançado.

Em termos gerais, a análise dos dados revela, conforme exemplificado nos trechos do diário de bordo anteriormente transcritos, que a discussão, os questionamentos e as contribuições dos alunos no desenvolvimento dos encontros foram características marcantes na relação estabelecida com a professora. Essa relação mostrou-se bastante significativa para a motivação e o interesse dos estudantes pelos assuntos abordados, tendo possibilitado a aprendizagem, uma vez que foi perceptível um avanço do conhecimento no decorrer dos encontros.

#### *b) Interação aluno-aluno*

Para Vygotsky (1999a), o convívio com uma pessoa mais experiente pode estimular as potencialidades do aprendiz, ativando nele esquemas processuais cognitivos ou comportamentais. Além disso, esse convívio pode produzir no indivíduo novas potencialidades, num processo dialético contínuo. Nesse sentido, a proposição de atividades que possibilitem essa troca de ideias e potenciais entre os alunos, no intuito da promoção da aprendizagem, será discutida e analisada com base nos relatos feitos no diário de bordo.

Em uma leitura geral do material, foi possível perceber que os estudantes interagiam de forma plena durante as atividades realizadas em pequenos grupos de trabalho. Não apenas nelas, mas também nas atividades no grande grupo, os alunos conseguiam fazer inferência e participar do diálogo com seus colegas.

Nos grupos de trabalho, a organização e a escolha dos membros foram livres, o que proporcionou que os alunos se aproximassem por afinidade. Conforme os registros do diário de bordo, esses momentos mostram que a interação entre os alunos foi maior do que a interação que estes mantiveram com a professora, tendo as discussões sido marcadas por debates e troca de ideias, inclusive por divergências e pequenos conflitos. Tais percepções são evidenciadas nos trechos registrados no diário, como exemplificado a seguir:

Para a atividade de hoje, foram organizados cinco grupos cujo objetivo estava em elaborar um paralelo entre os modelos propostos para o átomo. Quatro grupos estavam bem organizados, discutindo e comparando as características de cada átomo. Contudo, um dos grupos se mostrou mais agitado e acabou desviando o tema do estudo para outro que não tinha relação direta com a aula. Foi necessário chamar a atenção várias vezes, até que em determinado momento eles iniciaram suas atividades.

Outros momentos de trabalho coletivo foram marcados por diálogo entre os alunos. Durante um dos encontros, por exemplo, um aluno perguntou ao outro por que o Sol não arranca elétrons do corpo humano, obtendo como resposta que a questão está relacionada às camadas em que os elétrons estão e ao tipo de luz que bate no corpo, pois não é com qualquer luz, nem com qualquer corpo que isso pode acontecer.

O trecho do diário transcrito a seguir é outro exemplo da interação entre os alunos verificada durante as aulas:

Observo que na hora da realização dos exercícios sempre deixo a possibilidade de sentar em duplas ou trios, e todos eles procuram sentar com um colega para a realização da atividade, normalmente os mesmos grupos. Em algumas duplas, um dos colegas tem mais

facilidade e ajuda o outro; é o caso de duas duplas que parecem se sentir mais à vontade quando apenas eles estão no grupo. Quando chego, logo param de falar.

O processo de construção do conhecimento pode ser favorecido pelas discussões iniciadas por meio dos processos interpessoais, como os que ocorrem em grupos de trabalho. Além disso, seguindo Vygotsky, percebeu-se que o trabalho cooperativo, realizado em grupo favorece a aquisição de conhecimentos, especialmente considerando o conceito de zona de desenvolvimento proximal. De acordo com esse entendimento, quando os alunos estão na iminência de compreender algo, a ajuda do outro, no caso, de um colega, poderá ser essencial para o alcance do seu objetivo. Quando o aluno está no nível de desenvolvimento potencial, ou seja, aquele em que não consegue buscar a solução aos problemas de forma independente, mas o faz com a orientação ou colaboração de companheiros mais capazes (VIGOTSKI, 1999a), pode-se avaliar a importância de promover situações de estudo em pequenos grupos. Nesse sentido, pode-se avaliar esse tipo de atividade como proveitosa e favorecedora de situações de aprendizagem, uma vez que foi possível perceber a interatividade e o diálogo entre os componentes dos grupos.

Conclui-se a análise dessa categoria mencionando que a interação aluno-aluno ocorreu, foi significativa e representou um processo importante na construção dos conhecimentos. O convívio social, a troca de experiências e a ajuda entre os pares constituem, de fato, um elemento que deve ser considerado nas aulas de Física, em especial, de Física Moderna.

#### *c) Interação aluno-material e professor-material*

Dentre os objetivos deste trabalho está o de avaliar se os recursos traduzidos em ferramentas e metodologias utilizados ao longo dos encontros puderam propiciar a abordagem de tópicos de Mecânica Quântica, de modo a torná-los interessantes e a estimular os alunos. Além disso, tem-se como propósito verificar se os materiais utilizados nas aulas puderam ser acessados e utilizados de forma prática pelos alunos. Evidentemente que não se tem a pretensão de responder de forma plena a esses objetivos, mas de coletar indícios que permitam refletir sobre a interatividade propiciada ao se disponibilizar em um *site* diversos recursos estratégicos.

Salienta-se que o material é visto aqui como um “mediador”, ou seja, um instrumento que, orientado, tem por objetivo facilitar o processo de aprendizagem por meio da interação. Segundo Vygotsky, a interação não é direta, mas sim mediada, podendo essa mediação ser realizada por instrumentos materiais ou simbólicos. Os materiais podem ser percebidos como uma espécie de “condutor da influência humana sobre o objeto da atividade; ele é orientado externamente; deve necessariamente levar a mudança nos objetos” (VYGOTSKY, 1999a, p. 72), e a sua utilização tem como consequência aumentar as possibilidades de ação do homem. Já os simbólicos não realizam a modificação do objeto; constituem-se em “um meio da atividade interna dirigida para o controle do próprio indivíduo; o signo é orientado internamente” (VYGOTSKY, 1999, p. 73), e por meio dele os homens conseguem controlar, voluntariamente, suas ações, além de poderem, ampliar sua atenção e sua memória.

Os recursos reunidos no *site* foram acessados tanto pela professora quanto pelos alunos; no caso destes últimos, tanto em aula quanto fora do ambiente escolar. Ao entrar em contato com o *site*, os estudantes não demonstraram ter dificuldades em acessar a atividade solicitada e tiveram uma boa interatividade com o portal. É interessante ressaltar, também, que dois alunos que faltaram no dia em que as atividades foram realizadas em aula puderam realizá-las a distância, acessando o *site*. De acordo com o registrado no diário de bordo, conclui-se que o *site* atuou com um mecanismo facilitador ao acesso a materiais. Contudo, houve registros de necessidade de alteração em alguns itens, mas, de modo geral, os alunos conseguiram navegar tranquilamente por todo o *site*.

## Considerações finais

A inserção da Física Moderna e Contemporânea no ensino médio, na especificidade da Mecânica Quântica, é um tema de grande relevância ao ensino de Física, e muitas pesquisas têm buscado apresentar caminhos para a sua efetivação. Dentre os objetivos dessa inserção está o de despertar o interesse do aluno para o desenvolvimento tecnológico presente em seu cotidiano, por meio de conhecimentos que são fruto das pesquisas atuais, oferecendo-lhe condições de criar novas possibilidades científicas e tecnológicas, para que haja uma futura inovação e, assim, uma melhor qualidade de vida para a sociedade como um todo.

No entanto, embora a sua importância seja evidenciada em diversas pesquisas e pela própria legislação, ainda há vários entraves que dificultam a sua inserção no contexto escolar, conforme destacado na introdução deste estudo. Dentre as dificuldades mencionadas, está a falta de materiais didáticos ao alcance dos professores e que contemplem diferentes recursos didáticos. Partindo da problemática anunciada e do questionamento referente às implicações sobre a aproximação dos estudantes com a FMC, mais especificamente com a Mecânica Quântica, no que tange à utilização de materiais didáticos variados e relacionados ao seu cotidiano, estruturou-se o presente estudo.

Nele, a ênfase esteve em ofertar um conjunto de recursos didáticos e uma proposta de sequência didática construída com base em um referencial teórico. Tal propósito foi concretizado e teve como foco de investigação a interação social proporcionada pela proposta elaborada. Como resultado, observou-se que o uso de diferentes ferramentas didáticas proporciona contribuições relevantes no processo de ensino-aprendizagem. Nessa perspectiva, a variação de recursos traz a possibilidade de diversificar a abordagem dos assuntos, favorecendo a aprendizagem e estimulando o aluno a participar desse processo.

Em relação à postura dos alunos diante dos conceitos abordados antes e depois da aplicação da proposta, observou-se que, inicialmente, eles se mostraram resistentes. É interessante destacar que a linguagem, os conceitos e a matemática utilizada na Física Moderna foram apresentados de uma maneira diferente da abordagem tradicional da Física Clássica: a sequência conceito-exercícios. Embora tenha havido essa resistência inicial – que pode representar um obstáculo se não for bem conduzida pelo professor –, logo os alunos se adaptaram à proposta, assumindo uma nova postura frente ao trabalho.

Encerra-se o presente trabalho nessa etapa, entretanto, novas possibilidades de estudo se abrem a partir do aqui desenvolvido e analisado, especialmente em termos de avaliação da proposta na perspectiva dos professores que atuam no ensino médio.

## Referências bibliográficas

BARDIN, L. (2004) A análise de conteúdo. Tradução de Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. Lisboa: Edições 70.

BRASIL. (1999) Ministério da Educação. Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2002) PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica.

- CHAVES, F. G. (2010). Uma proposta de inserção de conteúdos de Mecânica Quântica no ensino médio, por meio de um curso de capacitação para professores em atividade. (Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília). Disponível em 18 mai., <http://www.ppgec.unb.br/images/sampledata/dissertacoes/2010/versaocompleta/glauson%20francisco%20chaves.pdf>.
- FERREIRA, R. M. (2013) Física Moderna: divulgação e acessibilidade no ensino médio através das histórias em quadrinhos. (Dissertação de Mestrado Universidade Federal de Alagoas). Disponível em 15 mar., 2016, <http://zip.net/bktpqH>.
- GASPAR, A.; MONTEIRO, I. C. C. (2005). Atividades experimentais de demonstrações em sala de aula: uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotsky. *Investigações em Ensino de Ciências*. Acesso em 07 de mar., 2016, [http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo\\_ID130/v10\\_n2\\_a2005.pdf](http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID130/v10_n2_a2005.pdf).
- MACHADO, D. I; NARDI, R. (2006). Construção de conceitos de física moderna e sobre a natureza da ciência com suporte da hipermídia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Acesso em 18 mai., 2016, <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/060401.pdf>.
- OLIVEIRA, F. F. et al. (2007). Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Acesso em 18 mai., 2016, [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-11172006000400010](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172006000400010).
- OLIVEIRA, M. K. (1992). Vigotsky: aprendizado e desenvolvimento um processo sócio-histórico. São Paulo: Scipione.
- OSTERMANN, F.; RICCI, T. F. (2002). Relatividade restrita no ensino médio: contração de Lorentz-Fitzgerald e aparência visual de objetos relativísticos em livros didáticos de física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 19(2), 176-190.
- \_\_\_\_\_; MOREIRA, M. A. (2004). Updating the physics curriculum in high schools: a teaching unit about superconductivity. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*. Acesso em 18 mar., 2016, <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/94526>.
- ROSA, C. T. W. (2001). Laboratório didático de Física da Universidade de Passo Fundo: concepções teórico-metodológicas. (Dissertação de Mestrado – Universidade de Passo Fundo).
- \_\_\_\_\_; ROSA, Á. B. (2004). A teoria histórico-cultural e o ensino de Física. *Revista Iberoamericana de Educación*. Disponível em 18 mai., 2016, [http://www.mat.uc.pt/~guy/psiedu2/Vy\\_ensfisica.pdf](http://www.mat.uc.pt/~guy/psiedu2/Vy_ensfisica.pdf).
- SILVA, A. C.; ALMEIDA, M. J. P. M. (2011). Física quântica no ensino médio: o que dizem as pesquisas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28(3), 624.
- SILVA, J. A.; KAWARURA, M. R. D. (2001). A natureza da luz: uma atividade com textos de divulgação científica em sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 18(3), 317-340.
- TERRAZZAN, E. A. (1994). Perspectivas para a inserção da Física Moderna na escola média. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo/ Faculdade de Educação).
- TRIVIÑOS, A. N. S. (1994). Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas. 6.ed.
- VIGOTSKI, L. S. (1999a) A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores. Tradução de José Cipolla Netto et al. São Paulo: Martins Fontes. 6.ed.

\_\_\_\_\_. Pensamento e linguagem. (1999b) Tradução de Jeferson Luiz Camargo. São Paulo: Martins Fontes. 2.ed.

ZABALZA, M. (2004). Diários de aula: um instrumento de pesquisa e desenvolvimento profissional. Porto Alegre: Artmed.