

Universidade de São Paulo

Programa de Pós-Graduação Interunidades em
Ensino de Ciências

O Laboratório Virtual como atividade complementar
de disciplinas introdutórias de mecânica:
análise a partir da experiência do giroscópio

Monaliza da Fonseca

São Paulo

2015

Monaliza da Fonseca

O Laboratório Virtual como atividade complementar
de disciplinas introdutórias de mecânica:
análise a partir da experiência do giroscópio

Orientadora: Profa. Dra. Nora Lía Maidana
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ensino de
Ciências.

Banca Avaliadora:

Prof^a Dr^a Nora Lía Maidana (IF-USP) – orientadora

Prof^a Dr^a Maria Lúcia Vital dos Santos Abib (FE - USP)

Prof^o Dr. Nelson Studart (UFABC)

São Paulo

2015

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA
Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Fonseca, Monaliza da

O laboratório virtual como atividade complementar de disciplinas introdutórias de mecânica: análise a partir da experiência do giroscópio. São Paulo, 2015.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo.
Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências.

Orientador: Profa. Dra. Nora Lia Maidana

Área de Concentração: Ensino de Ciências e Matemática.

Unitermos: 1. Física – Estudo e ensino; 2. Ensino por computador; 3. Tecnologia educacional; 4. Métodos de avaliação; 5. Laboratórios experimentais.

USP/IF/SBI-069/2015

AGRADECIMENTOS

À professora Nora, pelo contato constante, inúmeros e-mails trocados, revisões feitas, conversas, viagens, risadas e apoio em todos os momentos.

Aos amigos que estiveram comigo nessa caminhada: Marta e Roseny que me apoiaram nos momentos de dúvidas e deram forças quando parecia que nada daria certo; Suelen, que interrompeu várias vezes o seu próprio trabalho para me dar opiniões; Arthur, que me presenteou com um giroscópio e me ensinou a formatar todo esse texto e à Beth, pela parceria no trabalho e pelos incentivos.

À minha mãe e irmãos que, mesmo não sabendo do que se tratava o meu trabalho, sempre me deram apoio.

À professora Maria Regina, que desde o início me ajudou a direcionar o trabalho com sugestões do melhor caminho a seguir.

À banca de qualificação, professora Maria Lúcia Abib e professor Nilberto Medina, que deram contribuições decisivas para o prosseguimento do trabalho.

Aos alunos que aceitaram conversar comigo e permitiram que as entrevistas fossem usadas neste trabalho.

Ao professor Vito Vanin, pelas revisões constantes, principalmente no inglês.

Ao grupo do EPA pela parceria na elaboração dos experimentos virtuais.

Ao laboratório didático pelo espaço cedido para filmagem dos experimentos virtuais e também pelos equipamentos utilizados.

Ao Profis, que colaborou cedendo os equipamentos para filmagem e edição dos vídeos das experiências na fase em que o projeto ainda estava sendo construído.

RESUMO

Fonseca, M. **O Laboratório Virtual como atividade complementar de disciplinas introdutórias de mecânica: análise a partir da experiência do giroscópio.** 2015. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física). Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências, Faculdade de Educação. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

O Laboratório Virtual é um ambiente de estudo que visa complementar a ação docente em sala de aula, a fim de trabalhar conceitos abstratos de maneira experimental e que usa recursos virtuais como estratégia de ensino para aulas de física. Este laboratório foi desenvolvido a partir da filmagem de sistemas reais com o objetivo de observar todo o movimento de um objeto junto a um instrumento que possibilitou a medida de sua posição. Posteriormente, foi incorporado ao vídeo um código de tempo, de modo que, ao transformá-lo em quadros independentes, as imagens extraídas permitem medir a posição ocupada pelo corpo em instantes conhecidos. Com uma tabela de posição por tempo, toda a evolução dinâmica do sistema pode ser obtida. As experiências, alocadas em <http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto/index.html>, vem sendo usadas desde 2004 em cursos de mecânica da graduação em Licenciatura em Física da Universidade de São Paulo e são uma inovação no método de desenvolvimento curricular, que busca na tecnologia uma outra maneira de trazer a experimentação para o contexto do ensino. Analisamos o experimento do Giroscópio, objeto de frequente estudo nas aulas de mecânica, a fim de adquirir elementos para avaliar o comportamento do Laboratório Virtual como ferramenta didática. Foram entrevistados 12 alunos que participaram da atividade, com o intuito de verificar se os objetivos da proposta tinham sido atingidos, a fim de analisar o grau de apropriação dos conceitos trabalhados na mencionada experiência. Para fundamentar essa análise, recorreu-se à equilibração e ao subsunção propostos por Piaget e Ausubel, respectivamente. Dos relatos dos alunos foi possível localizar as situações que denotavam assimilação e/ou acomodação. A categorização de partes das entrevistas permitiu a elaboração do esquema de raciocínio desenvolvido pelos alunos, identificando suas concepções prévias ou os conhecimentos de que se apropriaram para explicar o funcionamento do giroscópio. Da análise das entrevistas, pode inferir-se que os objetivos do laboratório foram alcançados e que o mesmo pode ser aceito como material didático complementar às disciplinas presenciais, dando suporte para que conteúdos teóricos possam ser trabalhados em situações reais com o auxílio de Tecnologia de Informação, de maneira experimental.

ABSTRACT

Fonseca, M. **The Virtual Laboratory as a complementary activity for introductory mechanics disciplines: analysis from the experience of the gyroscope.** 2015. Dissertation (Master in Physics Education). Institute of Chemistry, Institute of Biosciences, Faculty of Education. University of São Paulo, São Paulo, 2015.

The Virtual Laboratory is a study environment that complements lecture activities, aiming the understanding of abstract concepts from the analysis of recorded experiments as a physics-teaching strategy. This lab was developed from the videos of real systems, where the object under study moves over an instrument that allows measuring its position. A time code is incorporated to this video, which is subsequently unfolded. The extracted images permit the measurement of the position occupied by the object at known instants. With a table of position and time, the dynamic evolution of the system can be obtained. The experiences, located at <http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto/index.html>, have been used since 2004 with students of Bachelor in Physics Education of the University of São Paulo mechanics courses. It is an innovative methodology in the curriculum, since demands information technology to approach the experimental activities in the lecture context. We analyzed the gyroscope experiment, frequently studied in lectures of mechanics, to assess how the Virtual Laboratory behaves as a teaching tool. Twelve students who participated were interviewed, in order to evaluate whether the proposed goals were met, trying to analyze the appropriation of concepts by means of the Virtual Lab. We applied the balancing and subsumer concepts proposed by Piaget and Ausubel, respectively, in this analysis. Students' comments allowed sorting out situations denoting assimilation and / or accommodation. The categorization of elements of the interviews made it possible to describe the development of the reasoning scheme developed by these students, identifying preconceptions or knowledge needed to explain properly the physical phenomenon. From the interviews analysis, it can be inferred that the lab objectives have been achieved and that it can be accepted as a complementary material to teach theoretical concepts by working with real situations, using the Information Technology to provide access to experiments.

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1: Modelo de pensamento científico de einstein (NARDI, 1998)..... | 29 |
| FIGURA 2 : Níveis de contato do aluno com a experimentação (NARDI, 1998). | 31 |
| FIGURA 3: Diagrama do uso das TIC (MIQUELIN, BEZERRA E SAAVEDRA, 2010). | 38 |
| FIGURA 4: Interface da simulação de MRUV (LOPES E ELOI, 2009)..... | 42 |
| FIGURA 5: Sequência adotada para o desenvolvimento da atividade virtual (KORETSKY, AMATORE, <i>ET AL.</i> , 2008) | 43 |
| FIGURA 6: Interface do tracker (PRESOTO, LENZ, <i>ET AL.</i> , 2011)..... | 45 |
| FIGURA 7: Interface do programa modellus (BATISTA, SILVA, <i>ET AL.</i> , 2011). | 46 |
| FIGURA 8: Interface do IVPL (YANG E HEH, 2007). | 48 |
| FIGURA 9: Imagens digitais submetidas ao processo de esquadrinhamento (SERNA, LEMUS, <i>ET AL.</i> , 2011). | 49 |
| FIGURA 10: Interface do programa telerobot, que controla o movimento do robô (ÁLVARES, FERREIRA, <i>ET AL.</i> , 2002)..... | 51 |
| FIGURA 11: Esquema baseado no diagrama de NOVAK (NOVAK, 1998), que apresenta a evolução de um conceito passando pelas diversas possibilidades de aprendizagem. | 59 |
| FIGURA 12: Fotografia de múltipla exposição de duas bolas de golfe, uma lançada horizontalmente e outra em queda livre (PSSC, 1963). | 70 |
| FIGURA 13: Esquema de um giroscópio típico girando em torno do eixo de rotação do disco. | 84 |
| FIGURA 14: Esquema representando os vetores peso, velocidade e momento angular de spin de um giroscópio para uma projeção horizontal do giroscópio..... | 85 |
| FIGURA 15: Esquema representando os vetores τ e L_s para uma projeção vertical do giroscópio. | 86 |
| FIGURA 16: Representação da soma vetorial do momento angular de spin para uma projeção vertical do giroscópio. | 86 |
| FIGURA 17: Giroscópio usado no experimento qualitativo..... | 88 |
| FIGURA 18: Giroscópio sendo colocado em movimento..... | 89 |
| FIGURA 19: Vista superior do giroscópio filmado durante a precessão. | 89 |
| FIGURA 20: Conjunto de quadros disponibilizados de uma situação..... | 90 |
| FIGURA 21: Roda de bicicleta usada como giroscópio. | 91 |
| FIGURA 22: Fotografia do eixo da roda, onde podem-se observar os furos nos quais é apoiado o giroscópio.... | 91 |
| FIGURA 23: Fotografias da base graduada e giroscópio apoiado sobre ela. | 91 |
| FIGURA 24: Marcação feita na fotografia para ressaltar a fita colocada na borda do aro para a medida da velocidade de spin. | 92 |
| FIGURA 25: Quadros usados na análise do experimento giroscópio quantitativo..... | 92 |
| FIGURA 26: Fotografia da roda apoiada para a determinação do seu momento de inércia..... | 93 |
| FIGURA 27: Esquema da roda e massas adicionais usadas para o balanceamento. | 94 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 28: ESquema da roda e massa adicional usadas para o cálculo de I | 95 |
| FIGURA 29: Gráfico para o movimento de precessão da experiência do giroscópio qualitativo. | 98 |
| FIGURA 30: Esquema explicativo da roda e fita que ilustra o calculo da incerteza na posição angular de spin. | 101 |
| FIGURA 31: Diagrama proposto por marçal para representar o processo de equilibração (MARÇAL, 2009). | 113 |
| FIGURA 32: Fluxograma ilustrativo da interação dos alunos com o giroscópio. | 129 |
| FIGURA 33: Fluxograma do esquema de pensamento desenvolvido pelos entrevistados. a sequência seguida por cada aluno está representada por uma cor..... | 130 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| TABELA 1: Resultados obtidos para o cálculo do momento de inércia (I) | 97 |
| TABELA 2: Dados necessários para análise do giroscópio qualitativo; d é a distancia do centro de massa da roda ao eixo de precessão. | 102 |
| TABELA 3: Dados do movimento de precessão para a situação 2..... | 102 |
| TABELA 4: Dados do movimento de spin | 103 |
| TABELA 5: Comparação entre valores experimentais e calculados..... | 104 |
| TABELA 6: Classificação das respostas dos alunos nas categorias propostas..... | 127 |
| TABELA 7: Esquema de pensamento dos alunos segundo o fluxograma proposto | 130 |
| TABELA 8: Processo de equilibração no giroscópio | 147 |

SUMÁRIO

| | |
|---|------------|
| APRESENTAÇÃO | 17 |
| INTRODUÇÃO | 21 |
| 1. A EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE CIÊNCIAS | 25 |
| 2. AS TECNOLOGIAS DIGITAIS NO ENSINO | 35 |
| 2.1. Aplicações da tecnologia no ensino de Física | 36 |
| 2.2. Laboratórios Didáticos Virtuais | 39 |
| 3. CONCEITOS DE APRENDIZAGEM..... | 53 |
| 3.1. Ausubel e o subsunção | 53 |
| 3.2. Piaget e a equilibração..... | 60 |
| 3.3. Analogia Ausubel/Piaget | 66 |
| 4. PROCESSO DE ELABORAÇÃO DO LABORATÓRIO VIRTUAL | 69 |
| 4.1. Descrição do processo de criação..... | 71 |
| 4.2. Potencialidades do Laboratório Virtual..... | 76 |
| 5. A EXPERIÊNCIA DO GIROSCÓPIO EM SALA DE AULA..... | 81 |
| 5.1. Créditos trabalho | 81 |
| 5.2. Perfil dos alunos | 82 |
| 5.3. Atividade em sala de aula | 84 |
| 6. METODOLOGIA DE PESQUISA..... | 107 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 7. | RESULTADOS E ANÁLISES | 115 |
| 7.1. | Análise por categorias | 115 |
| 7.2. | Análise geral | 127 |
| 8. | OBSERVAÇÕES SOBRE O LABORATÓRIO VIRTUAL | 133 |
| 8.1. | Opiniões dos alunos | 133 |
| 8.2. | Apreciações dos desenvolvedores | 139 |
| | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 143 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 151 |
| | ANEXOS..... | 159 |

APRESENTAÇÃO

Desde quando estava no ensino médio, e até mesmo no período de prestar vestibular, eu me perguntava o que fazer, não tinha a menor ideia do que escolher como a profissão da minha vida. A frase “não me vejo fazendo isso” ecoava na minha cabeça constantemente. Experiências de familiares como professores já denotavam que essa carreira não poderia ser promissora e que trabalhar com educação podia ser um caso perdido. Desde sempre essa foi a minha influência.

Identificava-me com as exatas e foi assim que tomei a decisão: primeira opção “Matemática”, segunda “Física”. No entanto, o destino me reservou as vagas da física e para lá eu fui, sem pestanejar. Com o passar dos meses me identifiquei com a Física; apesar de envolver bastante cálculo, não se tratava de uma Matemática pura, com definições, regras e teoremas... Eram aplicações, teorias vinculadas a acontecimentos que nós vivenciávamos. No colegial, admirava as aulas de física; os raros experimentos de demonstração trazidos pelos professores serviam para atiçar minha curiosidade cada vez mais. Já no período de graduação tinha aulas de “Introdução às medidas em física”, onde tive um primeiro contato físico com um laboratório, conhecendo equipamentos de medidas e realizando medições. Apesar disso, foi no “Laboratório Virtual” da disciplina de “Fundamentos de Mecânica” que comecei a ver a enorme possibilidade de experimentos e coletas de dados que podem ser realizados, assim como as inúmeras teorias possíveis de serem verificadas. Em uma página da web, os professores disponibilizavam determinados experimentos com uma série de quadros de um carrinho em diferentes posições em relação a uma fita métrica; um número em cada quadro fornecia o instante daquele quadro. O objetivo dos experimentos era que fizéssemos uma análise do movimento do carrinho. Meu primeiro questionamento foi: como efetuar aquelas contas?! Eram inúmeros quadros para serem analisados, muitos dados para serem coletados. Como se isso não fosse o bastante, ainda falavam sobre uma tal “propagação de erros” que se devia incluir nas análises. Tudo começou a fazer sentido quando me apresentaram a ferramenta computacional “Excel”, que até então para mim era apenas um “Word” em forma quadriculada. Nunca tinha usado o computador para fazer contas, elas sempre foram uma coisa manual que eu deveria fazer com esforço e concentração. Com o Laboratório Virtual aprendi a usar essa ferramenta, que fez toda a diferença! Muitos dos meus colegas na graduação também não tinham familiaridade com esses recursos computacionais e viram a necessidade de usá-lo por causa dos experimentos virtuais (e não é de se estranhar que por esse motivo, por ser tão imprescindível o uso do computador, era destinado um

monitor exclusivo para auxiliar nessas questões no primeiro e segundo semestres da graduação).

Voltando às minhas descobertas na área virtual, comecei a gostar de realizar todos aqueles cálculos, gráficos e verificar a validade das teorias físicas a partir apenas de uma análise da informação contida em quadros extraídos de filmagens de experiências reais. O interesse por aquela modalidade de experimentos foi tamanho que, enquanto cursava o segundo ano do curso de graduação, eu me inscrevi no Projeto Ensinar com Pesquisa, promovido pela pró-reitoria de graduação da USP. Dentre os muitos projetos oferecidos no programa, um era destinado a selecionar alunos que participariam na elaboração dos experimentos virtuais. Participei desse projeto por um ano e, nesse período, pude desenvolver, em conjunto com outros colegas e com os professores Vito e Nora, experimentos bastante diferentes daqueles que existiam na página até o momento. Como já havia realizado os experimentos enquanto era estudante da disciplina, pude colaborar na elaboração de roteiros que auxiliavam na execução das análises. No ano seguinte, a Pró-Reitoria não disponibilizou novas bolsas de pesquisa, mas mesmo assim permaneci por outros seis meses no projeto, continuando com os trabalhos que ainda estavam em andamento. Com a renovação da bolsa no ano seguinte, tive a oportunidade de continuar por mais um ano desenvolvendo novos experimentos. O contato com essa tecnologia de vídeos, além de proporcionar avanços na minha área de conhecimento computacional, também permitiu um maior contato com as teorias físicas, porque, antes de elaborar qualquer experimento, era necessário investigar e estudar o fenômeno que se buscava analisar.

A aplicação desse tipo de laboratório em classe parecia resultar numa ferramenta de grande utilidade para a compreensão dos conceitos estudados em aula. Ao longo da elaboração dos experimentos, era possível notar que, quando o conteúdo teórico era ministrado em paralelo à realização do experimento virtual, as conclusões obtidas pelos estudantes eram bastante significativas.

Após o término da bolsa, passei a ser monitora de Eletricidade e Magnetismo, trabalho que realizei durante um ano e meio e que foi realmente proveitoso, porque pude aprender muito mais ensinando. Nesse mesmo período, cursava a disciplina “Práticas de Ensino” e “Metodologia do Ensino de Física”, em que estagiei por longos períodos e fiz contato com a sala de aula. Apesar da indisciplina dos alunos em alguns momentos, me sentia bem transmitindo novos conhecimentos a eles.

Já no final do ano de 2010, por indicação da professora Nora, comecei a trabalhar como técnica de laboratório do Colégio Santa Cruz. No começo, fiquei um pouco apreensiva, porque desde o início da minha graduação ouvi dizer que dar aulas, ser professora, não era tarefa fácil. Durante a graduação, tive poucas expectativas em ministrar aula em um colégio como aquele, era uma possibilidade muito remota. Comecei meio insegura, respondia às

questões dos alunos com medo, mas após três semanas passei a gostar muito! Sinto-me bem como professora, tirando dúvidas, e cada exclamação de “Ah! entendi” é uma grande satisfação! Também tive oportunidade de substituir durante uma semana um professor e a experiência foi muito boa. No colégio, os alunos têm aulas semanais de laboratório e, a cada aula, um novo experimento. Percebi o quão importante são aquelas aulas para eles, pois é durante aquele momento que os alunos conseguem visualizar o que muitas vezes na sala não é possível. Sempre existem estudantes que acham o laboratório entediante, assim como as aulas e qualquer outra coisa vinculada ao colégio, mas também existem aqueles que “estão lá para aprender”.

Muitos dos experimentos contidos no Laboratório Virtual são bons para compreender situações reais, a coleta de medidas possibilita a análise do fenômeno e a constatação de teorias. Dentre esses experimentos, estão: Cinemática Rotacional; Giroscópio e Rolamento, que podem ser acessados no endereço: <http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto/index.html>. Atualmente, são desenvolvidos experimentos relacionados à colisão bidimensional, estudos de lançamento oblíquo e movimento de oscilação de um pêndulo, entre outros.

Após a vivência na universidade e com o início das aulas no colégio, comecei a perceber a importância do laboratório didático. O fato de o Colégio disponibilizar uma aula semanal para ele, deixa nítido o quanto é valorizado por alguns professores e projetos pedagógicos. Mas, depois que as aulas acabam, é necessário perguntar se alguma coisa ficou nos estudantes. Após todas as semanas dedicadas, os experimentos realizados, será que restou algo? Qual a finalidade do laboratório didático tanto no âmbito acadêmico superior quanto no ensino médio? Como esses alunos vivenciaram essa experiência? Foi produtivo, proveitoso? Que benefício deixou para a vida futura?

Para que o Laboratório Virtual não caia no esquecimento, vejo o desenvolvimento do meu trabalho como uma maneira de mantê-lo vivo. Mais que isso, tenho curiosidade de avaliar o impacto dessas atividades no decorrer do período de estudo dos alunos, isto é, se essas experiências fizeram alguma diferença para os estudantes ou se mesmo com o passar do tempo eles ainda têm o experimento na memória. Penso isso porque um trabalho tão grande como foi a criação do Laboratório Virtual não pode ser esquecido, é necessário algum tipo de avaliação que mostre os resultados que são alcançados com o seu uso.

INTRODUÇÃO

Como consequência do avanço contínuo da tecnologia, acompanhar as inovações no que tange à aparelhagem eletroeletrônica não é tarefa fácil; imagine, então, a implantação de determinadas ferramentas tecnológicas no sistema de ensino. A educação, seguindo seus moldes tradicionais, apresenta sérias dificuldades em se adaptar e adotar mudanças. No entanto, diversas estratégias são propostas para fazê-la acompanhar o ritmo da tecnologia.

As novas tecnologias da informação e comunicação (TIC) têm revolucionado o modo de ensinar. As tendências mundiais denotam que há uma expansão acelerada do seu uso e, segundo a declaração da última Conferência Regional de Educação Superior da América Latina e Caribe, sua incorporação nos processos educativos desempenhará um papel preponderante na formação de competências de futuros professores (CNE, 2013).

Nesse mesmo sentido, o informativo final Metas 2021, elaborado pela Organização dos Estados Ibero americanos (OEI), em um debate iniciado sobre a educação que queremos para a geração dos Bicentenários, propõe “fortalecer a profissão docente” (meta geral 9) e “melhorar a formação inicial dos professores do ensino fundamental e médio” (meta específica 22). Nesse mesmo documento, afirma-se que:

O impacto que as TIC podem ter sobre a aprendizagem é claro e provavelmente não se pode medir diretamente através dos sistemas de avaliação. Contudo, há uma evidência crescente do impacto que as tecnologias podem ter sobre as habilidades e competências essenciais para o mundo digital e globalizado de hoje, como a motivação pelo aprendizado, pela comunicação, pela capacidade de manusear as informações, pela aprendizagem autodirigida, por habilidades colaborativas, etc. (OEI, 2010).

Mais adiante, o documento traz indicadores dos níveis ideais a serem atingidos com as metas educativas: “melhorar a qualidade da educação e do currículo escolar” e “oferecer um currículo que incorpore a leitura e o uso do computador no processo de ensino e aprendizagem (...) que estimule o interesse pela ciência, arte (...)” (OEI, 2010). No indicador 16, definido para essa mesma meta, destaca-se “a frequência do uso do computador nas escolas pelos alunos para tarefas de aprendizagem” (OEI, 2010). No nível de realização, que seria aquilo que se almeja atingir em 2021, fica estabelecido que “os professores e alunos utilizem o computador de forma habitual no processo de ensino e aprendizagem” (OEI, 2010).

Pensando nisso e tendo em vista que os jovens estão cada vez mais conectados, buscando novas formas de comunicação e interação com os outros, conclui-se que há necessidade de potencializar o uso desse meio (LÉVY, 1996). Os recursos tecnológicos são

inúmeros e, se bem aproveitados, podem servir de suporte às aulas teóricas. A inserção dessa tecnologia no ensino, em especial de Física, vai ao encontro da necessidade cada vez maior do professor em tornar o conhecimento científico mais atraente para os alunos (FIOLHAIS e TRINDADE, 2003).

Dentre as diversas estratégias possíveis para o ensino, a que receberá destaque neste trabalho é o laboratório didático, reformulado de modo a adequá-lo às novas tecnologias. O laboratório virtual pode ser caracterizado de quatro maneiras diferentes: as simulações, que recriam situações físicas idealizadas de modo a facilitar a interpretação de um fenômeno físico (SHIN, YOON, *et al.*, 2002); os programas que analisam uma situação real a partir de um programa de computador (YANG e HEH, 2007); os laboratórios remotos, onde experiências reais podem ser controladas a distância e analisadas por meio de um computador (SHAHEEN, LOPARO e BUCHNER, 1998) e os experimentos filmados, que usam situações físicas reais como base para uma análise quantitativa (FONSECA, MAIDANA, *et al.*, 2013).

A partir desse panorama mais atual, de como vem se utilizando a tecnologia nesse contexto, vemos que a nossa proposta de laboratório virtual não é utópica. Trata-se de algo concreto e que atende às expectativas do uso da tecnologia, uma vez que aspira atingir várias competências que também são visadas numa experimentação tradicional e que serão mais bem definidas no primeiro capítulo.

O interesse que motivou o desenvolvimento desta dissertação foi minha participação durante três anos no projeto de iniciação científica intitulado “Experimentos Virtuais em disciplinas teóricas de Mecânica”. Esse projeto destinava-se à criação de experimentos que comporiam a página da internet <http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto/index.html>. A obtenção do material da página será detalhado no capítulo 4

Desde 2008, várias pesquisas foram desenvolvidas para criação de novas situações que pudessem ser filmadas e que poderiam servir de base para análise dos experimentos. O desenvolvimento deste trabalho promoveu um grande enriquecimento tanto no que diz respeito ao aprimoramento de técnicas para desenvolvimento de experiências com melhores resultados, quanto um enriquecimento no aprendizado pessoal na área do conhecimento da física.

O empenho na criação do Laboratório e também a participação nas monitorias, onde era possível assessorar os alunos na realização das análises e perceber o quanto o material desenvolvido por nós vinha sendo aproveitado por eles, levou a um questionamento maior: até que ponto estamos atingindo nossos objetivos na proposição dos experimentos virtuais? Como vem sendo construído o aprendizado do aluno ao se fazer uso desses experimentos? O Laboratório Virtual poderia ser considerado como um material didático que complementasse as aulas introdutórias de mecânica?

Para tentar responder a essas questões, foi selecionado, da página virtual, o experimento chamado Giroscópio. Esse experimento conta com a particularidade de ter sido realizado pelos estudantes tanto de maneira virtual, usando o site, quanto de maneira tradicional, usando os aparatos do laboratório didático.

A metodologia para avaliação do Laboratório Virtual, enquanto material didático, ainda não está desenvolvida de modo a abranger todas as suas particularidades, porque não existem muitos trabalhos de pesquisa sobre ele. Dessa forma, não se mostra fácil encontrar parâmetros que orientem a melhor maneira para avaliar esse recurso virtual.

Optou-se por realizar entrevistas com alunos que participaram da atividade. O conteúdo das questões focava no experimento virtual do giroscópio. Os alunos, no entanto, comentaram também sobre outras experiências e se o Laboratório Virtual se constitui em um instrumento válido para a apropriação de determinados conceitos. Para fundamentar essa análise, recorreu-se à proposta de Piaget a respeito da equilíbrio e ao conceito de subsunção proposto por Ausubel. O giroscópio é um equipamento que intriga os estudantes, servindo de inspiração para a aprendizagem de novos conceitos. A partir da categorização dessas falas, foi possível delinear o esquema de raciocínio desenvolvido pelos alunos, identificando que concepções prévias possuíam ou de que conhecimentos precisavam se apropriar para conseguir explicar o funcionamento do giroscópio.

Para realização desse estudo foi também necessário descrever as etapas de construção do Laboratório Virtual e compreender os conceitos físicos envolvidos no experimento. Delimitou-se também em que âmbito dos recursos virtuais atualmente usados no ensino ele se enquadra. Para tornar isso possível, fez-se necessário conhecer o universo no qual estão imersas as tecnologias digitais. Mais que isso, foi importante compreender como a experimentação no ensino de ciências tem sido proposta e com que objetivos ela vem sendo usada.

Esta dissertação está dividida em capítulos, cujos conteúdos são detalhados a seguir.

O primeiro capítulo, “A Experimentação no Ensino de Ciências”, traz a questão da experimentação e como ela veio sendo tratada ao longo dos anos, desde a época dos projetos de ensino (1963) até os dias de hoje com as diretrizes curriculares. Além disso, buscaram-se trabalhos que fizessem uma análise mais aprimorada das possibilidades de atividades experimentais que podem ser desenvolvidas.

No segundo capítulo, “As Tecnologias Digitais no Ensino”, são enumerados alguns trabalhos sobre o uso da tecnologia no ensino de física. Uma vez que esse trabalho é classificado como um laboratório virtual, são destacados também nesse capítulo outros tipos de laboratórios virtuais. Isso permite localizar em que lugar desse recorte de possibilidades se encontra a presente proposta.

O terceiro capítulo, “Conceitos de Aprendizagem”, apresenta os pressupostos adotados neste trabalho para analisar como se desenvolveu a aprendizagem dos alunos. O conceito de equilíbrio proposto por Piaget será abordado, a questão dos subsunçores apresentado por Ausubel e também uma analogia que compara as duas propostas e define qual posição foi adotada.

O quarto capítulo, “Processo de elaboração do Laboratório Virtual”, desenvolve a metodologia de criação do Laboratório Virtual que é o alvo da investigação, trazendo um panorama que possibilite entender as etapas de produção desde a concepção de um experimento, montagem e posterior disponibilização para análise dos alunos. Nesse mesmo capítulo, no tópico “Potencialidades do Laboratório virtual”, são elencadas algumas características deste Laboratório Virtual e como ele pode ser usado como um material didático complementar às aulas teóricas.

“A experiência do Giroscópio”, no quinto capítulo, descreve como esse experimento é apresentado aos estudantes, que classificação ele possui dentre as atividades propostas no curso, e qual o perfil de aluno que realiza o experimento. Além disso, será feita uma descrição do processo de criação do experimento virtual Giroscópio, bem como uma discussão sobre a física envolvida nele, fator esse que serve para a compreensão dos resultados apresentados no material analisado, e quais resultados são obtidos pelos alunos. É apresentada também a proposta de experimentação para o Giroscópio elaborada de maneira tradicional, com os aparatos de um laboratório convencional.

A “Metodologia de Pesquisa” do sexto capítulo explica a opção por se escolher uma metodologia qualitativa para efetuar as análises das entrevistas. É descrita a maneira como elas foram realizadas com os alunos e quais os conteúdos abordados nas questões. Além disso, são apresentadas as categorias que serviram para analisar as respostas dos estudantes e com elas delinear o esquema de raciocínio desenvolvido por eles ao longo do experimento do giroscópio.

O sétimo capítulo, “Resultados e Análises”, traz uma análise individual e outra geral das entrevistas. A partir das falas individuais, foi possível perceber comportamentos mais prováveis dos estudantes e, com isso, organizar os diferentes posicionamentos em um diagrama que permitirá compreender o esquema de raciocínio dos mesmos.

O oitavo capítulo, “Avaliação do Laboratório Virtual”, apresenta o posicionamento pessoal e dos estudantes sobre o uso do Laboratório Virtual como ferramenta didática.

Buscou-se refletir sobre a validade de aplicação do Laboratório Virtual no ensino de física e também situá-lo dentre as propostas de recursos didáticos presentes na bibliografia. Mais que isso, tentou-se verificar se, a partir do estudo do movimento do giroscópio, os alunos conseguiram explicar o fenômeno e assimilar os conceitos envolvidos nele.

1. A EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE CIÊNCIAS

Nos cursos de ciências, é comum propor, concomitantemente às aulas teóricas, aulas práticas, que são ministradas em espaços chamados laboratórios didáticos. A fim de entender a finalidade desses laboratórios e o objetivo das atividades experimentais, convém examinar a preocupação que existiu com as aulas de laboratório, ao longo dos anos.

Na década de 50, EUA e União Soviética disputavam a corrida armamentista. Esse embate, por quem era o mais forte a nível tecnológico, fazia com que a cada dia um deles avançasse mais e surpreendesse seu rival. Foi em meio a essa tensão que em 1957 os EUA viram-se ameaçados quando os soviéticos lançaram o Sputnik, primeiro artefato humano a ser colocado no espaço. Sentindo a pressão do adversário, os EUA resolveram investir em um projeto de ensino que se mostrasse eficiente em formar novos cientistas e assim conseguir desenvolver novas tecnologias, que sempre os colocassem em primeiro lugar. No mesmo período, se reuniram professores, pesquisadores do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT-EUA) e psicólogos dentre outros profissionais, para formularem um inovador projeto de ensino, que reformulava o ensino de Física em cursos introdutórios, buscando que os alunos adquirissem atitudes próximas às de um cientista e tentassem resolver problemas como um deles o faria (RUDOLPH, 2006).

Essa batalha de tecnologias, e também de ideias políticas, definiram um palco para a educação que era vista como a única maneira de conter os avanços e ambições soviéticos de um possível domínio do mundo. Com a Guerra da Coreia em 1950, a preocupação com a mão de obra científica tinha se tornado questão de segurança nacional. Numa das primeiras reuniões do *Office of Defense Mobilization's Science Advisory Committee*, Jerrold Zacharias o físico que viria a ser o arquiteto chefe e diretor do *Physical Science Study Committee* (PSSC), destacou a questão da falta de cientistas, ressaltando que os russos ficaram à frente dos EUA e que por isso era necessário fazer algo a respeito na educação (RUDOLPH, 2006). Dessa forma, a ciência que teve prioridade no desenrolar dos projetos de ensino foi a física. Em 1956, Zacharias começou a reunir os principais agentes que acabariam por formar o grupo de elaboradores do PSSC, dentre eles Fran Friedman do MIT, Philip Morrison da *Cornell University*, Ed Purcell da *Harvard University*, o presidente do MIT James Killian, dentre outros. É interessante ressaltar que todos esses cientistas trabalharam em meio a pressão do governo e da população que desconfiava de uma possível revolta comunista e suspeitavam do envolvimento deles com o governo russo. Morrison, um dos integrantes do grupo,

descreveu da seguinte maneira o motivo pelo qual se envolveu no PSSC: “Fui oprimido pelo sentimento de início dos anos 50 onde a ciência e a razão intelectual não tinham uma oportunidade justa nas escolas e na vida pública” (RUDOLPH, 2006). Segundo Zacarias, o motivo de levar o projeto adiante era “profundas razões políticas”, justificadas pela era Joe McCarthy (político da época que dirigiu agressivas investigações contra o governo federal dos EUA e também organizou campanhas contra todos os que suspeitassem ser ou simpatizar com os comunistas). O cientista via a necessidade de a população ter uma formação intelectual, algo que envolvesse observação, evidência e justificativa para que acreditassem. Era esse o objetivo do PSSC. Mais do que uma questão de segurança nacional, o desenvolvimento desse Projeto, segundo os seus criadores, buscava também quebrar a passividade da sociedade frente ao desânimo na educação, que os impedia de seguir adiante nos estudos e aspirar a uma formação promissora (RUDOLPH, 2006).

Assim, o PSSC foi um dos primeiros projetos de ensino de ciências que teve um enorme impacto nos Estados Unidos. Devido ao grande sucesso, foi traduzido e publicado em muitos outros países, inclusive no Brasil e na antiga URSS. Além disso, o PSSC influenciou a criação de muitos outros projetos, como o Harvard nos EUA, o Nuffield na Inglaterra e o projeto piloto da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) na América Latina (BERGVALL e NAHUM, 1964).

Anos antes, em 1946, era criado no Brasil o Instituto Brasileiro de Educação, Ciência e Cultura (IBECC), o qual tinha por obrigação reformular o ensino de ciências no país bem como se encarregar da produção de materiais experimentais e livros didáticos. Em 1950, era organizado o IBECC-UNESCO, com preocupações que muito se assemelhavam às do PSSC e que, por causa disso, foi a instituição responsável por traduzir e implantar esse projeto no país. Em 1962, foram ministrados cursos com o intuito de habilitar os professores a aplicar o projeto no Brasil. O sucesso desses cursos fez com que a demanda ampliasse, de modo que aqueles que já haviam feito o curso começaram também a ministrá-lo. O mais importante não foi a eficiência dos cursos na melhoria do ensino, mas sim o incentivo que o PSSC em si trouxe na criação dos projetos nacionais.

A divisão de ensino da UNESCO, dirigida por Albert Baez, lançou diversos projetos pilotos em muitas partes do mundo, sendo um dos primeiros o “Projeto Piloto para novas técnicas e métodos para o ensino de física na América Latina” (Tradução e adaptação do livro *UNESCO PILOT PROJECT on New Methods and Technique in Physics Teaching* (BERGVALL e JOEL, 1964). No Brasil, quem se responsabilizou em receber esse projeto e implantá-lo foi o próprio IBECC, que na época era coordenado pelo Dr. Isaías Raw e a Sra. Maria Sebastian Ormastroni. A justificativa de Albert Baez para a escolha do IBECC como encarregado da aplicação do projeto no Brasil foi a seguinte: “Elegemos o IBECC, pois vinha

trabalhando de maneira eficaz durante 10 anos na criação, produção e distribuição de equipamentos laboratoriais baratos para o ensino médio no Brasil.” (FERREYRA, 1979).

Em janeiro de 1962, organizou-se o I Curso de Verão, no qual foram preparados 40 professores, que lideraram o PSSC na América Latina. Nesta oportunidade, entre outros professores dos EUA, o Dr. Uri Haber-Schaim do *Educational Services Incorporated*, entidade que supervisionava o PSSC, esteve presente. O curso foi repetido em 1963, em caráter nacional, dirigido por um grupo de professores do Brasil e de um professor-visitante do EUA. E aos poucos foram se multiplicando os cursos locais liderados pelos participantes do I e II Cursos de Verão. (HABER-SCHAIM, 2006)

O PSSC teve muitas edições, mas todas sempre enfatizaram os princípios fundamentais da física de modo a evitar a memorização e tentar cativar os alunos para a aprendizagem pelo uso de recursos auxiliares como filmes, slides, laboratórios e leituras complementares. O material incluía questões abertas que proporcionavam discussões em grupos, além de um guia que orientava o uso dos equipamentos experimentais, lembrando que as informações ali contidas não possuíam detalhamento, não eram roteiros com instruções detalhadas de como desenvolver os experimentos. Tinha como crença o fato de que o aluno só iria conseguir aprender ciência por meio da atividade experimental, característica que ficava explícita no guia de laboratório: “As ideias, os conceitos, e as definições, só têm, na verdade, um sentido efetivo quando baseados em experiências” (PSSC, 1963). A experiência do laboratório, segundo o PSSC, possibilitaria ao aluno se ver no papel de um cientista, envolvido nas descobertas científicas:

Ao realizar experiências cujo resultado, de antemão, lhe é desconhecido, fica o aluno tomado por uma sensação de participação pessoal nas descobertas científicas; tornam-se-lhe mais significativas a ciência e a importância do cientista (PSSC, 1963).

Segundo Zacharias (KING, 2006), era essencial que o ensino fosse baseado na experimentação e não em abstrações, vindo sempre antes de quaisquer fórmulas ou gráficos. Acreditava ainda que a prática da experimentação poderia levar até a novas descobertas científicas.

Percebe-se aqui o valor dado à atividade experimental naquele momento histórico. O PSSC pretendia que o aluno tivesse uma participação ativa no manuseio do material, buscava sempre fazer relações com situações problema, além de incentivar a prática de atividades experimentais bem como dar ênfase ao desenvolvimento teórico da física. Com essa estrutura, era esperado que o estudante se aproximasse da atividade científica, desenvolvendo uma nova visão da educação.

No Brasil, em 1996, com as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN) elaboradas pelo Ministério da Educação e Cultura (MEC), dentre as competências colocadas como objetivos a serem alcançados na formação, está a capacidade do formando em física de dominar os conteúdos científicos, e mais que isso, conseguir, a partir deles, descrever e explicar fenômenos que ocorrem na natureza. Para que essas competências possam ser interiorizadas pelos alunos foram propostas habilidades a serem desenvolvidas ao longo da graduação. Algumas delas podiam ser trabalhadas em aulas laboratoriais, uma vez que o MEC recomenda:

diagnosticar, formular e encaminhar a solução de problemas físicos, experimentais ou teóricos, práticos ou abstratos, fazendo uso dos instrumentos laboratoriais ou matemáticos apropriados (MEC BRASIL, 2001).

Resolver um problema experimental requer o conhecimento dos instrumentos usados, sua funcionalidade e as diferentes medições que ele possibilita. O processo de “reconhecimento” dessas características muitas vezes requer um tempo em que apenas se manuseia os instrumentos, sem se preocupar com possíveis medições a serem feitas. Adquirida a compreensão necessária sobre as ferramentas, pode-se identificar quais grandezas são passíveis de medição e com que objetivo. Um pleno conhecimento da realidade, e quais são as leis físicas que a regem, permite o desenvolvimento de experimentos e posterior extração de dados.

Assim, com o uso de laboratórios, o MEC visa estimular o processo de coleta e análise de dados por meio de atividades experimentais, uma vez que no laboratório o aluno tem a oportunidade de manusear os equipamentos, elaborar hipóteses, extrair medidas, coletar dados, parametrizar as equações que descrevem os fenômenos da natureza e tirar conclusões.

Em seu trabalho, Ma e Nickerson (MA e NICKERSON, 2006), ao analisar cursos de engenharia, destaca quais seriam os objetivos das atividades experimentais do ponto de vista da ABET (*Accreditation Board for Engineering and Technology*). Trata-se de competências e habilidades a serem desenvolvidas no processo de ensino, condições similares às apresentadas pelo MEC. Dentre os objetivos propostos pela ABET para uma atividade de laboratório estão a compreensão conceitual e as habilidades de planejamento, assim como as profissionais e sociais. Essas, por sua vez, dependerão da formação dos estudantes (NARDI, 1998). Para ele, o pensar na ciência desde o ponto de vista da formação aponta na direção de duas ideias bastante recorrentes no uso da experimentação:

As leis ou teorias científicas existem na natureza e podem ser descobertas pela investigação científica, ou seja, através da observação sistemática. A partir da experimentação ou medição as leis e teorias são criadas. A função do experimento na ciência é comprovar as hipóteses ou teorias levantadas, as quais podem então ser chamadas de leis e consideradas verdadeiras. Portanto são científicas somente as afirmações comprovadas experimentalmente (NARDI, 1998).

Essas ideias são corriqueiras tanto por parte dos alunos quanto dos professores. A experimentação é uma representação da natureza “mais palpável” e dominável nos laboratórios onde são apresentados. Esse domínio dos experimentos é feito quando é possível manipular certas condições de contorno e com isso alterar o estado final de um fenômeno estudado. Durante esse processo certos resultados acabam por ser esperados, uma vez que as questões teóricas que circundam o fenômeno já foram alvo de pesquisas, dessa forma, o experimento acaba sendo uma maneira de validar o estudo já realizado.

Nardi (NARDI, 1998), em sua abordagem sobre experimentação científica, reproduz um diagrama (figura 1) apresentado por Holton (HOLTON, 1979) que traz o modelo de pensamento científico de Einstein.

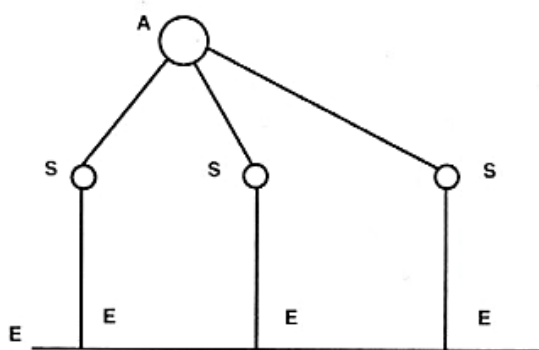


Figura 1: Modelo de pensamento científico de Einstein (NARDI, 1998).

No diagrama, *E* representa aquilo a que nós temos acesso, no caso experiências sensoriais, os fenômenos que podemos manipular; *A* são as verdades absolutas das quais são extraídas as consequências, que contemplam as leis físicas que serão dadas a conhecer e que a princípio já existem, no entanto não foram alcançadas; por fim, *S* representa a consequência da lei física que pode ser verificada experimentalmente e que comprovará o fenômeno *E* observado.

Nesse sentido percebe-se que “a ciência é uma troca irreduzível entre experimento e teoria, e assim, a separação total entre experimento e teoria não é desejável e nem possível” (MILLAR, 1987). Dessa forma tem-se a teoria servindo como organizador de fatos e os experimentos como artefatos que adaptam a teoria à realidade (NARDI, 1998).

No trabalho de Araújo e Abib (ARAUJO e ABIB, 2003) há uma revisão dos trabalhos publicados entre 1991 e 2001, em revistas nacionais que exploram o assunto “Atividades experimentais em ensino de física”. Nele é feita uma identificação das diferentes abordagens e finalidades que vem sendo atribuídas às atividades experimentais em sala de aula, de modo que os autores chegam a afirmar que as experiências têm sido apontadas por professores e alunos como um meio de diminuir a grande dificuldade que muitas vezes se enfrenta nas aulas de física. A partir da pesquisa realizada por eles, verificou-se que a experimentação conta com a vantagem de estimular a participação ativa dos alunos, proporcionando um ambiente de aprendizagem motivador.

Compartilhando desse pensamento, entendemos que no processo de ensino aprendizagem o experimento deve ser levado em conta. No entanto, existe uma variedade de categorias de atividades experimentais que, por mais que tenham como objetivo principal a busca pelo aprendizado, possuem sutis diferenças entre elas. Essa dissonância reflete-se na ênfase dada a cada proposta de experimentação, de acordo com o maior ou menor contato com os experimentos.

Um diagrama interessante proposto por Nardi (NARDI, 1998) enquadra muito bem cada uma dessas categorias de experimentação, no qual gradua o nível de contato que o aluno terá com cada atividade.

No nível A (figura 2) estariam os experimentos demonstrativos, com os quais os alunos mantêm apenas uma relação de apreciação. Ele observa o fato, reflete sobre o fenômeno, questiona em alguns casos, mas não manuseia. Esse tipo de experimentação busca chamar a atenção de um maior número de estudantes, tentando criar um incentivo que os induza a refletir e desenvolver o aprendizado. Usando uma classificação similar, Hohenfeld e Penido (HOHENFELD e PENIDO, 2009) buscam apresentar a importância de realizar atividades experimentais almejando sempre uma melhoria na transmissão dos conceitos científicos. Semelhante ao nível A de Nardi, eles classificam experiências desse tipo como Laboratórios de Demonstração, onde o professor é a figura central detentora de toda a manipulação do aparato, discussão e direcionamento das questões. Aqui, o uso do experimento serve para iniciar um novo questionamento e ilustrar o modelo teórico visto até então nas aulas expositivas. Nersessian (NERSESIAN, 1991) afirma que as experiências do tipo "*hands-on*", onde o aluno tem contato com o aparato experimental, estão "no coração da aprendizagem científica" e Clough (CLOUGH, 2002) declara que as experiências de laboratório "fazem a ciência tornar o ser humano vivo".

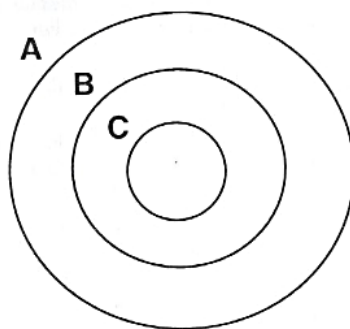


Figura 2 : Níveis de contato do aluno com a experimentação (NARDI, 1998).

No segundo nível, B, o contato do aluno com a atividade experimental é maior e mais demorado, uma vez que existe liberdade de manusear aparatos, coletar dados, realizar análises e estabelecer uma relação entre a teoria e a realidade. Na classificação de Ma e Nickerson (MA e NICKERSON, 2006) são nas chamadas atividades *hands-on* que os alunos têm a liberdade de manipular os equipamentos e, seguindo um roteiro previamente elaborado pelo professor, efetuar uma série de análises e chegando a determinadas conclusões.

Por fim, no último nível, C, estariam as atividades investigativas, onde o aluno, diferente de receber um roteiro com o que deve ser feito, recebe uma questão, um problema a ser solucionado. Para resolvê-lo, deve-se refletir sobre que montagem experimental é conveniente para buscar uma solução. Esse tipo de abordagem permite que o estudante levante uma hipótese de solução, desenvolva um planejamento para validá-la e obtenha novas informações que, ao serem interpretadas, direcionem para a solução do problema inicial (ZÔMPERO e LABURÚ, 2011). O sucesso dos laboratórios investigativos depende das questões propostas pelo professor, que devem ser interessantes e desafiadoras, para que os alunos possam investigar maneiras de solucioná-las (CARVALHO, 2006).

Dentre outras possibilidades que existem para realização de atividades experimentais estão também os chamados Laboratórios Virtuais, espaço esse que se utiliza de uma interface gráfica na qual se pode interagir com um fenômeno, modificando, por exemplo, algumas variáveis iniciais. Além disso, nesse laboratório, podem ser realizadas filmagens de situações reais e que posteriormente podem servir de base para uma análise quantitativa. Em especial essa análise pode ser realizada a partir de um programa de computador ou a partir de um método que possibilite analisar instantes sucessivos da situação filmada.

É na possibilidade da observação, da análise e da interpretação dos fenômenos, característica fundamental da experimentação, que a aprendizagem e o desenvolvimento podem se sustentar, mostrando que o uso do laboratório didático é essencial para o processo de formação dos educandos, sendo que sua exclusão do processo educacional poderá acarretar uma lacuna na busca da apropriação dos conhecimentos científicos (ROSA, 2003).

Em seu trabalho, Rosa (ROSA, 2003) afirma que, em uma atividade experimental, a mediação entre o que será visto em sala de aula e o conhecimento prévio que o aluno traz é fundamental para que haja assimilação do significado dos conceitos físicos; no caso deste trabalho, a questão da assimilação dos conceitos será entendida segundo os pressupostos de Piaget, que serão mais bem descritos no capítulo 3. Ele afirma que a figura do professor pode muitas vezes não aparecer “fisicamente”, uma vez que a proposta do laboratório é que os experimentos sejam realizados em horários alternativos aos das aulas. Dessa forma, o roteiro de instrução tem papel fundamental, pois, uma vez não presente a figura do professor, é necessário que exista um direcionamento, algo que aponte para onde o aluno deve olhar. Apesar de dar a impressão de ser um instrumento imperativo, o roteiro não está ordenando que ele veja determinada coisa, mas direcionando seu olhar para que consiga ver aquilo que sozinho não conseguiria.

No ensino de ciências, é importante contextualizar o problema e/ou o fenômeno antes de expor o conteúdo a ser dado (OERS, 1998). Qualquer recurso usado em sala, seja virtual ou não, necessita de um planejamento didático para ser implementado; ele deve permitir a interação do aluno de maneira a contribuir para construção do próprio conhecimento. Nessa linha de pensamento, Bruner (BRUNER, 1960) apresenta a ideia do “aprender fazendo” (*learning by doing*); ele defende que para adquirir experiência e desenvolver habilidades, o estudante precisa interagir com o objeto de estudo. As atividades computacionais podem ser, em muitos casos, o caminho para atingir esses objetivos.

Vale salientar aqui a importância do contexto no momento em que as atividades são propostas. O sucesso da experiência somente ocorrerá se seu conteúdo for adequado àquilo que esteja sendo tratado teoricamente na sala de aula. Não se trata apenas de algo concreto, onde o tema da experiência coincide com o tema da aula teórica, é necessário que todo o conjunto faça sentido para o aluno e que consiga aplicar o conhecimento teórico específico em uma atividade experimental (OERS, 1998).

Uma vez estabelecido o contexto, o processo de aprendizagem encontrará respaldo para se desenvolver. Não se trata apenas de uma coerência de conteúdos, mas de uma atividade que permita que os estudantes interajam entre si, discutam, construam explicações, busquem soluções e consigam aplicar o conhecimento adquirido (OERS, 1998). Enquanto facilitador da aprendizagem, o contexto pode ser interpretado de diferentes maneiras

dependendo do indivíduo, sendo imprescindível para o bom desenvolvimento da aprendizagem.

Por fim, para que todo esse mecanismo de contexto se desenvolva, é necessário que exista um objetivo a ser alcançado, uma motivação (OERS, 1998). Durante a proposição da experimentação é necessário que exista algo que recompense o aluno ao final da tarefa.

Outra questão que tem sido abordada nas atividades experimentais diz respeito ao quão atrativas elas podem se mostrar para o estudante. Situações novas e eventos inesperados muitas vezes surpreendem os estudantes e em alguns casos até os instigam a buscar explicações para aquilo que estão visualizando.

Os resultados surpreendentes da atividade experimental, o que inclui aspectos estéticos e intrigantes, que desestabilizem o conhecimento dos alunos também fazem parte de uma característica relevante e positiva a considerar em atividades experimentais a serem desenvolvidas em aula (GALIAZZI e GONÇALVES, 2004).

Nessa colocação de Galiazzi e Gonçalves (GALIAZZI e GONÇALVES, 2004) percebemos que assuntos inusitados podem gerar no aluno um interesse a mais. Fazer da aula um momento de exposição de novos conhecimentos pode ser tedioso para alguns estudantes. Por isso, adotar recursos que tentem despertar o ânimo pelo aprender pode ser uma estratégia, ainda mais quando esses recursos contrariam o senso comum, promovendo fenômenos que se comportam de maneira contrária à intuição.

Atividades que promovam a estranheza nos estudantes podem ser usadas não apenas em momentos de desinteresse, mas também em situações nas quais o conteúdo é difícil de compreender (WADSWORTH, 1996), tais como a dinâmica dos movimentos circulares ou de rotação, que serão trabalhados aqui, em que usamos o giroscópio, que é um aparelho cujo funcionamento gera surpresa.

O movimento peculiar desse equipamento acaba por provocar o interesse em se compreender seu funcionamento. Apesar do aluno se encantar com a “magia” que possa estar por trás do experimento, existe a necessidade de agregar conteúdos ao fenômeno e, a partir daí, explicá-lo por meio de uma linguagem científica.

Em referência a esse entendimento expresso em que a mágica e o show são sempre salientados, entendemos que a componente estética pode ser incorporada às atividades experimentais não por sua beleza e mágica somente, mas por configurar-se um conhecimento tácito que precisa ser problematizado (GALIAZZI e GONÇALVES, 2004).

O outro aspecto se relaciona ao conhecimento dos alunos ainda bastante arraigado à mágica, à beleza e ao show. Concordamos (...) que a atividade experimental não pode ficar só nisso e, a partir desse fator de surpresa, entendemos que precisam ser agregados aspectos que possam vir a

enriquecer o conhecimento de todos em sala de aula (GALIAZZI e GONÇALVES, 2004).

Além da experimentação, outro recurso que tem ganho espaço nas práticas de ensino são as tecnologias digitais. A proposta de experimentação que será desenvolvida neste trabalho enquadra-se no nível B proposto por Nardi (NARDI, 1998), sendo que dentre as características que o compõem, alguns elementos são priorizados: a coleta de dados, a análise e a lei física que descreve seu movimento. A seguir serão apresentadas algumas dessas aplicações buscando enquadrar o Laboratório Virtual analisado neste trabalho no cenário da experimentação no ensino da física.

2. AS TECNOLOGIAS DIGITAIS NO ENSINO

Nos dias de hoje, os professores em geral enfrentam muitos desafios: - como ministrar as aulas? - fazer uso de quais recursos? - quais conteúdos devem ser explorados? - qual a melhor metodologia a ser adotada? - como tornar a aprendizagem significativa para os alunos? A relação dos alunos com o conhecimento científico é, na maior parte das vezes, distante e particularmente não há um fascínio pelos conteúdos físicos. O que, para um cientista, pode ser uma descoberta que impulsionará novas conquistas, para o estudante, muitas vezes, não tem o menor significado. Por esse motivo, o processo de ensino é uma tarefa que requer dedicação e paciência. Nesse contexto é que a figura do professor se faz presente, com o desafio de transmitir o conhecimento científico produzido de uma maneira que seja compreensível e aceitável para os estudantes.

Na tentativa de cativar os alunos e atrair sua atenção, uma estratégia usada é o laboratório didático, onde são realizados experimentos nos quais é possível a verificação de um fenômeno físico. Dentro da classificação “laboratório didático” é possível fazer uma divisão entre um laboratório tradicional e um virtual. No primeiro, o aluno tem um contato físico com os equipamentos, manuseia-os de modo a obter posteriormente dados que lhe proporcionem medidas analisáveis; já no segundo caso, o aluno só tem um contato virtual com os instrumentos.

Essa estratégia de ensino tem se tornado cada vez mais presente nas salas de aula do ensino superior, sendo constantemente usada nas mais diversas atividades como em resolução de exercícios usando planilhas eletrônicas, simulações computacionais que recriam fenômenos naturais, programas que permitem fazer previsões de situações futuras, criação de ambientes virtuais etc.

Muitos trabalhos têm sido desenvolvidos acerca do uso desses laboratórios nas aulas de física, nos diferentes níveis de escolaridade e com diversas preocupações. Diante dessas possibilidades do uso dos computadores em atividades experimentais virtuais, é importante realizar um trabalho de busca do que vem sendo chamado na literatura de laboratório virtual e como ele vem sendo usado nas aulas de física. Assim, será possível localizar a proposta deste trabalho em um cenário maior da mesma área destacando suas contribuições.

2.1. APLICAÇÕES DA TECNOLOGIA NO ENSINO DE FÍSICA

No que tange o assunto tecnologia, podem ser feitas variadas classificações dos trabalhos já feitos. Uma categoria deles dedica-se a apresentar a estrutura e os métodos de construção de um ambiente virtual, iniciando-se com uma discussão sobre objetos de aprendizagem e as implicações desse método. Para isso, Sartori e colaboradores (SARTORI, HAAR e RAMOS, 2009) propõem analisar portais virtuais e julgar cada elemento do site, verificando como é aproveitado o ambiente virtual nos seguintes quesitos: espaço, estrutura, interatividade e intencionalidade. Essa análise visa mostrar o desenvolvimento da web e suas implicações no ensino fazendo uso para isso do “Portal do Professor”, desenvolvido pelo Ministério da Educação em parceria com o Ministério da Ciência e Tecnologia.

Nesse meio, o que se notou é que existem dois encaminhamentos pelos quais a Web moderna tem se dirigido. Primeiro, destaca-se o reuso de informações dispostas online, as quais podem ser recombinadas e reutilizadas em diferentes situações. A outra característica da web é a facilidade de produção de ambientes virtuais de maneira coletiva; a proximidade com a conexão virtual tem se mostrado uma realidade bastante palpável, o que vem sugerindo uma maneira de aproveitá-la como “repositórios de objetos de aprendizagem, que são a maneira institucional de disseminar material didático de forma estruturada” (SARTORI, HAAR e RAMOS, 2009). É importante diferenciar os repositórios, dos ambientes virtuais de aprendizagem (AVA), sendo o primeiro um espaço de armazenamento de conteúdo e o último um suporte para a educação formal, um espaço que promove a interação de usuários, suas trocas de experiências e consultas a materiais de apoio.

Na análise feita do Portal do Professor, Sartori percebeu que o espaço, anteriormente criado para funcionar como um repositório de material didático passou a adquirir elementos característicos de um AVA, como chats, fórum, inscrição para participação, etc.

Como resultado da análise do Portal, destacou-se que a presença de certos fatores na sua estrutura formativa reflete uma convergência dos mesmos com um AVA, adquirindo uma estrutura muito semelhante ao de aulas expositivas. No geral, a análise do portal feita por Sartori mostrou uma tendência dos cursos tanto presenciais quanto à distância de usarem essas plataformas como meio de divulgação de material, espaço de discussão em fóruns e chats com um ambiente colaborativo que contribua com a formação dos estudantes.

Outra questão acerca do uso das tecnologias, abordada pelo grupo de Miquelin (MIQUELIN, BEZERRA e SAAVEDRA, 2010), é como o professor faz uso das chamadas Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC), portanto esta classificação tem um foco maior nas ações dele. Esses autores aplicaram questionários que avaliam quais as principais

dificuldades enfrentadas pelos docentes, inclusive a falta de conhecimento deles ao lidar com a tecnologia. Para os autores, o principal objetivo é promover o uso pedagógico das ferramentas tecnológicas buscando métodos viáveis de aplicação. Como resultado desse trabalho, pode-se perceber a consciência que os professores possuem da formação pela qual passaram, e a deficiência que possuem quanto à habilidade com ferramentas tecnológicas. No entanto, acreditam que um empenho pessoal e o investimento na formação continuada sejam relevantes para que o uso das tecnologias possa ser implementado.

Resulta importante levantar aqui que, em qualquer aplicação de instrumentos tecnológicos, deve existir uma finalidade, esse uso deve almejar como resultado alguma construção conceitual por parte dos estudantes. O Guia das Tecnologias Digitais do MEC explicita essa ideia:

Embora se considere importante o uso de uma tecnologia, vale lembrar que esse uso se torna desprovido de sentido se não estiver aliado a uma perspectiva educacional comprometida com o desenvolvimento humano, com a formação de cidadãos, com a gestão democrática, com o respeito à profissão do professor e com a qualidade social da educação. Sabe-se que o emprego deste ou daquele recurso tecnológico de forma isolada não é garantia de melhoria da qualidade da educação. A conjunção de diversos fatores e a inserção da tecnologia no processo pedagógico da escola e do sistema é que favorecem um processo de ensino-aprendizagem de qualidade (MEC BRASIL, 2008).

Dessa forma, deixa-se claro que a aplicação das tecnologias não implica numa melhoria do ensino, tratam-se de ferramentas que cooperam almejando esse objetivo. Mas sempre vale destacar que uma atividade sem planejamento definido pode atrapalhar o processo de ensino. É como cita Postman (POSTMAN, 1994) “toda tecnologia tanto é um fardo como uma bênção, não é uma coisa nem outra, mas sim isto e aquilo”.

Da pesquisa feita por Miquelin (MIQUELIN, BEZERRA e SAAVEDRA, 2010) com professores do ensino médio, foi resgatado o diagrama da figura 3, no qual fica explícito o caminho a ser seguido desde a formação das tecnologias digitais até sua aplicação, por parte dos professores.

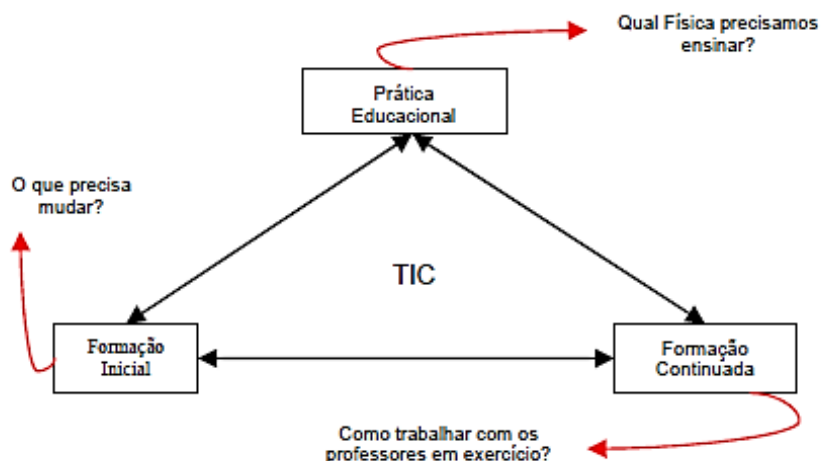


Figura 3: Diagrama do uso das TIC (MIQUELIN, BEZERRA e SAAVEDRA, 2010).

Nota-se que as tecnologias digitais se encontram no centro do triângulo e só são completamente concatenadas quando três pilares são solidamente firmados: formação inicial, prática educacional e formação continuada. A partir de modificações nos cursos de formação, isto é, maior acesso a disciplinas que apresentem possibilidades de uso de recursos tecnológicos no ensino, inicia-se um contato mais próximo dos futuros professores com as TIC. A partir do momento em que o aluno conclui seu curso e torna-se professor, ele deverá fazer uma verificação do conteúdo a ser ensinado para que alguma tecnologia possa ser usada de maneira a favorecer a aprendizagem. Estariam assim formados dois eixos da pirâmide, no entanto, as tecnologias se atualizam constantemente e o não acompanhamento do professor no mesmo ritmo pode vir a tornar seus métodos antiquados, por isso a necessidade de manter-se em constante formação. Essa seria a estrutura rígida que abarcaria as TIC dando suporte ao processo de ensino aprendizagem.

Nos trabalhos citados, apesar do assunto central ser voltado para as tecnologias na educação, o foco dado a eles não se assemelha a esta proposta de laboratório virtual, uma vez que lidam com questões mais voltadas a indagações sobre o uso da tecnologia e como essa estratégia de ensino pode ser implementada.

A partir dessa visão da experimentação no ensino de ciências, e do uso das tecnologias digitais aplicadas ao ensino, fica claro que a tentativa de unir as duas é bastante recorrente. A categorização de laboratórios didáticos que fazem uso dessas tecnologias é apresentada a seguir.

2.2. LABORATÓRIOS DIDÁTICOS VIRTUAIS

Avaliamos como os diversos recursos tecnológicos vêm sendo usados no ensino. Dentre as categorias que podem ser destacadas estão as simulações, os programas de análise, os laboratórios remotos e os experimentos filmados. Será dada uma ênfase maior na verificação de trabalhos que fazem uso de simulações e programas, visto que esse uso é mais comum na física; os laboratórios remotos serão brevemente apresentados, no entanto, a aplicação na área de ensino de física é um pouco menor em comparação com as aplicações feitas na área de automação e robótica; os experimentos filmados, utilizados neste trabalho, serão apresentados no capítulo 4. Cada uma dessas classificações possui certa semelhança, no entanto o processo de análise de cada uma tem significativa diferença.

2.2.1. SIMULAÇÕES

Lapa e colaboradores (LAPA, HOHENFEL e MARTINS, 2007) comentam que em diversas situações em sala de aula é exigido do aluno um grau de abstração elevado para que consiga compreender alguns fenômenos estudados, o que acaba se mostrando um obstáculo. Tratam-se de situações nas quais o professor faz uso de recursos como o giz e lousa, para tentar ilustrar situações dinâmicas, momento em que os estudantes devem possuir um alto poder de imaginação para conseguir compreender o que se propõe. Diante deste quadro, o autor defende que as TIC surgem como uma tentativa de superação dessa barreira, buscando resultados mais satisfatórios no ensino de física, na medida em que, usando modelos construídos a partir do computador, seja possível reproduzir fenômenos animados, possibilitando a mediação entre o aluno e os conceitos físicos que estão sendo explorados em aula.

Dentre os usos das TIC, principalmente com o computador em sala de aula, muitos autores, entre eles Coelho (COELHO, 2002) e Fiolhais e Trindade (FIOLHAIS e TRINDADE, 2003) colocam a simulação como exemplo. Para o grupo de Lapa (LAPA, HOHENFEL e MARTINS, 2007), as simulações possuem a característica de serem visualmente atraentes, pois permitem ver um fenômeno modelado. Esse apelo visual é importante para os autores que afirmam que as novas gerações de alunos, criadas em ambientes onde a imagem é parte fundamental do seu cotidiano, sentem-se muito mais confortáveis quando algum recurso visual é utilizado para a transmissão de algum tipo de informação (WOLFGRAM, 1994).

O laboratório de física implementado no âmbito das simulações é desenvolvido de modo que um programa de computador possa reproduzir situações físicas reais. Ainda sobre

a questão das imagens vistas na simulação, Lopes (LOPES e ELOI, 2009) acredita que o conjunto de cores e movimentos dados à simulação computacional acaba por atrair a atenção dos estudantes que se mostram deslumbrados com as possibilidades de interação, além de ser mais um dos muitos recursos disponíveis para uso em sala de aula.

Dentre os diversos usos do computador como recurso didático, a simulação ou modelagem é uma atividade que permite uma maior interatividade dos alunos com um determinado modelo físico. No ensino de Física tem, dentre outros, o objetivo de ilustrar e questionar o aluno sobre conceitos e modelos físicos. Assim, a modelagem computacional constitui um recurso didático no ensino de Física de atualização e enriquecimento das atividades de ensino (LOPES e ELOI, 2009).

Acredita-se dessa forma que as simulações possam dar um novo significado para o uso dos recursos tecnológicos em aula, sendo necessário não só apenas sua existência, mas a destreza necessária para usá-los de forma satisfatória (STUDART, 2015).

Uma classificação interessante feita por Lapa et al. (LAPA, HOHENFEL e MARTINS, 2007), baseada nos estudos de Coelho (COELHO, 2002), divide as simulações em estáticas e dinâmicas. Nas primeiras, o aluno pouco participa do processo de ensino-aprendizagem, já que na maioria dos casos apenas é possível a visualização do fenômeno; nas dinâmicas, a participação dos usuários é maior, uma vez que eles podem modificar os parâmetros da simulação à vontade, conseguindo ver a influência de cada uma dessas alterações no fenômeno estudado. Nessa última, é possível perceber uma situação onde o estudante tem maior autonomia, tanto com o professor presente, como em estudos individuais. Para esses autores “(...) as simulações no computador oferecem um grande potencial para permitir que os estudantes compreendam os princípios teóricos das Ciências Naturais a ponto de serem chamados Laboratórios Virtuais”. A simulação aumenta a percepção dos alunos, pois consegue reunir, em um único lugar, várias mídias, como a escrita, a visual e a sonora. Enquanto vantagem do uso desse recurso, é destacada a possibilidade de estabelecer uma relação entre os fenômenos tradicionais expostos em aulas teóricas com as situações estudadas num laboratório presencial. Nesse mesmo trabalho, os autores deixam claro que existem limitações nas simulações que devem ser levadas em conta, como por exemplo, a falsa sensação de que um fenômeno pode ser bastante simples quando, na verdade, existe muita complexidade envolvida, correndo-se o risco de confundir a simulação com a realidade do mundo cotidiano de fenômenos físicos (BARROS, 2011).

No trabalho de Anjos (ANJOS, 2008), as simulações também são classificadas como laboratório virtual e são discutidas como uma possibilidade, dentre muitas, do uso do computador como uma estratégia no processo de ensino e aprendizagem. O autor frisa que elas devem se adequar aos objetivos da aula e ainda que não tem a pretensão de substituir

os laboratórios presenciais. Para o autor, a simulação permite um tal grau de interação que proporciona ao aluno uma oportunidade de questionar fenômenos, levantar hipóteses e tirar conclusões, desenvolvendo ainda mais seu processo de aprendizagem.

Dias et al. (DIAS, PINHEIRO e BARROSO, 2002) levantam um comentário frequente entre os alunos: a física é muito desmotivadora quando ensinada teoricamente. Esse comentário é bastante pertinente quando o assunto se trata de Física Moderna, porque, em geral, experimentos nessa área requerem uso de aparatos um pouco mais elaborados e sofisticados, o que é limitado a escolas com mais recursos financeiros. Para vencer essa barreira da motivação, a simulação tem se mostrado um recurso bastante acessível. Um exemplo apresentado pelos autores é um programa que simula um detector de radiação Geiger-Müller. Mais uma vez é deixado claro que a simulação não visa a substituição dos experimentos reais, apenas mostra-se uma alternativa para lugares com limitações no quesito laboratório didático, uma vez que oferece a possibilidade de obtenção de dados bastante similares aos reais, podendo ainda complementar os resultados obtidos em laboratórios com equipamentos reais.

Lopes e Eloi (LOPES e ELOI, 2009) colocam como prioridade na proposta do uso dos simuladores, a interatividade que este material oferece. “Utilizando bem tais recursos, o professor poderá tornar suas aulas mais dinâmicas, facilitando e motivando a aprendizagem dos alunos” (LOPES, 2008). Outra vantagem com relação ao uso das simulações seria a sua forma de aquisição, uma vez que elas são facilmente encontradas já prontas na internet e na grande maioria dos casos de forma gratuita. Esses autores apresentam um exemplo de uso de simulações no ensino do movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV). Trata-se de um programa no qual é possível, a partir de um valor dado para a aceleração e velocidade, obter o gráfico de velocidade do corpo em estudo (figura 4). Dessa forma, torna-se possível ao aluno relacionar essas duas grandezas dependendo do sentido do movimento.

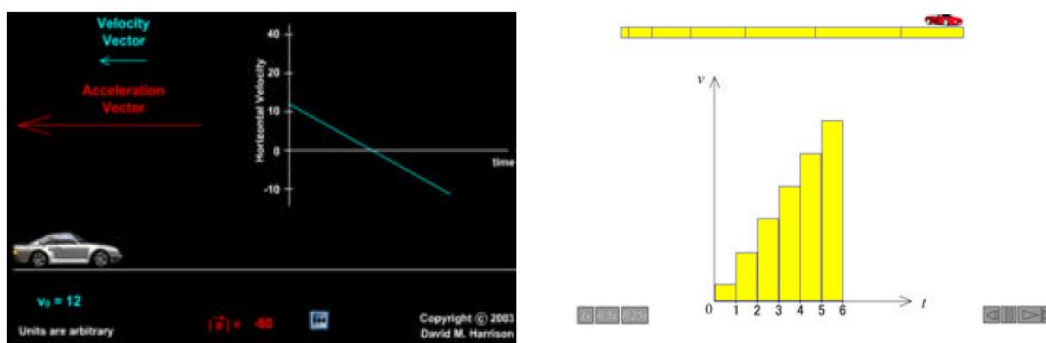


Figura 4: Interface da Simulação de MRUV (LOPES e ELOI, 2009).

É interessante notar que o gráfico construído é de barras, mas apesar disso ele traz a proporção exata do crescimento linear da velocidade. Simulações como essa se mostram como uma alternativa para ilustrar conceitos trabalhados em sala de aula e ainda desenvolver outras habilidades como a interpretação gráfica.

Avaliando a colocação desses autores a respeito das simulações, fica claro que elas têm se mostrado ferramentas bastante recorrentes e que comumente são classificadas como laboratório virtual. Uma observação praticamente geral coloca a simulação como um recurso que na maioria das vezes busca diminuir a abstração que os conteúdos teóricos exigem dos alunos. Outro ponto comum é que essa ferramenta virtual pode proporcionar uma instância de maior interação e envolvimento com os conteúdos físicos, já que com ela os estudantes teriam a oportunidade de alterar as condições iniciais e com isso os fenômenos que viriam a ocorrer, o que se mostra uma capacidade de previsão de um evento que poderia vir a ocorrer na realidade. Enquanto recurso didático, a simulação tem se mostrado uma alternativa viável em lugares com poucos recursos, sendo bastante acessíveis quando o acesso à internet é possível.

As simulações são um complemento para as aulas teóricas, desenvolvendo sempre habilidades e competências que em muito se diferem do laboratório presencial. É importante frisar que, enquanto no laboratório presencial a instrumentação, o manuseio de aparatos e a aprendizagem das funções dos equipamentos são desenvolvidos, no laboratório virtual quem ganha destaque é o processo de análise e interpretação de resultados, os quais encaminharão para uma conclusão que explicita as características do fenômeno em estudo. Por esse motivo é que ambos os laboratórios são complementares, como bem explicita Hohenfeld e Penido (HOHENFELD e PENIDO, 2009).

O laboratório convencional lida com instrumentos empíricos táteis enquanto os virtuais estão mais ligados no campo visual no ambiente virtual, ambos fornecem signos que operam no cognitivo dos estudantes através do pensamento. Requerem habilidades distintas que estão presentes no nosso cotidiano, o clicar e o pegar são ações muito frequentes em nossas vidas e de forma alguma podemos pensar que elas são excludentes (HOHENFELD e PENIDO, 2009).

O trabalho sobre o uso das simulações descrito por Toth (TOTH, 2008) estaria agrupado no âmbito das atividades experimentais investigativas. Tendo como base o estudo do DNA, os alunos podem alterar parâmetros das situações analisadas e tirar conclusões. Nesse laboratório virtual as situações são simuladas de maneira onde é possível observar fenômenos que acontecem no decorrer do processo de estudo do DNA, fato que não seria possível trabalhar nos laboratórios *hands-on*, onde apenas o estágio final é detectado.

No trabalho de Koretsky (KORETSKY, AMATORE, *et al.*, 2008) é descrita a criação, implementação e avaliação de um laboratório virtual baseado em simulações. A ideia é que com ele seja possível estudar o processo de deposição de vapor químico. Esse laboratório é aplicado com alunos de engenharia da Universidade Estadual de Oregon. Nessa proposta, os alunos se comportam como engenheiros praticantes na indústria que tem a tarefa de simular as atividades em um laboratório real. No trabalho é salientado o fato de que laboratórios presenciais para engenharia requerem em geral equipamentos sofisticados que precisam tanto de manutenção como de supervisão constante, fatores esses que seriam dispensáveis no laboratório simulado.

Koretsky esquematiza o processo de análise desenvolvido com o uso do simulador em um diagrama reproduzido na figura 5.

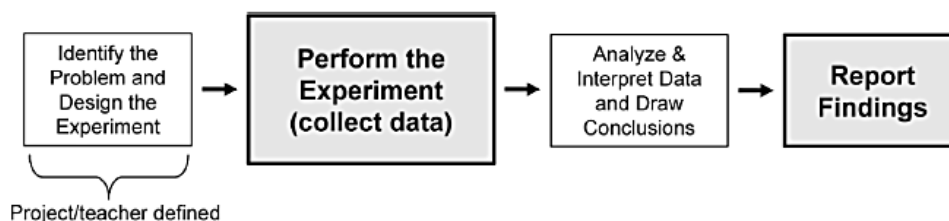


Figura 5: Sequência adotada para o desenvolvimento da atividade virtual (KORETSKY, AMATORE, *et al.*, 2008)

A estrutura criada para a simulação indica a existência de um problema a ser resolvido, o qual é definido pelo professor. A partir desse problema os alunos dão início ao processo de coleta e análise de dados, interpretando e tirando conclusões que são sintetizadas e então relatadas ao professor para avaliação.

O trabalho de Coutinho (COUTINHO e TEIXEIRA, 2011) se aproxima do que se pretende desenvolver neste trabalho. Ele defende a hipermídia como um recurso didático, acreditando que o uso da tecnologia é essencial no processo de ensino-aprendizagem:

Uma forma de utilizar a hipermídia educacional de Física, não como uma ferramenta auxiliar, mas sim, como um recurso essencial no processo de ensino-aprendizagem das leis e conceitos Físicos (COUTINHO e TEIXEIRA, 2011).

É interessante notar que essa sugestão se afasta um pouco do pensamento convencional, onde as tecnologias são vistas como complementares ao ensino, podendo ser ou não aderidas a esse processo. A proposta apresentada por Coutinho faz uso de uma hipermídia do projeto norte americano PhET (*Physics Education Technology*) da Universidade do Colorado. Nesse ambiente, são disponibilizadas muitas simulações interativas envolvendo fenômenos físicos.

A hipermídia foi usada no início das aulas; ao invés de existir uma apresentação do que seria trabalhado, preferiu-se apresentar o simulador e, a partir dele, desenvolver os conteúdos da aula. Uma questão foi proposta de modo que a hipermídia seria uma ferramenta que ajudaria a resolvê-la.

Para o grupo de pesquisa de Shin (SHIN, YOON, *et al.*, 2002), os simuladores seriam tão eficazes quanto os laboratórios tradicionais, permitindo que o estudante interaja com uma situação simulada e consiga aplicá-la ao mundo real. Por outro lado, as críticas a esse tipo de laboratório vão no sentido de ele não proporcionar dados verdadeiros e ainda de manter o aluno afastado do mundo real (MAGIN e KANAPATHIPILLAI, 2000). Apesar das simulações retratarem um fenômeno físico, a realidade não se encontra ali presente, ou seja, a lei que governa uma situação real filmada é a física, e na simulação, é a do programador. Os resultados só foram possíveis porque as condições físicas foram devidamente programadas para possibilitar a obtenção de resultados que indicam consequências reais, no entanto, qualquer ajuste ou omissão de circunstâncias reais poderá alterar esses resultados ou até mesmo impedir o surgimento de casos peculiares ou situações onde determinadas leis físicas não seriam válidas.

2.2.2. PROGRAMAS

Enquanto as simulações são idealizadas por meio de programação, os programas (*softwares*), em geral, são usados em situações reais. Essas situações são obtidas por meio da filmagem do fenômeno, de modo que o vídeo é editado e analisado por meio de um

programa de computador específico. Serão descritos na sequência apenas alguns dos muitos programas existentes, uma vez que o princípio de uso de todos é bastante semelhante.

Como visto, o laboratório didático implementado de maneira virtual pode ser concebido de diferentes maneiras. Os programas são feitos de modo que a partir da filmagem de uma situação real seja possível uma análise quantitativa. Presoto (PRESOTO, LENZ, *et al.*, 2011) apresenta um programa traduzido e readaptado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) para ser usado por alunos e professores no Brasil. Trata-se de um *software freeware* (gratuito) chamado Tracker (BROWN, 2014). Esse programa permite a rápida construção de gráficos e ajustes de curvas a partir de um vídeo (figura 6).

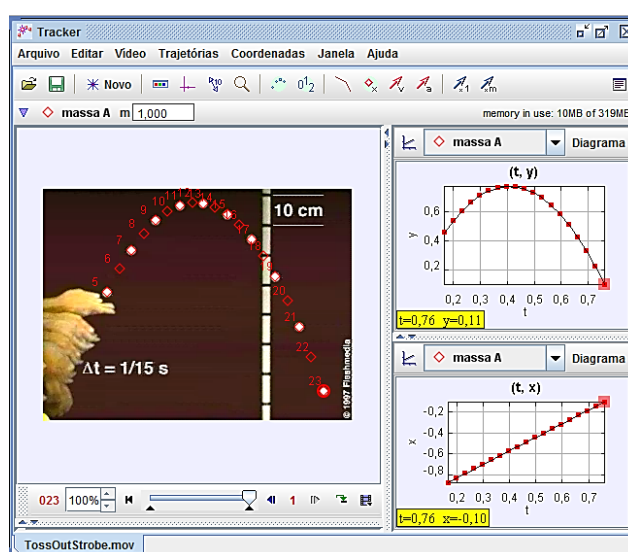


Figura 6: Interface do Tracker (PRESOTO, LENZ, *et al.*, 2011).

Para que isso seja possível, o programa vale-se de um recurso intrínseco de um filme: sua composição. Em outras palavras, admitindo que um vídeo nada mais é do que um conjunto de quadros exibidos em sequência, numa certa frequência que dependerá do aparelho usado para gravação. A filmagem mais comum é a de 30 frames (quadros) por segundo, de modo que o θ consegue decompor o filme nesses quadros e exibi-los um a um.

Qualquer filme pode, então, ser aberto com o programa. Dependendo do movimento, os diferentes quadros exibidos serão analisados a partir de um clique feito pelo usuário sobre o objeto, que ocupa uma posição definida em cada um deles; o clique informa ao programa que, por conta própria, transforma-o numa coordenada, no caso a posição. Depois de marcados os pontos, o programa consegue construir um gráfico do movimento, uma vez que o intervalo de tempo entre um frame e outro é conhecido. A partir do gráfico obtido, pode-se fazer um estudo do movimento em questão, avaliando e fazendo previsões no caso de alguma variável inicial ser alterada.

Um fator importante que não deve faltar no vídeo é a exibição de alguma referência de comprimento conhecida, que será a base de conversão dos pontos marcados no decorrer da análise, uma vez que o software trabalha em unidades de pixel.

Batista (BATISTA, SILVA, *et al.*, 2011) categoriza os programas como um material didático complementar que permite ao aluno interagir com o conteúdo. Em seu trabalho, é descrita a aplicação de uma atividade experimental que usa um recurso computacional educativo dessa natureza. A partir da aplicação, visa-se comparar a eficácia do método tradicional, ou seja, aulas com “giz e lousa” em relação às novas tecnologias. No programa, denominado Modellus (TEODORO, VIEIRA e CLÉRIGO, 2011) (figura 7), existe a possibilidade de simular lançamentos de projéteis. O aluno fornece alguns parâmetros iniciais como velocidade, ângulo e posições de lançamento e com isso tenta solucionar a questão central – acertar um alvo com o objeto lançado no simulador.

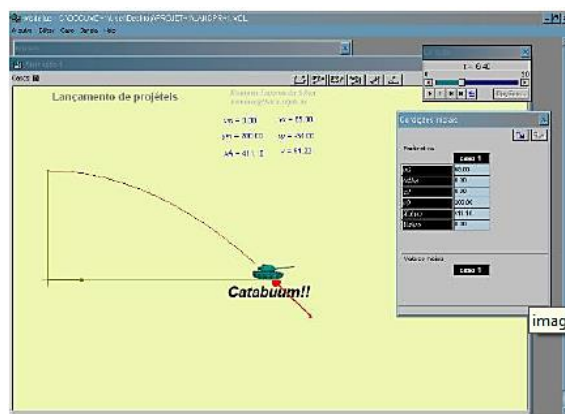


Figura 7: Interface do programa Modellus (BATISTA, SILVA, *et al.*, 2011).

Realizados os testes propostos, os estudantes entregam relatos nos quais pode-se avaliar o uso de unidades, manipulação de fórmulas e interpretação do movimento. Para Batista, “em física é fundamental ter em mente o que está ocorrendo, para assim, chegar corretamente aos cálculos”. Percebe-se aí uma visão bastante tradicional onde a experimentação ilustraria a teoria, no caso, os cálculos. Em sua conclusão, fica claro que a aplicação dessa atividade diferenciada proporcionou bons resultados, melhorando o rendimento estudantil. No entanto, para o autor, o sucesso dependerá sempre da preparação e desenvoltura do professor no decorrer dos trabalhos:

O software, como ferramenta auxiliar, tornará mais eficaz a aprendizagem do aluno se houver uma orientação correta do professor sobre o tema trabalhado e quanto à utilização do software (BATISTA, SILVA, *et al.*, 2011).

Apesar de ser uma afirmação pessoal do autor, o bom aproveitamento do material dependerá também de outros fatores, um dos quais é a postura do próprio aluno, que será melhor discutida no capítulo 3.

Ainda nesse grupo de trabalhos, é conveniente destacar o de Barroso e colaboradores (BARROSO, BEVILAQUA e FELIPE, 2006). Em sua dissertação, ele trata do processo de produção de aplicativos computacionais e propõe a criação de uma atividade que use o aplicativo desenvolvido. O autor fala dos princípios de construção, o processo de criação e o uso desses recursos computacionais, os conceitos físicos envolvidos nos experimentos e porque podem servir de ilustração para os alunos de modo a facilitar o processo de ensino. Essa afirmação é sustentada pelo fato de o programa buscar suprir dificuldades como as constantes confusões conceituais, exemplificada com o caso da formação de imagens por refração; tornar possíveis experimentos de pensamento, como as situações discutidas na relatividade restrita (FELIPE, BARROSO e PORTO, 2006); permitir análises experimentais com maior diversidade de parâmetros, como por exemplo no tópico de oscilações (NEUMANN e BARROSO, 2006).

Presoto e colaboradores (PRESOTO, LENZ, *et al.*, 2011) descrevem o objetivo do seu trabalho como o de “dar ênfase ao tratamento dos dados e à interpretação da situação física”. Assim, esse instrumento mostra-se como uma alternativa para incrementar as aulas para qualquer nível de ensino.

O Laboratório Virtual de Física na Internet (IVPL), apresentado por Yang e Heh (YANG e HEH, 2007) foi desenvolvido para proporcionar uma aprendizagem a partir de um ambiente que armazenasse experimentos físicos. O objetivo do laboratório bastante se assemelha ao que pretendemos trazer neste trabalho:

Apoiar a compreensão dos alunos do ensino secundário, em conceitos de física abstrativos, auxiliar na resolução cooperativa de problemas ao fazer experimentos de física e completar a insuficiência de equipamentos na escola (YANG e HEH, 2007).

Aqui, a abordagem dada fará referência aos pressupostos de Piaget, que servirão de orientação para avaliar uma atividade que provocou no aluno um desconforto que serviria de propulsor na busca por novos conhecimentos.

A partir de pesquisas, os criadores do IVPL admitem que o uso de experimentos científicos é a melhor maneira de dominar as habilidades dos processos das ciências, além de acreditar que estudantes de salas com aulas construtivistas desenvolvem melhor esses processos (YANG e HEH, 2007).

Com esses princípios, foi desenvolvido um ambiente virtual no qual várias situações filmadas são disponibilizadas, dentre as quais estão “Conservação de Energia”, “Imagens de

Lentes”, “Instrumentos Eletrônicos” e “Queda livre de objetos”, a qual será melhor descrita na sequência.

A primeira etapa do laboratório consiste na identificação de um problema, que é trazido por meio de uma animação. Os estudantes são então induzidos a levantar conceitos físicos envolvidos naquela situação e ainda trazer exemplos do cotidiano para ilustrar o fenômeno. No próprio IVPL há um espaço destinado a essa explicação.

A etapa seguinte destina-se à transformação da situação em problema, momento esse em que os alunos deverão assistir a um vídeo onde é reproduzida de maneira real a situação vista na animação e explorar as ferramentas disponíveis no IVPL. Em seguida, eles devem identificar as variáveis ou grandezas físicas envolvidas na situação.

Nas ferramentas disponíveis para análise do vídeo proposto, os alunos têm a possibilidade de operar instrumentos virtuais (régua vertical, régua horizontal, transferidor, conversão de escala) para medir a distância de uma bola a partir de uma posição elevada do chão. O cronômetro e a calculadora fornecida pelo IVPL ajudam os estudantes a calcular as relações matemáticas de tempo, distância, velocidade e aceleração com mais precisão e mais rapidamente. O método de análise se dá passo a passo, ou seja, o vídeo pode ser exibido em instantes de modo que o aluno consegue obter uma posição e um tempo simultâneo (figura 8).

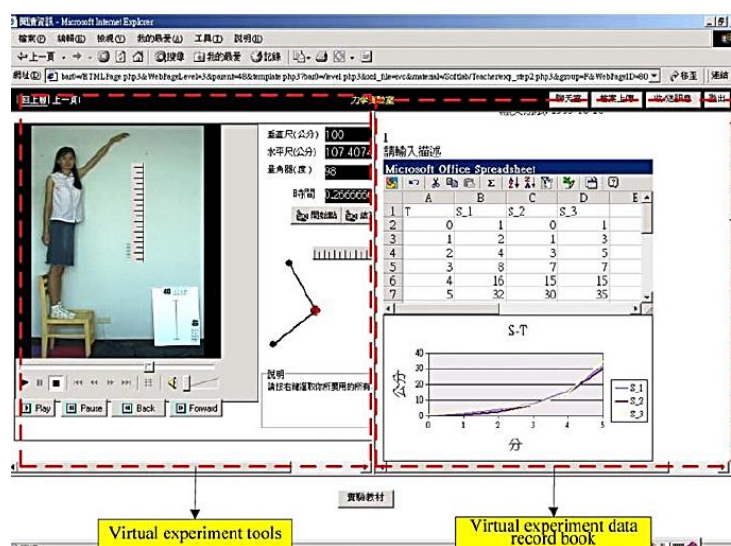


Figura 8: Interface do IVPL (YANG e HEH, 2007).

Todos os dados coletados são armazenados numa planilha dentro do próprio programa, que fornece também a possibilidade de responder um questionário on-line e serve como avaliação do nível de compreensão obtido em cada experimento.

Existem também programas ou recursos que se utilizam de imagens digitais para fazer a análise de algum fenômeno. Um projeto desenvolvido pelo grupo de Serna (SERNA, LEMUS, *et al.*, 2011) traz uma proposta de laboratório virtual no qual um espaço real é digitalizado e posteriormente essa imagem é submetida a uma análise computacional. A análise é feita em três dimensões, de modo que o programa de computador esquadrinha cada espaço do ambiente e configura uma coordenada (figura 9). Para tanto, foi desenvolvido um algoritmo chamado DLT (*Direct Linear Transformation*). Antes de ser submetido à filmagem, adiciona-se marcas nos objetos e no plano de fundo, que servirão de referência para análise computacional.

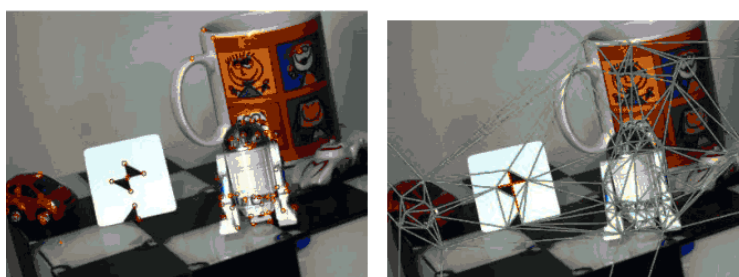


Figura 9: Imagens digitais submetidas ao processo de esquadrinhamento (SERNA, LEMUS, *et al.*, 2011).

Nesse trabalho, é apresentada uma maneira de registro de posições fornecendo um primeiro elemento que impulse o desenvolvimento de experiências virtuais no âmbito da física. Mostra-se como uma forma de complementar a realidade com uma análise virtual e, assim como outras propostas, visa um mesmo objetivo:

A vantagem de trabalhar com essas ferramentas permite (...) também apresentar o ensino de uma maneira mais atrativa por meio de modelos interativos que motivam e ajudam os jovens a generalizar e concretizar conhecimentos e conceitos, os quais se complementam com o ensino tradicional (SERNA, LEMUS, *et al.*, 2011)

Essa maneira de interpretar uma determinada situação a partir do registro de uma imagem marcada apropriadamente pode ser estendida para analisar experimentos reais a partir de quadros extraídos de sua filmagem. Essa modalidade será chamada Laboratório Virtual, que será descrito em detalhe no capítulo 4, e é o elemento que servirá de base para a elaboração deste trabalho.

2.2.3. LABORATÓRIOS REMOTOS

Os laboratórios remotos, incluídos na terceira modalidade, trabalham com a realidade, mas mediada pela tecnologia. Assim como nos laboratórios *hands-on*, os remotos necessitam de equipamentos e de um espaço físico para serem executados. A diferença é que os experimentos realizados neles podem ser controlados à distância com um computador. Esse tipo de laboratório tem se tornado comum e permitido ampliar a capacidade de um laboratório presencial, já que pode ser usado a distância por um número maior de estudantes (SHIN, YOON, *et al.*, 2002; YOO e HOVIS, 2004). O grupo de pesquisa de Scanlon (SCANLON, COLWELL, *et al.*, 2004), em seu trabalho, mostrou que alguns estudantes acreditam que o laboratório remoto é mais eficiente que os simuladores. Por outro lado, Keilson e colaboradores (KEILSON, KING, *et al.*, 1999) argumentam que os alunos ficam propensos à distração e impaciência ao lidar com o computador, o que comprometeria a concentração no processo de análises de dados obtidos remotamente.

Em uma pesquisa realizada por Ma e Nickerson (MA e NICKERSON, 2006), notou-se que os trabalhos que retratam os laboratórios remotos também dão ênfase à compreensão conceitual, no entanto parecem demonstrar que essa modalidade não permite desenvolver habilidades na questão da montagem experimental.

Nos dias de hoje, os laboratórios remotos têm se tornado populares (FUJITA, CASSANIGA e FERNANDEZ, 2003). Eles podem estender a capacidade de um laboratório convencional. Em um único espaço, o laboratório remoto pode ser flexível permitindo que o aluno realize o experimento quantas vezes que for necessário. Além disso, a análise pode ser feita no momento mais oportuno para o aluno (CANFORA, DAPONTE e RAPUANO, 2004).

O conceito de laboratórios remotos também tem sido aplicado na área de automação de manufatura e robótica (ÁLVARES e ROMARIZ, 1998). Álvares e Ferreira (ÁLVARES e FERREIRA, 1998) descrevem metodologias para criação desses laboratórios, afirmando que a internet é o grande facilitador desse processo, permitindo que qualquer dispositivo seja controlado a distância (ÁLVARES, FERREIRA, *et al.*, 2002). Uma das primeiras aplicações nessa área foi o sistema desenvolvido por Taylor e Trevelyan (TAYLOR e TREVELYAN, 1995) na Universidade da Austrália Ocidental. Tratava-se de um robô industrial controlado por meio de um programa conectado à internet. A partir de comandos é possível manipular objetos como o uso de uma garra. A figura 10 apresenta a interface do programa usado para fazer o controle do robô.

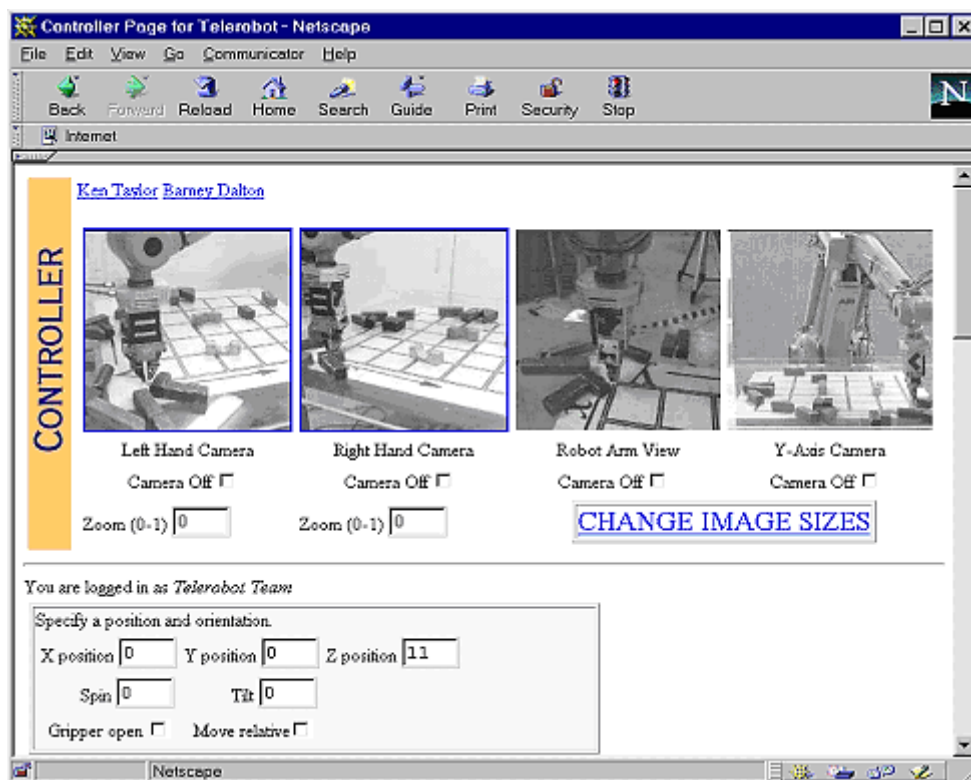


Figura 10: Interface do programa TeleRobot, que controla o movimento do Robô (ÁLVARES, FERREIRA, *et al.*, 2002).

Com esses novos recursos e técnicas, boa parte das linhas de produção podem ser acompanhadas e fiscalizadas remotamente a um custo extremamente baixo (MONTEIRO, 1997). As tarefas de acompanhamento típicas, tais como má-operação, diagnósticos e manutenção podem ser executadas diretamente do escritório do fornecedor ou mesmo de outra filial localizada a milhares de quilômetros de distância.

2.2.4. APLICAÇÕES DOS LABORATÓRIOS VIRTUAIS

Desenvolver experimentos de física fazendo uso de novas tecnologias tem se mostrado, até o momento, uma estratégia bastante recorrente entre os professores da área. Pérez, López e Ariza (PÉREZ, LÓPEZ e ARIZA, 2011) afirmam que as instituições de ensino atualmente estão colocando esforços consideráveis na área das tecnologias de ensino. Acredita-se que o uso de recursos combinados pode produzir mudanças na aprendizagem. Por conta dessa ideia, o método de mesclar atividades virtuais com as aulas teóricas tem sido aplicado em grande escala em aulas de primeiro ano dos cursos de graduação, já que este é um ano importante para determinar o compromisso do aluno com a universidade (HUON, SPEHAR, *et al.*, 2007). De acordo com esse estudo, percebeu-se um alto grau de utilidade, motivação e satisfação na aplicação dessas atividades, o que poderia levar os alunos a ter

uma atitude positiva em relação à aprendizagem. Além disso, dita conclusão indicou que essa estratégia de ensino reforça a compreensão dos alunos acerca de determinados temas, apoiando ainda mais o processo.

O grupo de pesquisa de Pérez (PÉREZ, LÓPEZ e ARIZA, 2011) mostra que as atividades *on-line* que foram incluídas na sequência tradicional do curso revelaram-se úteis para os alunos, já que nesse momento trabalharam de maneira independente e puderam aplicar o conhecimento que adquiriram. Outro ponto notado no trabalho é que o uso de atividades virtuais em conjunto com as aulas presenciais reduziu as taxas de abandono nos cursos. Percebeu-se que essas atividades mistas deram uma impressão mais agradável do curso, estimulando os alunos a se manterem ativos.

Apesar dos diferentes tipos de laboratório, a mistura entre eles vem sendo debatida. Não existe uma metodologia superior à outra, mas a importância de cada tipo de laboratório é percebida na situação em que é aplicada (MA e NICKERSON, 2006). Estudos sugerem que uma mistura de elementos pode ser superior a qualquer tecnologia única e que o que realmente importa pode não ser o tipo de laboratório, mas a eficiência de cada tipo em uma determinada situação (RIFPELL e SIBLEY, 2004; TUCKMAN, 2002).

Ma e Nickerson (MA e NICKERSON, 2006) refletem que talvez a noção de realidade possa ser alcançada pelos alunos não só em laboratórios hands-on, mas também em ambientes virtuais. A mistura adequada das tecnologias pode apontar para soluções que atendam tanto as restrições econômicas de determinados espaços (usando simulações e laboratórios remotos) quanto reforçar a compreensão de conceitos, tudo isso em conjunto com atividades que proporcionem interações que permitam o desenvolvimento da instrumentação.

Tendo em vista a aplicação das novas tecnologias em atividades que desenvolvem a experimentação, um questionamento pode surgir: seria possível verificar os resultados obtidos com a aplicação de uma atividade virtual? Que elementos poderiam ser usados na tentativa de avaliar o aproveitamento da proposta?

Em meio a essas dúvidas, serão apresentados no próximo capítulo alguns conceitos de aprendizagem que podem ser usados para direcionar uma resposta a esses questionamentos.

3. CONCEITOS DE APRENDIZAGEM

Buscar uma nova maneira de ensinar tem sido o desafio de grande parte dos professores. Mas como saber se essa aprendizagem realmente está acontecendo? Estaria sendo efetivo todo esse empenho? Tendo em vista essas indagações, serão abordados dois pensadores, David Ausubel e Jean Piaget, que desenvolveram conceitos que servirão para analisar como os estudantes têm recebido as propostas das atividades virtuais.

3.1. AUSUBEL E O SUBSUNÇOR

Uma tentativa de esclarecer sobre o que seria esperado de uma aprendizagem significativa se baseia nas ideias de Ausubel (AUSUBEL, NOVAK e HANESIAN, 1980).

Apesar de que no cotidiano sejam buscadas novas maneiras de lecionar, grande parte do ensino tem se pautado em um modelo mecanicista, onde a prática da memorização dos conceitos se mostra muito mais forte do que a compreensão do fenômeno em si (MOREIRA, 2012). No entender de Ausubel, o passo inicial na busca por uma aprendizagem significativa é a consideração acerca das ideias prévias que já estão na estrutura cognitiva dos estudantes. No entanto, essas ideias anteriores devem ser potencialmente relevantes, de modo que sirvam de subsídio para a compreensão de novos conceitos. A esse conhecimento prévio dá-se o nome de subsunçor ou ideia âncora. De maneira simplificada, trata-se de opiniões que o aluno já tem e que serão necessárias para a aprendizagem; elas abrirão um leque de possibilidades de aplicação que permitirão a compreensão de novos conceitos.

Se tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um só princípio, diria o seguinte: o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe. Averigue isso e ensine-o de acordo (AUSUBEL, NOVAK e HANESIAN, 1980, p.4).

Com essa primeira colocação, percebe-se a importância de uma interação entre conhecimentos prévios e novos. A partir dessa interação, algo novo será compreendido e o que já era sabido ganhará maior estabilidade no consciente cognitivo do aluno. A cada novo conhecimento que surgir, derivado da ideia principal, mais forte se tornará o subsunçor.

Um exemplo de subsunçor que os alunos possuem é o atrito; por percepções anteriores, o aluno poderia pensar que ele é responsável por diminuir velocidades e alterar o movimento de corpos. Para a maioria dos estudantes, a presença de uma força de atrito estará ligada a um retardo de movimento e quase nunca, a algo que de alguma maneira possa aumentar a velocidade de um corpo. A análise de uma força de atrito com a mesma direção do movimento, por exemplo, aquela que permite o caminhar das pessoas, acaba por gerar certo desconcerto nos estudantes. No entanto, situações como essa são extremamente produtivas para desenvolver a aprendizagem. Assim, pode-se concluir que a aprendizagem significativa se vale de conhecimentos prévios do aluno para desenvolver novos conceitos.

O indicativo da ocorrência de uma aprendizagem significativa pode ser notada quando o estudante não tem dificuldade em resgatar algum conteúdo visto no passado. Por mais que alguns conceitos estejam “esquecidos”, reaprender um certo assunto não será tão difícil; no entanto, se essa retomada se mostrar difícil, é sinal que a aprendizagem do conceito em questão foi mecânica. Assim, Ausubel mostra que aprender não significa não esquecer, esse fato é uma continuação natural da aprendizagem significativa. Os conceitos possuem a tendência de obliterar, desaparecer pouco a pouco, por isso é chamada assimilação obliteradora. Apesar disso, há uma fase de retenção de algumas ideias que compõem um resíduo de informação, ou seja, são subsunçores modificados. Apesar de novos conhecimentos poderem desaparecer aos poucos, de alguma forma eles estarão em algum subsunçor, o que facilitará a reaprendizagem.

O subsunçor é, portanto, um conhecimento estabelecido na estrutura cognitiva do sujeito que aprende e que permite, por interação, dar significado a outros conhecimentos (MOREIRA, 2012, p.4).

Todo o conjunto de conhecimentos que fazem parte do consciente do aluno é chamado de estrutura cognitiva. É ali onde se encontram todos os subsunçores; as ideias contidas em nosso consciente que podem se relacionar, se construir ou destruir. Estão dispostos em níveis hierárquicos distintos no meio dessa complexa rede de conhecimento prévio. Nessa estrutura cognitiva dois processos podem ocorrer durante o processo de aprendizagem: a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora.

O primeiro caso trata de um processo que ocorre internamente, onde o sujeito se esforça para modificar progressivamente os significados de seus subsunçores. O subsunçor ganha múltiplos significados à medida que novas interações são feitas entre o novo conceito e as ideias já existentes no consciente do indivíduo. Nessa situação, aquele conceito que antes parecia ter um significado restrito começa a oferecer explicação para um número maior de situações. Por exemplo, porque é mais fácil empurrar um objeto que já se encontra em

movimento do que outro que se encontra em repouso? Retomando o conceito do atrito, a explicação surge ao diferenciar o atrito estático do cinético e perceber que esse último é menor e por isso justifica a facilidade da ação sobre um corpo em movimento.

No caso da reconciliação integradora, as ideias estabelecidas na estrutura cognitiva podem, ao longo de novas aprendizagens, ser tanto reconhecidas como relacionadas. Busca-se, neste caso, corrigir pequenos deslizes que podem ocorrer na construção e desenvolvimento do subsunçor “atrito retarda o movimento”, por exemplo. Aqui, a questão é desmistificar o fato do atrito apenas retardar movimentos. Analisar que a força de atrito permite o deslocamento é uma maneira de transformar esse conceito.

Se ambos os processos, diferenciação e reconciliação, ocorrem simultaneamente, à medida que se tem contato com novos conhecimentos será necessário integrá-los de modo que juntos constituam um conhecimento sólido. Como no exemplo citado anteriormente, tanto mais características podem ser agregadas ao conceito de atrito de modo a torná-lo mais completo (diferenciação), quanto esse conceito pode ser reconciliado e integrado a novas situações mantendo sempre sua essência.

Ausubel ainda destaca que o aprender significativamente não precisa estar completamente correto e nem implicar no “não esquecimento”. O ponto chave desse tipo de aprendizagem é quando o aluno consegue associar ao conhecimento uma nova questão (AUSUBEL, NOVAK e HANESIAN, 1980).

A NATUREZA DO SUBSUNÇOR E OS ORGANIZADORES PRÉVIOS

O processo interativo da construção do conhecimento é algo completamente ancorado. As ideias que os alunos possuem vão se fundamentando, ganhando novos significados e fortalecendo os conceitos que vão sendo estruturados e reestruturados.

Podemos afirmar então que os subsunçores preexistentes na estrutura cognitiva do aluno são fundamentais para que se possa desenvolver um processo de aprendizagem significativa. Mas uma questão que parece se mostrar inquietante é: como surge o subsunçor?

Em geral, o subsunçor tende a surgir quando uma determinada situação é vivenciada e aquela ocorrência é nomeada de uma maneira característica. Uma hipótese para o caso do atrito, por exemplo, seria a vivência de uma situação na qual a velocidade de um corpo que se move livremente foi diminuída por conta de alguma resistência; a essa entidade que se opõe à movimentação livre do objeto dá-se o nome, em linguagem cotidiana, de atrito. Dessa forma, toda vez que o corpo for freado, a questão do atrito será levantada. Outras questões poderão caracterizar novamente o atrito quando diferentes superfícies forem estudadas e o atrito que parecia ser apenas uma maneira de explicar o retardamento de um movimento

poderá ganhar mais significados; quando superfícies diferentes forem estudadas, entrará em cena o coeficiente de atrito.

Um ponto a ser destacado é o que Ausubel chama de assimilação. Esse processo ocorre quando o que o indivíduo já sabe interage com uma nova informação. O conhecimento que já existia possibilitaria a compreensão de outros, é a também chamada ancoragem subordinada. Voltando ao exemplo da força de atrito com a mesma direção do movimento, esse conceito permitiria assimilar e explicar outras questões como o caminhar, ou o atrito nas rodas de um automóvel, por exemplo.

Pode-se perceber que as chaves para um bom desenvolvimento da aprendizagem significativa são os subsunçores. No entanto, há de se levar em conta a possibilidade de o indivíduo não possuir o mínimo necessário para que esse processo ocorra. Esse é o momento em que os organizadores prévios são necessários.

A principal função do organizador está em preencher o hiato entre aquilo que o aprendiz já conhece e o que precisa conhecer antes de poder aprender significativamente a tarefa com que se defronta. (AUSUBEL, NOVAK e HANESIAN, 1980).

O organizador prévio seria qualquer tipo de recurso material de apoio que pudesse amparar o indivíduo: uma aula, a proposição de uma ideia, um vídeo, uma demonstração, qualquer material complementar que auxilie no desenvolvimento da ideia principal. Esses materiais, por vezes, podem ser usados antes mesmo do próprio conteúdo a ser aprendido, no entanto em um nível maior de abstração. Eles servem de ponte entre o que o aluno já sabe e o que ele precisa saber para que possa aprender significativamente. De maneira geral, o objetivo principal do organizador prévio é mostrar que o mínimo de conhecimento que o indivíduo tem é importante para a construção de novos conceitos.

CONDIÇÕES PARA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Para que a aprendizagem ocorra de maneira significativa, são necessárias duas condições, como explicita Moreira (MOREIRA, 2012). Em primeiro lugar, o material didático fornecido ao aluno para lhe auxiliar na busca do conhecimento deve ser potencialmente significativo; em segundo lugar, entra em cena o papel do aluno, que deve estar disposto a buscar novos conhecimentos e possuir uma estrutura cognitiva que lhe dê suporte a essa procura.

Nesta investigação, uma pergunta que pode surgir seria: o Laboratório Virtual estaria promovendo um ambiente potencialmente significativo para a aprendizagem? Os alunos

estariam achando esse espaço adequado? Talvez essas questões possam ser respondidas nos próximos capítulos, quando a opinião dos estudantes vier à tona.

A disposição do aluno pode ser interpretada como a segunda condição necessária para a aprendizagem, que talvez seja a condição mais desafiadora. Isso ocorre muitas vezes devido ao estilo de ensino que é proposto no ambiente escolar. Se existe um ambiente de cobrança, onde as tarefas realizadas são passíveis de avaliação e imprescindíveis para aprovação, muito provavelmente a atividade será realizada, no entanto a atenção e o empenho dedicados a ela poderão, muitas vezes, ser dispendidos de maneira mecânica, sem buscar uma reflexão sobre o que está sendo estudado na atividade. É claro que essa atitude varia entre os indivíduos, porém situações como essa não podem ser ignoradas. Para que a atividade virtual faça sentido para o aluno, é necessário que ele tenha uma predisposição para relacionar os conteúdos trazidos ali com conhecimentos que já possua ou até mesmo que tenha visto recentemente em sala de aula.

Relacionando as condições para que ocorra uma aprendizagem significativa, Ausubel sugere que o material potencialmente significativo deve possuir um significado lógico, que contemple os subsunçores dos alunos. Esse significado lógico deverá se transformar em um conhecimento científico na estrutura cognitiva do estudante quando ele estiver disposto a aprender e usar seus subsunçores.

Outra questão que deve ser considerada é que o aluno pode não possuir os subsunçores adequados para desenvolver sua aprendizagem, e é nesse momento que os organizadores prévios entrariam em cena; o material usado, por exemplo, deve ser potencialmente significativo a fim de dar subsídios ao aluno para buscar um caminho para sua aprendizagem.

Quando o sujeito atribui significados a um dado conhecimento, ancorando-o interativamente em conhecimentos prévios, a aprendizagem é significativa. (MOREIRA, 2012, p. 8)

Nesse modelo proposto por Ausubel, a variável que sempre merece destaque e que afeta diretamente a aprendizagem significativa é o conhecimento prévio do indivíduo.

A clareza, a estabilidade e a organização do conhecimento prévio [...] é o que mais influencia a aquisição significativa de novos conhecimentos [...] no qual o novo ganha significados, se integra e se diferencia em relação ao já existente que, por sua vez, adquire novos significados, fica mais estável, mais diferenciado, mais rico, mais capaz de ancorar novos conhecimentos. (MOREIRA, 2012, p. 9)

Essas etapas são interpretadas como um processo interativo, onde as ideias preexistentes vão ancorando novos conhecimentos, de maneira dinâmica, uma vez que elas sempre se modificam, se tornando conceitos móveis e que sofrerão mudanças. Por outro lado, outros tipos de aprendizagem podem se desenvolver na ausência de uma aprendizagem significativa, como será apresentado a seguir.

OUTRAS CLASSIFICAÇÕES DE APRENDIZAGEM

Ausubel destaca que não se pode estabelecer uma dicotomia entre a aprendizagem mecânica e a significativa; elas estão envolvidas em um processo contínuo e progressivo, podendo existir rupturas que permitam o conhecimento do novo. Mas é ilusório pensar que a passagem entre uma e outra é natural; trata-se de etapas que são construídas e totalmente dependentes dos subsunçores dos indivíduos. Na aprendizagem significativa, as etapas de aquisição de significados é a mais difícil de ser atingida. Adquirir o domínio da situação de modo a promover a ancoragem dos conceitos é o grande desafio do ensino.

Existem também outras duas classificações possíveis para a aprendizagem: a receptiva e a aprendizagem por descoberta. No primeiro caso, o aluno é colocado diante de uma nova situação de modo que será necessário desenvolver o conhecimento de novos conceitos para interpretá-la. Essa busca é o que tornaria a aprendizagem significativa, uma vez que a passividade cederia espaço às interações características como a “captação de significados, ancoragem, diferenciação e reconciliação”. Na aprendizagem por descoberta, onde o indivíduo necessita investigar, ele visa a solução de alguma situação que lhe for imposta, não sendo necessário que isso resulte numa aprendizagem significativa. Entre essas duas aprendizagens também não existe uma dicotomia, uma vez que o conhecimento não se constrói por uma ou por outra forma de maneira excludente. A figura 11 sintetiza a evolução conceitual entre as aprendizagens.

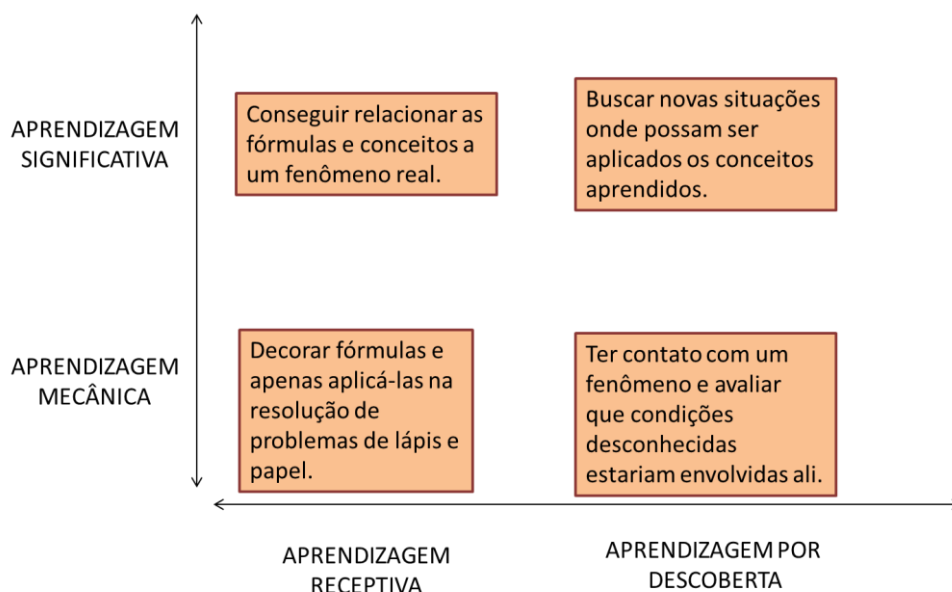


Figura 11: Esquema baseado no diagrama de Novak (NOVAK, 1998), que apresenta a evolução de um conceito passando pelas diversas possibilidades de aprendizagem.

Para Ausubel, o esquecimento é uma decorrência natural da aprendizagem significativa, chamada por ele de assimilação obliteradora, que ocorre quando o conceito vai desaparecendo pouco a pouco da estrutura cognitiva do aluno. Nos termos de Ausubel, os conhecimentos prévios existentes (subsunçores) vão perdendo a ancoragem com os novos conceitos. No entanto, por mais que exista esse esquecimento há uma particularidade que permitirá classificar se a aprendizagem ocorreu de maneira significativa ou mecânica. Se sobrou algum resíduo do conhecimento e o indivíduo tem uma mínima noção do assunto em questão, então um retorno ao estudo e uma revisão daqueles conceitos já aprendidos permitirão que ele reestabeleça a ancoragem dos conceitos. Na aprendizagem mecânica, o esquecimento é praticamente total. As novas informações são aprendidas praticamente sem interação com conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva do indivíduo. Casos frequentes desse tipo de aprendizagem são as memorizações de fórmulas, leis e conceitos.

As colocações de Ausubel sobre a aprendizagem significativa foram elaboradas para uma situação formal de ensino que pode ser tanto uma sala de aula (presencial) como, nos dias de hoje, em um ambiente virtual (a distância).

O sucesso da aprendizagem significativa depende do conhecimento prévio do aluno, da postura assumida pelo professor, do uso de materiais potencialmente significativos e da vontade do indivíduo. O professor é o mediador que organiza o ensino, utiliza-se de recursos didáticos a fim de potencializar as relações entre o conhecimento prévio do aluno e o conhecimento a ser aprendido. É possível, também, relacionar a aprendizagem significativa com a avaliação do indivíduo. Essa última deve receber, assim como o processo de aprendizagem, outro enfoque, onde o aspecto principal seria buscar evidências de que a

aprendizagem estaria ocorrendo, não encontrar uma maneira de determinar taxativamente se ela ocorreu. Para Ausubel, uma evidência da aprendizagem significativa seria a verificação de uma compreensão genuína de um conceito, o que permitiria a assimilação clara do conceito, a possibilidade de diferenciá-lo e de posteriormente transferi-lo, aplicando-o a situações similares.

Além de Ausubel, que elaborou a teoria da aprendizagem significativa, outro pensador, Piaget, se dedicou a esse tipo de estudo. No entanto, Piaget não foca na aprendizagem, mas na construção da inteligência e do conhecimento. A seguir, serão apresentados alguns pontos que merecem destaque na teoria piagetiana.

3.2. PIAGET E A EQUILIBRAÇÃO

Uma das maneiras de compreender a formação das estruturas que permitem o desenvolvimento do conhecimento é usar a teoria de Piaget. Para ele, o indivíduo é composto de várias unidades que se complementam, de modo que cada uma dessas partes deve conviver em harmonia para que o todo não se desmonte (LIMA, 1980). É como se o indivíduo vivesse numa busca constante pelo equilíbrio e, caso ele seja descompensado, algo deverá acontecer para restabelecer a ordem.

Para Piaget, o conhecimento é resultado da interação do sujeito com o meio. Aquilo que o indivíduo sabe entrará em contato com o novo, realizando trocas constantes que enriquecerão sua estrutura cognitiva. Ele então buscará sanar as carências que podem vir a surgir, ou desconhecimento de algo que possa aparecer. Nesse processo é que se tem a chance de acontecer o desenvolvimento cognitivo.

Nossos conhecimentos não provêm nem da sensação nem da percepção isoladamente, mas da ação global, de que a percepção participa apenas como função de sinalização. Próprio da inteligência, não é contemplar, mas “transformar”, e seu mecanismo é essencialmente operatório. Ora, as operações consistem em ações interiorizadas e coordenadas em estruturas de conjunto (reversíveis, etc.); se desejarmos explicar esse aspecto operatório da inteligência humana, convirá partir da ação – e não apenas da percepção. (CHIAROTTINO, 1984, p.104)

Dessa forma, Chiarottino (CHIAROTTINO, 1984) mostra como Piaget tenta ressaltar e dar a devida importância tanto para o sujeito como para o objeto, que nesse caso é a interação com o meio, sem desmerecer nem um nem outro, dando destaque crucial a ambos para que sua teoria seja compreendida. Para ele o homem constrói o conhecimento a partir de interações com o meio, sendo resultado de uma troca constante entre sujeito e ambiente.

Essa construção é contínua e efetiva quando a troca existe. Com esse pensamento, Piaget une indivíduo e contexto, tentando, com sua teoria, superar os estudos até então desenvolvidos para a estruturação do conhecimento. Para Taille e outros, “(...) desde o nascimento, o desenvolvimento intelectual é, simultaneamente, obra da sociedade e do indivíduo (TAILLE, OLIVEIRA e DANTAS, 1992)”

Para desenvolver sua teoria e ainda responder a questões cruciais sobre como se dá a formação do conhecimento e como ele evolui, Piaget estudou o comportamento de crianças. A partir desse estudo ele obteve conclusões que permitirão compreender um pouco melhor esse processo e cujas principais etapas serão descritas a seguir.

ELEMENTOS DE CARACTERIZAÇÃO DA INTELIGÊNCIA

Segundo Piaget, a chave para entender a formação das estruturas do conhecimento encontra-se na inteligência, a capacidade de resolver problemas novos. Seu estudo foca na maneira como se desenvolve o processo de estruturação do conhecimento, contrapondo essa ideia à finalidade desse desenvolvimento. O que se propõe é responder às questões centrais: como se forma, para quê se forma e o quê se forma na inteligência. Para tanto, ele desenvolve elementos que auxiliam na resposta a essas questões. São eles: o conteúdo da inteligência, a estrutura da inteligência e a função da inteligência.

O conteúdo da inteligência, primeiro elemento proposto por Piaget, refere-se à postura do indivíduo e suas atitudes particulares, ou seja, como ele se comporta e age diante de uma situação que lhe cause estranheza. A maneira de agir do indivíduo diante de um fato inédito, ou algo que requeira atenção, denotará o nível de desenvolvimento ou até mesmo interesse em desenvolver suas estruturas do conhecimento. Uma postura apática ou de desinteresse frente a uma descoberta ou um novo conhecimento já indica uma pré-indisposição para o desenvolvimento da inteligência. A postura frente a uma situação inusitada fará possível a percepção de uma maturidade maior ou menor do indivíduo. Essa sequência de diferentes posicionamentos frente a novas experiências de vida definirá o conteúdo da inteligência de cada um.

A estrutura da inteligência, segundo elemento proposto, trata da maneira como se organiza o pensamento. Na estrutura existe uma relação entre o conteúdo que o indivíduo sabe e como ele expressa aquele conhecimento. Diferente da função, a estrutura pode sofrer mudanças; a maneira de expressar o pensamento sofre variações ao longo do tempo. Um ponto importante destacado por Piaget é que as estruturas não são herdadas; elas passam a existir gradualmente a partir das interações do sujeito com o meio.

(...) a aprendizagem não se confunde necessariamente com o desenvolvimento, e que, mesmo da hipótese segundo a qual as estruturas lógicas não resultam da maturação de mecanismos inatos somente, o problema subsiste em estabelecer se sua formação se reduz a uma aprendizagem propriamente dita ou depende de processos de significação ultrapassando o quadro do que designamos habitualmente sob este nome (PIAGET, 1974, p. 34).

O último elemento é a função da inteligência, que indica a maneira como o pensamento evolui:

É a maneira pela qual, qualquer organismo progride cognitivamente e é invariável ao longo do desenvolvimento. Ou seja, as propriedades funcionais do processo adaptativo permanecem as mesmas (MATOS, 2008, p. 4).

Um exemplo, apenas para comparação, é fazer uma analogia ao movimento uniformemente acelerado. Apesar da velocidade de um corpo em estudo aumentar sua velocidade ao longo do tempo, esse crescimento ocorre a uma taxa de variação constante. Assim, a maneira como o indivíduo raciocina ou a evolução biológica acontece, segue uma continuidade, no entanto as estruturas cognitivas, resultado desse avanço, vão se fortalecendo e crescendo cada vez mais. Trata-se de uma tendência básica de comportamento que será melhor detalhada quando forem explorados os invariantes funcionais adaptação e organização.

Assim se pode perceber que uma caracterização da inteligência requer três elementos bases: o conteúdo, a estrutura e a função. Um indivíduo em constante desenvolvimento passa por constantes momentos de descobrimento, e a partir dessas interações é que se dará a sua estruturação cognitiva. Como função da inteligência estaria, então, a habilidade de compreender e explicar, que na Teoria de Piaget são caracterizados como processos simultâneos de assimilação e acomodação (PIAGET, 1976). Tais processos serão mais bem apresentados a seguir.

DESENVOLVIMENTO DA INTELIGÊNCIA: ORGANIZAÇÃO E ADAPTAÇÃO

Voltando à colocação inicial sobre como Piaget acredita que se dá a formação da estrutura do conhecimento, temos os processos interativos do ambiente com o sujeito. Esses processos estão ocorrendo a todo o momento, de modo que o indivíduo busca sempre manter-se num estado de equilíbrio. Quando surge uma situação peculiar, cuja explicação contradiz o senso comum, o indivíduo se vê numa situação de desequilíbrio. A partir desse momento surge a necessidade da busca por explicações, e com isso pode haver o desenvolvimento da inteligência. A compreensão levará a um novo equilíbrio, no entanto agora com uma carga de conhecimento maior, e talvez com menos chances de “desequilibrar”, caso situações semelhantes venham a ocorrer. A concepção acerca de Piaget é citada no trabalho de Gomes e Becker (GOMES e BELLINI, 2009; BECKER, 1997)

[...] no ato de conhecer o sujeito é ativo e conseqüentemente, defrontar-se-á com uma perturbação externa e reagirá com o fim de compensar e conseqüentemente tenderá para o equilíbrio. [...] A equilibração como eu a entendo, é um processo ativo (Piaget apud (GOMES e BELLINI, 2009).

Nesse sentido, o processo de equilibração se faz possível a partir da influência do meio sobre o indivíduo, como interpreta Becker (BECKER, 1997)

Assim, parece altamente provável que a construção das estruturas seja principalmente obra de equilibração, definida não pelo equilíbrio entre forças opostas, mas pela auto-regulação; isto é, a equilibração é um conjunto de reações ativas do sujeito às perturbações externas [...] (Piaget apud (BECKER, 1997, p.91).

Essa busca pela equilibração é facilitada por meio dos invariantes funcionais (MATOS, 2008) que dão o suporte necessário até que o entendimento seja obtido. Esses coadjuvantes do processo que permitem a criação das estruturas do pensamento podem ser divididos em organização e adaptação (assimilação/acomodação).

O primeiro invariante é a organização. Ela é o ponto de partida para que possa acontecer o processo de adaptação e trata da maneira como o indivíduo desenvolverá seu raciocínio. A organização é observada pelo uso de esquemas, que retratam a ação inicial do sujeito sobre o objeto até o momento em que consegue se adaptar, organizar sua estrutura cognitiva e compreender a realidade. Esses esquemas são instrumentos com os quais as pessoas agem nas suas interações com o ambiente, e que por sua vez vão se modificando

em decorrência da recombinação de significados das coisas. Dessa forma, o esquema se mostra necessário para que seja possível visualizar o crescimento intelectual de maneira gradativa, visualizando a construção do novo a partir do velho (LIMA, 1980).

O comportamento que o indivíduo reflete de sua relação com o meio encadeará uma série de interações (assimilação/acomodação) que permitirão a organização do conhecimento acerca daquela realidade.

O esquema não está vinculado a uma fase específica do desenvolvimento, mas se faz presente em todas elas. (...) A sequência de comportamentos que o constitui [esquema] é uma totalidade organizada. (MATOS, 2008)

Para ser definido um esquema, é importante que ele aconteça diversas vezes no decorrer do desenvolvimento cognitivo, o que denota a busca do sujeito para a construção do conhecimento por meio das interações dele com o meio.

Com isso, percebe-se a grande importância que situações inusitadas, novidades, problemas, têm como propulsor do conhecimento:

O equilíbrio representa o máximo de atividade do organismo para a manutenção da unidade, através do jogo de compensações das perturbações.
[equilíbrio] harmoniza as contribuições vindas das diferentes fontes, tanto internas, devido a maturação, quanto externas, quer de experiências, quer de transmissões formais (...) o organismo consegue dar sentido ao não compreendido, modificando as próprias estruturas assimilativas para melhor acomodar, caminhando sempre em direção a estruturas mentais mais e mais superiores (CARVALHO, 1996).

O segundo invariante é a adaptação, que pode ser observada em dois aspectos: a assimilação e a acomodação. De maneira geral, ambas tratam da interação do indivíduo com o meio e como ocorre essa troca. Quando o sujeito entra em contato com o ambiente, esse último pode passar por processos de mudança para ser incorporado ao indivíduo, trata-se da assimilação; ao mesmo tempo em que isso ocorre, o próprio sujeito precisa se adaptar às exigências do objeto, no caso o meio, e por isso também passa por mudanças, trata-se da acomodação. Quando o indivíduo toma algum objeto do meio como parte de seu convívio, é necessário um processo de adaptação para que ambos se comuniquem em harmonia. Como afirma Lima (LIMA, 1980), compreender o novo se mostra atrativo para o indivíduo, sugerindo uma situação favorável ao desenvolvimento de novos conhecimentos

A toda assimilação (incorporação do objeto na estrutura do organismo) corresponde uma necessidade e tudo que satisfaz uma necessidade torna-se interessante para o sujeito assimilador (LIMA, 1980, p. 71).

Um exemplo que ajuda a compreender esses invariantes pode ser construído a partir do aprendizado das grandezas físicas associadas ao movimento, com as quais os indivíduos mantêm contato desde cedo. Os conceitos de espaço, velocidade, deslocamento, antes mesmo de serem teoricamente formulados na estrutura cognitiva do indivíduo, já se fazem presentes em sua vida, no entanto é no período escolar que, para alguns, essas grandezas recebem um novo significado. Esses conceitos são remodelados no consciente do sujeito (assimilação) de modo que posteriormente, quando eles já possuírem um novo significado, conseguirão se adequar aos mesmos e fazer deles um esquema para o desenvolvimento de novas formas de conhecimento:

(...) a assimilação cognitiva consiste na incorporação, pelo sujeito, de elementos do mundo exterior às estruturas do conhecimento já constituídas (MATOS, 2008, p. 9).

Esse processo de assimilação, onde os conceitos começam a receber novos significados, muitas vezes acaba por desvalidar ideias intuitivas que poderiam existir. Dessa forma, uma interação com o meio poderá requerer algum tipo de reestruturação e reorganização:

(...) toda ação inteligente, não importa quão rudimentar e concreta, pressupõe uma interpretação de alguma coisa da realidade externa, isto é, uma assimilação desse algo a algum tipo de sistema de significado, existente na organização cognitiva do indivíduo (...) consiste em submeter um acontecimento da realidade aos moldes de uma estrutura em evolução. (MATOS, 2008, p. 9)

Para que toda essa reestruturação seja possível, é necessário que aconteçam mudanças no indivíduo e que ele se adequa às requisições do meio, ou seja, passe por um processo de acomodação. A reestruturação deve ocorrer numa situação de incompatibilidade, quando é necessário que a estrutura cognitiva do indivíduo se modifique incorporando conceitos para a plena compreensão do objeto (OLIVEIRA e DAVIS, 1993).

Piaget traduz a organização como a coerência formal do processo; a acomodação seria a experiência, o novo a ser aprendido; a assimilação o ato de julgamento, que aplica o conhecimento que se possui a uma determinada situação. É fundamental perceber que sem a assimilação não se poderia compreender a acomodação e sem essa, por sua vez, o aluno viveria sempre com os mesmos conhecimentos sem buscar algo novo. Ao se deparar com uma nova situação o indivíduo faz um reconhecimento, uma assimilação; a possível comparação com alguma situação já vivenciada ou até mesmo seu uso como exemplo ao se deparar com evento semelhante, caracteriza a acomodação. Tratam-se de processos

simultâneos que permitem que seja desenvolvida a inteligência como afirma Lima (LIMA, 1980)

Para que o interesse se mantenha é preciso que o objeto (pessoa) apresente algum grau ou tipo de resistência à assimilação, obrigando o assimilador a fazer acomodações (adaptações). A resistência aumenta o tónus da assimilação (LIMA, 1980, p. 71).

Tendo em vista os conceitos que caracterizam a teoria piagetiana é interessante notar a relação que existe entre ela e a teoria de Ausubel. Apesar de fazerem uso de distintas expressões é possível estabelecer um paralelo entre ambas.

3.3. ANALOGIA AUSUBEL/PIAGET

Foi possível notar ao longo das teorias apresentadas que, apesar das teorias de Ausubel e Piaget não serem a mesma coisa e nem mesmo usarem as mesmas nomenclaturas em seu desenvolvimento, é possível fazer uma analogia entre as duas.

Para que essa relação fique mais clara serão resgatados alguns desenvolvimentos citados anteriormente para estabelecer esse paralelo. Um questionamento que talvez possa existir é: por que criar tal paralelo? Qual a necessidade de “unir” as duas teorias?

Busca-se apresentar o Laboratório Virtual como uma ferramenta no processo de ensino. Para tanto encontra-se na teoria de Ausubel uma maneira de mostrar como interpretar a evolução da aprendizagem na proposta deste Laboratório. Almeja-se que ela ocorra de maneira significativa e que não seja um processo puramente mecânico, no entanto, para que tal constatação seja possível, este trabalho de pesquisa foi realizado e será posteriormente descrito.

Por outro lado, tomando como base a teoria de Piaget tentamos, no Laboratório Virtual, fazer uso de uma situação que cause o desequilíbrio e que gere um momento de reflexão para que certos conceitos sejam assimilados.

Enquanto Ausubel atribui uma grande importância para as ideias prévias do aluno como ponto de partida para o desenvolvimento do conhecimento, Piaget valoriza o processo de relação do indivíduo com o meio, como necessário na construção da inteligência.

Talvez um paralelo mais claro possa ser estabelecido quando Ausubel caracteriza o que denomina aprendizagem subordinada. Para que a ideia que o indivíduo já possui possa ser recharacterizada e se desenvolver tornando-se um conceito, é necessária uma etapa de assimilação, uma interação entre o indivíduo e o meio que originou aquele pensamento inicial

para que o conceito possa ser sedimentado. Vê-se aqui como ambas as teorias, de alguma forma, se complementam. O quadro 1 apresenta um paralelismo entre as duas teorias e destaca os principais conceitos desenvolvidos em cada uma delas.

Quadro 1: A construção do conhecimento para Ausubel e Piaget

| AUSUBEL | | PIAGET | | |
|-----------------------------------|----------------------------------|---|--------------------|--|
| Aprendizagem Significativa | | Desenvolvimento Cognitivo | | |
| Subsunçores | | Esquemas | | |
| Aprendizagem | <i>Diferenciação Progressiva</i> | A um conceito existente são subordinados novos conceitos visando sua sedimentação e desenvolvimento da aprendizagem | <i>Assimilação</i> | O sujeito entra em contato com o ambiente, esse último pode passar por processos de mudança para ser incorporado ao indivíduo. |
| | <i>Reconciliação Integradora</i> | São necessárias várias situações com uma mesma ideia em comum para que um conceito geral seja construído. | <i>Acomodação</i> | O sujeito precisa se adaptar às exigências do objeto, no caso o meio, e por isso também passa por mudanças |
| | | Adaptação | | |

Uma reiteração é importante de ser feita nesse momento sobre a concepção de assimilação nas teorias de Piaget e Ausubel. No primeiro, o papel do sujeito é estabelecer relações entre suas estruturas cognitivas e o meio, de modo que a partir dessa interação poderá ocorrer uma incorporação do dado externo às estruturas de organização da inteligência do indivíduo. Para Ausubel, a interação do sujeito se dá por meio de suas ideias e conceitos já estabilizados ou definidos.

Identificando possíveis similaridades entre as duas teorias, Lima (LIMA, 1980) faz um comentário sobre a teoria piagetiana que poderia induzir a pensar em um conceito proposto por Ausubel

É preciso notar – diz ele [Piaget] – que só é possível aprender a partir de um esquema já em ação e só são aprendidos os estímulos para os quais o organismo está ‘sensibilizado’ (LIMA, 1980, p. 235).

Mesmo que a assimilação de Piaget seja mais abrangente, e se refira a diversas possibilidades de situação, ele parte da ideia de que o indivíduo já possua alguma relação ou tenha alguma familiaridade com o novo; da mesma maneira Ausubel sugere que o sujeito aprende a partir daquilo que ele já tem algum conhecimento, no caso, os subsubçores.

Ao mesmo tempo em que um novo conhecimento foi assimilado é necessário que o indivíduo se adapte, se acostume com as consequências trazidas por esse novo conceito, e por isso se encontre também em um processo de acomodação. Para que isso ocorra progressivamente serão necessárias diversas situações onde o novo conhecimento possa ser aplicado. É nessa etapa que fica claro o processo de aprendizagem superordenada.

Para que seja realizada uma análise de como estaria ocorrendo a construção de um determinado conhecimento por parte dos alunos do curso de graduação, especificamente na disciplina Mecânica dos Corpos Rígidos e dos Fluidos, serão usadas as ideias de Piaget, por acreditar serem elas mais apropriadas para descrever e exemplificar os diálogos com os alunos.

No entanto, antes dessa análise ser realizada será necessário apresentar a modalidade de atividade proposta aos alunos, como foi proposta e quais são as suas principais características, bem como o que era esperado dos alunos quando ela foi apresentada.

4. PROCESSO DE ELABORAÇÃO DO LABORATÓRIO VIRTUAL

Dentre todos os conteúdos abordados pela física, um deles possui uma particularidade que permitiu a criação do Laboratório Virtual, trata-se dos tópicos da Mecânica. O movimento dos corpos descritos nessa área é tratado como o movimento de corpos rígidos, de forma que toda a informação para o seu estudo está contida na sua trajetória. A possibilidade de registrar posições ao longo do tempo permite que toda a mecânica embutida no movimento do corpo em estudo seja trazida a tona. Essa questão é interessante de ser destacada porque o mesmo procedimento não seria possível, por exemplo, na área da eletricidade; não é possível se fazer registros “visuais” do campo magnético e elétrico da maneira como a mecânica. Mas apenas a posição não é suficiente, faz-se necessário o registro simultâneo de tempo, o qual se mostra possível fazendo uso de câmeras filmadoras que possuem uma base de tempo muito estável e precisa, isso porque a máquina capta, em geral, até 30 quadros por segundo que, quando exibidos em sequência, dão o efeito do filme.

É interessante notar que ideias como essa já vinham sendo elaboradas desde a criação do já comentado PSSC. Foi com as pesquisas realizadas para desenvolver os materiais do projeto que se exploraram as fotografias estroboscópicas, onde podia ser acompanhado o movimento de um corpo nas diferentes posições da sua trajetória. Uma vez determinada a frequência dos pulsos de luz e identificada a posição do corpo, era possível realizar certos cálculos para situações reais e com isso estudar a dinâmica do movimento (figura 12).

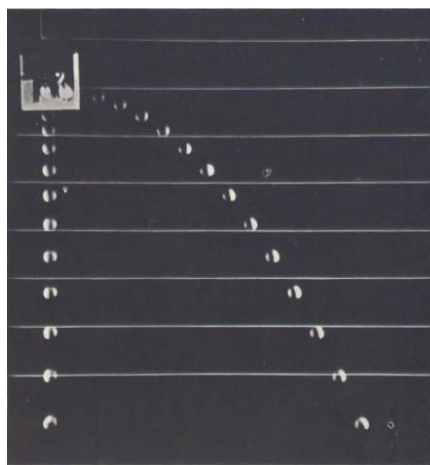


Figura 12: Fotografia de múltipla exposição de duas bolas de golfe, uma lançada horizontalmente e outra em queda livre (PSSC, 1963).

Pela imagem é possível perceber a existência de algumas linhas horizontais, elas serviam de orientação para leitura de posições ao longo do tempo.

Tendo em vista essa particularidade da mecânica, pensou-se numa maneira de obter registros de trajetórias de diversos corpos nas mais variadas situações. Essas por sua vez quando reunidas constituiriam o chamado Laboratório Virtual.

Assim, o intuito do nosso Laboratório Virtual é mostrar como a teoria vista em sala de aula se aplica a uma situação concreta por meio de filmes de experimentos reais. Trata-se da produção e uso de uma ferramenta de aquisição de dados experimentais, com medições de posição, tempo e massa, que posteriormente são usados para as análises propostas, aproximando-se de um laboratório didático convencional. O conteúdo físico presente nas referidas atividades cobre desde Leis de Newton, leis empíricas do atrito e leis de conservação de grandezas físicas do movimento, até o estudo de movimentos circulares e da dinâmica de rotação como giroscópios, rodas de inércia e situações de rolamento com e sem escorregamento. Os recursos e programas do computador, como ferramentas didáticas, são essenciais na disponibilização do material, realização de cálculos com planilhas e preparação de gráficos.

O desenvolvimento desta metodologia de trabalho começou em 2004 com um grupo que fazia parte do PROMAT – Programa de Apoio a Produção do Material Didático da Pró-Reitoria de Graduação da USP, cujos integrantes eram professores, alunos da graduação e pós-graduação do Instituto de Física e da Escola de Comunicação e Artes (ECA). A partir de 2007, o Laboratório Virtual passou a ser desenvolvido exclusivamente por alunos do Instituto de Física, selecionados pelo programa intitulado EPA – Ensinar, Pesquisar e Aprender,

também da Pró-Reitoria de Graduação, em especial nos projetos denominados Experimentos Virtuais em Disciplinas Teóricas de Mecânica e Experimentos Virtuais de Mecânica e coordenados por professores desse instituto.

Apresentaremos, por meio de dois exemplos, o método geral de construção das experiências alocadas na página <http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto/index.html> os recursos computacionais que permitem estudar aspectos fundamentais da física básica por meio de medidas de grandezas físicas em filmagens de sistemas reais, o que posteriormente pode promover a compreensão conceitual e operacional da teoria em estudo. A avaliação incluiu a comparação do aprendizado de estudantes que realizaram experimentos similares neste Laboratório Virtual e no laboratório convencional, inclusive com o levantamento das opiniões dos diferentes grupos.

4.1. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE CRIAÇÃO

Conforme descreve Fonseca (FONSECA, MAIDANA, *et al.*, 2013), para criação do Laboratório Virtual é necessário o cumprimento de determinadas etapas. Para que seja possível a compreensão desse processo será tomada como exemplo a primeira experiência filmada, que abordou os conceitos de velocidade constante e variável. Para isso, usou-se um trilho de ar com dois carrinhos diferentes: um com vela e outro sem ela. A vela (semelhante à de um barco veleiro) imprimia uma aceleração ao carrinho (contrária ao movimento, devido ao arrasto do ar), de modo que a velocidade variava no percurso filmado, ao contrário do outro, que não levava a vela. Essas filmagens estão no endereço <http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto/translacao/trilhoDeAr/index.html>.

Uma vez adquirido o conhecimento das técnicas aplicadas nas diferentes etapas do processo de desenvolvimento de um experimento virtual, desde a criação e disponibilização na página mencionada até a aplicação em sala de aula, iniciou-se o período de realização de novas experiências. Dessas, selecionamos, para um segundo exemplo, o experimento acerca da conservação da energia mecânica, que também usou o trilho de ar, mas que precisa de uma análise mais sofisticada, porque é preciso compreender que as incertezas de medição fazem a medida da energia flutuar aleatoriamente, de modo estatístico, mesmo que a energia seja constante. As filmagens correspondentes estão no endereço <http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto/translacao/energia/index.html>.

Nas reuniões do grupo, avaliavam-se quais dos assuntos dentre os conteúdos programáticos das disciplinas de mecânica poderiam ser explorados para exemplificar aquela teoria. Foram selecionados experimentos que não necessitam de materiais e equipamento

sofisticados, envolvendo objetos familiares aos estudantes. Os passos seguidos consistiam em:

- a) Escolha do experimento e discussão de quais grandezas físicas poderiam ser determinadas a partir da montagem idealizada.
- b) Filmagem de todo o aparato experimental de modo a conseguir extrair os dados em uma análise posterior.
- c) Verificação da qualidade das medidas das grandezas de interesse, a partir dos quadros (fotos) extraídos dos filmes.
- d) Se a qualidade das medidas era considerada adequada, o experimento era incorporado ao acervo com as seguintes etapas:
- e) Realização de novas filmagens com possíveis melhoras na qualidade do experimento.
- f) Elaboração dos roteiros, que instruíam os alunos na realização das experiências.
- g) Quando as medidas obtidas não tinham qualidade satisfatória, ou novos arranjos experimentais eram filmados até se obter dados com a qualidade desejada ou buscava-se outro experimento.

As condições favoráveis à filmagem foram de extrema importância: ambiente com boa iluminação, posicionamento correto da câmera, fundo adequado, entre outros, foram fatores que enriqueceram a qualidade do material a ser empregado e facilitaram a leitura dos quadros por parte dos alunos.

MATERIAIS

Os experimentos virtuais foram filmados com uma câmera analógica¹ de boa qualidade que, além da boa resolução, permitiu a transferência dos arquivos para o computador. Nada impede o uso de filmadoras analógicas, contanto que seja possível transformar o conteúdo em um filme digital. Foi imprescindível o uso de um tripé ou alguma base que servisse de apoio para a câmera, a fim de evitar movimentos que prejudicassem a qualidade dos filmes.

¹ O modelo usado foi uma câmera Compact VHS, JVC Analógica. Pro-cision 5 Head System. Tela de 4" LCD COLOR MONITOR.

No que diz respeito ao arranjo experimental, foi necessário prever os instrumentos que seriam usados pelo aluno durante a análise e adicionar fitas métricas, transferidores e outros materiais no campo de filmagem que permitissem a medição das grandezas estudadas.

FILMAGEM

Durante o processo de filmagem, levou-se em conta que todo o material seria acessado apenas pela página virtual, que precisaria, então, ser capaz de mostrar a totalidade do experimento. Para isso, foram realizadas filmagens de dois tipos: uma à distância, que permitia uma visão geral do arranjo experimental e seu funcionamento, e outra de perto (em *close*), que destacava o objeto estudado e o instrumento de medição usado na leitura das posições, lineares ou angulares conforme o sistema de interesse. Essa filmagem em *close* foi realizada de modo a manter o corpo em movimento (ou parte dele) dentro do campo de visão da filmadora, para que fosse possível medir as posições do objeto nos diferentes instantes de tempo, e minimizar o efeito de paralaxe, que poderia ser ignorado na análise.

As experiências foram idealizadas como aulas de laboratório, de maneira que distintas situações da mesma experiência deviam ser dispostas na página, possibilitando seu uso por diversas turmas de alunos, e que cada grupo pudesse analisar uma experiência cujas condições fossem diferentes. Portanto, a filmagem foi repetida em diferentes situações para um mesmo experimento e, por isso, foi necessário marcar cada cena, para possibilitar a organização do material que iria ser alocado na página. Essas identificações das cenas também são importantes nos testes iniciais, possibilitando fazer posteriormente a correspondência entre os filmes e as condições escolhidas. Por isso, inseriu-se no começo de cada filmagem uma placa com o nome da situação e uma descrição das condições do experimento (uma claquete).

EDIÇÃO

Existem trabalhos que tomam os dados do próprio vídeo por meio de um programa específico, como comentado no item 2.2.2., mas neste Laboratório Virtual a leitura é realizada exclusivamente sobre os quadros extraídos do vídeo.

Para dar início ao tratamento do filme, insere-se um contador de tempo no vídeo gravado. Há vários programas com essa função, em especial neste trabalho usamos o VirtualDub (LEE, 1998), com o qual é possível marcar o tempo até os milésimos de segundo. Esse cronômetro digital, comumente chamado de *time code*, foi inserido de modo a ficar numa

extremidade dos quadros do vídeo. Assim, toda vez que é acionado o comando “play”, a posição do objeto filmado e a contagem do tempo são vistas simultaneamente. A etapa seguinte foi o desdobramento do vídeo em fotos, com o contador já incorporado. Para isso, existe a possibilidade de usar os programas VirtualDub ou o Adobe Premiere (ADOBE SYSTEMS SOFTWARE, 1991), os quais possibilitam a extração de quadros de um vídeo, cujos intervalos de tempo são iguais a 1/30 de segundo, o que significa que se obtém 30 quadros ou “frames” por segundo de filmagem. Quando o filme for todo transformado em quadros, cada um terá seu código de tempo, referente a um instante específico do movimento.

Em grande parte dos vídeos, cada frame é formado por 525 linhas divididas em dois campos, um deles formado pelas linhas ímpares e o outro, pelas pares, formando a imagem completa quando eles se entrelaçam. Quando está sendo realizada a filmagem, a câmera “varre a imagem” duas vezes, as linhas pares primeiro e, depois de todas elas, as linhas ímpares, de modo que o quadro é formado por duas imagens obtidas em instantes ligeiramente diferentes, gerando algo parecido com dois quadros sobrepostos. Em visualizadores de imagens comuns, essa defasagem não é percebida, no entanto, quando se divide o filme de um objeto em movimento em quadros com intervalos de tempo muito pequenos, esse efeito pode se tornar considerável. Nos casos em que as imagens ficaram borradas, resolvemos o problema com o desentrelaçamento da imagem, que elimina um dos campos. Optou-se por desentrelaçar os quadros no momento em que eles eram extraídos do vídeo. No programa Adobe Premiere (ADOBE SUPORT, 2014) escolhe-se a função “sempre desentrelaçar” e seleciona-se qual campo será mantido.

DISPONIBILIZAÇÃO

O material produzido, tanto os filmes quanto as fotos, estão disponíveis na página <http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto/index.html>. Assim, foi necessário adequar o formato do vídeo para não sobrecarregar o servidor que hospeda a página dos experimentos virtuais e permitir que os usuários consigam visualizá-los mesmo com uma conexão mais lenta. A opção escolhida foi codificar o filme no formato DIV-X, que não é um decodificador de vídeo encontrado na maioria dos computadores, de modo que normalmente é necessário fazer o download do codec (codificador-decodificador) para visualizar as filmagens por meio do Microsoft Windows Media Player ou programa similar.

A página do experimento virtual deve ser suficientemente bem organizada para que, quando o aluno navegue pela rede, consiga ter acesso a todo o conteúdo necessário à realização do experimento. No link citado acima é possível visualizar a página de abertura dos experimentos virtuais, com abas na parte superior que permitem acessar cada conjunto

específico de experimentos. Assim, na aba Translação encontram-se experimentos que envolvem movimento linear, com os quais é possível estudar conceitos de atrito, força, conservação de quantidade de movimento e energia. Na aba Rotação existem experimentos usados no estudo de movimentos circulares como rodas de inércia, giroscópios e rolamentos com e sem escorregamento.

A fim de facilitar a compreensão dos alunos, a estrutura da página de cada experimento virtual possui elementos comuns (Introdução, Roteiro, Processo de Filmagem, Materiais, Filmes e Fotos).

Na página de abertura de cada experimento, abaixo da fotografia que ilustra o mesmo, encontra-se o roteiro necessário para sua execução, onde está a descrição detalhada de como o aluno deve prosseguir na obtenção de dados e análise correspondente.

A aba Filmes e Fotos apresenta os filmes dos movimentos vistos de longe, para apreciar a experiência, e em close, para a leitura dos dados. Também são dispostas, quando necessário, as fotografias dos objetos de estudo sobre uma balança, onde se vê o valor da massa, evidenciando assim a fonte dos valores adotados para as grandezas físicas, o que facilita a obtenção e a identificação da origem dos dados.

MATERIAL DE APOIO ÀS ANÁLISES

O Laboratório Virtual foi criado para ser usado por alunos em diferentes etapas da aquisição do conhecimento e, por isso, a análise e interpretação das experiências podem ser efetuadas desde uma forma simples até uma mais avançada, com cálculo de incertezas e interpretação estatística, como poderemos observar nos dois exemplos escolhidos aqui. O material de apoio para uma análise mais sofisticada se encontra na própria página dos experimentos virtuais, na aba denominada Guias, com textos sobre:

- a) Familiarização com Planilhas eletrônicas.
- b) Cálculo de incertezas, que mostra como realizar a propagação de incertezas de medição para grandezas como quantidade de movimento linear ou angular, energia cinética, energia potencial, energia mecânica, velocidade angular, torque, momento de inércia de um cilindro e aceleração angular.
- c) Conteúdos de matemática como por exemplo Integração Numérica e Cálculo Numérico de uma derivada.
- d) Aspectos particulares de cada experimento, como o procedimento de leitura da posição do objeto estudado.

Os estudantes do curso de Licenciatura do IFUSP, quando iniciam seus estudos nos experimentos virtuais, em geral, não têm familiaridade com ferramentas computacionais como as planilhas de cálculo de computador. Por isso, desenvolveu-se o projeto da monitoria web com o objetivo de proporcionar ao aluno conhecimentos adequados para que possa elaborar planilhas e gráficos de qualidade. Após a realização das experiências, os alunos devem entregar um relatório, normalmente redigido em dupla e com o auxílio de um editor de texto no computador, que é corrigido pela equipe que ministra a disciplina. Esses relatórios são corrigidos e devolvidos rapidamente, para que eles possam avaliar seu trabalho e em alguns casos para que possam retificar tanto a análise dos dados quanto corrigir erros conceituais.

4.2. POTENCIALIDADES DO LABORATÓRIO VIRTUAL

A partir da criação do Laboratório Virtual e de sua aplicação durante vários anos nos cursos de licenciatura pode-se perceber algumas potencialidades que o caracterizavam e de alguma forma o diferenciava de outras propostas de experimentação já vistas neste trabalho. A seguir serão descritas aquelas de maior destaque.

CONSTRUÇÃO CONCEITUAL

Os experimentos no Laboratório Virtual buscam, na maioria das vezes, apresentar um problema para o aluno que o instigue a refletir sobre o fenômeno ali envolvido. A ideia é que eles respondam, antes do quadro teórico do assunto ser abordado na disciplina, portanto com as suas concepções prévias, o que lhes pareça mais intuitivo. Depois de realizada essa etapa os alunos são orientados a fazer a análise virtual do experimento. A análise dos dados, em comparação à repetição ou deduções de expressões teóricas, fornece uma credibilidade maior ao experimento. Dessa forma, ao final do processo de análise o aluno tem condições de compreender o fenômeno questionado inicialmente.

Muitas vezes a proposta de um exercício teórico, que requisite, por exemplo, a descrição do movimento de um objeto por meio de uma equação, não tem o mesmo efeito que a apresentação de um vídeo onde o movimento pode ser observado. Antes de realizar qualquer análise de fotos, os estudantes apenas analisam o vídeo do movimento do corpo em estudo. No momento de análise os estudantes começam a perceber se suas ideias iniciais

estão se mostrando condizentes. Quando constroem os gráficos do movimento podem-se confrontar as expectativas teóricas com os resultados experimentais e então extrair conclusões.

A reflexão sobre o tipo de movimento estudado, o processo de coleta de dados e a análise, permite ao aluno uma compreensão gradativa. Isso possibilita que ele adquira ao final do processo uma gama maior de ferramentas para estudar outros movimentos similares.

PRECISÃO DE TEMPO E POSIÇÃO

O Laboratório Virtual possui uma particularidade que acaba por viabilizar a realização de experimentos e verificar resultados que não seriam possíveis na experimentação tradicional. O recurso da filmagem permite aproximar o observador da leitura das posições que o corpo em estudo ocupa; o uso do contador de tempo inserido à filmagem aprimora ainda mais o processo de análise, possibilitando a obtenção de resultados. Durante as atividades experimentais de maneira geral, os estudantes esperam obter resultados que se enquadrem com o previsto teoricamente, a obtenção de grandezas que possam não seguir esse padrão acabam por decepcionar e até mesmo frustrar alguns alunos que dedicaram tempo no desenvolvimento e análise do experimento. Nas atividades virtuais, em todos os casos, os resultados a serem obtidos, se analisados de maneira correta, direcionam para conclusões que se adequam perfeitamente à teoria, embora frequentemente o modelo usado seja mais complexo que os das simulações computacionais, uma vez que necessitam explicar uma situação real, não idealizada.

A filmagem usada nos experimentos virtuais permite que sejam obtidos em torno de 30 quadros por segundo. Isso significa que essa técnica permite o estudo de corpos a velocidades de aproximadamente 30 cm/s, uma vez que um movimento num intervalo de tempo muito curto já possibilita a obtenção de dados suficientes para seu estudo. Além dessa vantagem, a filmagem de um experimento também permite visualizar o mesmo movimento de um corpo repetidas vezes, isso possibilita uma melhora gradativa na leitura de posições. Esse fato ocorre porque como as imagens sucessivas do vídeo podem ser vistas uma a uma de forma “congelada”, leituras de posição podem ser feitas com maior detalhamento, permitindo obter a posição do objeto com maior exatidão.

Uma maneira de avaliar a precisão obtida no Laboratório Virtual é realizar os mesmos experimentos de maneira tradicional, ou seja, fazendo uso dos aparatos do laboratório didático e sem recorrer a nenhuma acessória computacional. Essa experiência pode agregar elementos que busquem verificar a validade da precisão obtida com os dados virtuais.

CONEXÃO EM REDE

Nas práticas experimentais, exceto em laboratórios do tipo demonstrativo, o aluno tem uma proximidade com os aparatos usados. O manuseio de equipamentos podem direcioná-lo na busca por respostas de fenômenos em estudo. A proposta do Laboratório Virtual dispensa a experimentação direta, que permite o manuseio dos aparatos do laboratório, mas dedica um espaço maior para o processo de coleta e análise de dados e compreensão das leis físicas, o que não o torna um substituto do laboratório tradicional, mas sim um agente complementar. Por ter sido criado dessa forma, o Laboratório Virtual é todo desenvolvido numa página da internet de uso livre pode ser acessada por qualquer usuário, fato esse que permite sua adaptação, possibilitando o acesso em locais além do entorno da faculdade.

Apesar do aluno não participar da montagem do experimento, ele tem acesso a informações sobre cada aparato usado, já que a página específica de materiais de cada experiência detalha a função de cada equipamento e de que maneira ele serviu para a obtenção das grandezas mensuráveis do experimento, além de trazer um vídeo do movimento a ser analisado. Essa característica do Laboratório Virtual lhe permite ser usado em locais onde os laboratórios didáticos se mostram precários ou inexistentes, levando em consideração que nos dias de hoje o acesso aos computadores e a rede não se mostra algo totalmente utópico; nas escolas, os computadores têm se mostrado a cada dia que passa uma realidade.

Uma aplicação do Laboratório Virtual que se mostra possível é seu uso no ensino médio. A adaptação dos roteiros atuais, que servem de base para as análises podem sofrer modificações que tornem o processo de análise mais simplificado, com formalidades que não são exigidas para estudantes de graduação.

REPETIÇÕES

As experiências disponíveis foram conseguidas com diferentes filmagens nas quais se variavam as condições iniciais do fenômeno, para que assim sejam obtidas diversas situações com dados diferentes. A intenção é a de mostrar que os fenômenos não são únicos, que existem muitas situações possíveis que seguem a mesma lei física factível de ser estudada. É importante frisar que cada filmagem é única, no entanto ela foi aleatória, num campo de inúmeras possibilidades, no momento em que aconteceu e foi registrada.

Cada situação existente nas diferentes experiências da página foi analisada antes de ser disponibilizada, assim, quando os alunos apresentam os relatórios com a análise e os

gráficos obtidos, é fácil identificar algum erro a partir da plotagem dos pontos, isso porque já é sabido qual o comportamento esperado para cada situação.

Num experimento tradicional, se por um acaso alguma medida vir a dar errada toda a experiência deve ser repetida, uma vez que não é possível manter as mesmas condições do início do processo de medição. No Laboratório Virtual, cada filmagem reproduz uma experiência única que quando transformada em quadros e alocada na página aparece como uma “situação”, a qual é possível ver e analisar inúmeras vezes até obter os dados corretamente.

COMPLEMENTARIDADE DA AULA TEÓRICA E DO LABORATÓRIO VIRTUAL

Um dos pontos que favorecem o desenvolvimento do Laboratório Virtual é o fato de não necessitar de um espaço físico para ser realizado; o aluno não precisa deslocar-se ao laboratório, montar o aparato e coletar os dados, basta acessar a página virtual, seguir para a tomada de dados e logo analisa-los para compreender o fenômeno em estudo.

Essa característica torna viável a proposição desse laboratório simultaneamente às aulas teóricas, uma vez que as análises podem ser realizadas em horários alternativos que não comprometam os horários regulares das aulas. Essa característica do Laboratório Virtual acaba também por proporcionar um maior tempo de reflexão aos estudantes, uma vez que existe a possibilidade de dedicar um tempo maior à interpretação do fenômeno e análise da lei física ali estudada.

Muitas vezes nos laboratórios tradicionais o aluno precisa de um certo tempo para a compreensão do aparato físico, sua montagem, coleta de dados iniciais, definição do que se pode ou não medir, interpretação dos dados, análise e então conclusão. No Laboratório Virtual a experimentação não aparece, o que acaba destinando um tempo maior para reconhecimento dos resultados que são possíveis de se obter. Dessa forma, sua proposta em conjunto às aulas teóricas acaba por enriquecer a teoria física vista em classe, oferecendo uma estratégia que o auxilie a visualizar aquilo com mais clareza.

5. A EXPERIÊNCIA DO GIROSCÓPIO EM SALA DE AULA

A experiência do giroscópio tem sido aplicada na disciplina Mecânica dos Corpos Rígidos e dos Flúidos na modalidade dos créditos trabalho, que será melhor descrita na sequência. Para que seja possível visualizar o público alvo dessa atividade será traçado um breve perfil dos alunos que cursam a disciplina.

Uma vez delimitado o contexto no qual essa atividade tem sido inserida serão apresentadas as etapas que a compõem. Será dado destaque aos conceitos físicos envolvidos no movimento do giroscópio, à criação do experimento virtual, como os alunos prosseguem nas análises dos dados e quais são os resultados esperados.

5.1. CRÉDITOS TRABALHO

No ano de 2009, o currículo do curso de licenciatura sofreu algumas modificações de modo a alocar e distribuir de forma diferente o número de créditos aula que deveriam ser cumpridos pelos estudantes. Tendo em vista também as exigências impostas pelo Conselho Nacional de Educação, algumas medidas foram tomadas para que o curso de formação cumprisse com o exigido.

Para os ingressantes a partir de 2006, foram introduzidas algumas alterações na grade curricular, tendo como objetivo a adequação da atual estrutura curricular do Curso de Licenciatura em Física à nova visão da formação dos professores de ciências, ao Programa de Formação de Professores da USP e às exigências do Conselho Nacional de Educação. Essas alterações previam i) introduzir atividades pedagógicas dos discentes em algumas disciplinas específicas; ii) introduzir atividades de ciência e cultura; iii) expandir as atividades de estágio e trazer parte dessa responsabilidade para o Instituto de Física. Essas alterações envolveram a criação de duas novas disciplinas e a introdução de créditos trabalho em algumas disciplinas. (USP, 2009)

Em especial, no curso de Física, os chamados créditos trabalho foram distribuídos entre algumas disciplinas e desenvolvidos segundo as exigências do professor ministrante e de acordo com o projeto pedagógico do curso de Física. Os créditos trabalho devem estar vinculados às disciplinas de conteúdo, sendo cumpridos através de atividades científico culturais (USP, 2009).

Uma das disciplinas contempladas com os créditos trabalho foi Mecânica dos Corpos Rígidos e dos Fluidos. Esses créditos são classificados como “práticas como componente curricular”, cujo objetivo é estabelecer uma ligação maior entre a disciplina específica e a atuação do futuro professor.

Nessas atividades práticas, o aluno deve ser levado a investigar, refletir e analisar o conteúdo correspondente tratado no ensino médio, e a elaborar textos e experimentos didáticos, ou ainda, a pesquisar a construção de conceitos físicos relacionados ao conteúdo (...) (USP, 2009).

A maneira escolhida para o seu cumprimento foi a partir de atividades usando o Laboratório Virtual. Os estudantes teriam como tarefa realizar em torno de cinco experiências virtuais ao longo do semestre, todas elas diretamente ligadas aos conteúdos abordados nas aulas teóricas. As propostas das atividades eram feitas mensalmente por meio do sistema STOA (STOA, 2015) que dá suporte virtual às disciplinas da universidade. A partir delas, os alunos acessam o site no qual estão disponíveis os experimentos virtuais e, em um período extraclasse, eles realizam a atividade no prazo estipulado pelo docente, que em geral é de duas semanas. Com essas atividades tem-se a oportunidade de agregar a experimentação às aulas teóricas.

5.2. PERFIL DOS ALUNOS

As atividades do Laboratório Virtual relacionadas ao giroscópio são realizadas no terceiro semestre do curso de licenciatura em física. Essa disciplina completa o ciclo básico da mecânica, de modo que é esperado que os alunos estejam familiarizados com a utilização de instrumentos de medida, cuidados experimentais e interpretação de resultados, assim como cálculo e análise de erros e incertezas. Segundo o próprio manual do curso de licenciatura, a

A progressão ao longo do primeiro ano deve ser suave com relação aos conteúdos de Física, apresentando-se conjuntamente aspectos de teoria e atividades de laboratório, enquanto o aluno adquire conhecimentos de cálculo e álgebra (...), necessárias para uma estruturação correta das teorias físicas. As disciplinas de física no primeiro ano têm um caráter mais fenomenológico (...), envolvem conhecimento de cálculo elementar, e devem ser voltadas para a discussão de conceitos que estimulem a reflexão sobre questões fundamentais da física, e à aplicações à interpretação da natureza e à compreensão da tecnologia (USP. 2009).

Dessa forma, o curso de Mecânica no qual são inseridos os experimentos virtuais está respaldado em outras disciplinas, de modo que o aluno que está cursando a disciplina não deveria ter dificuldades na parte experimental do curso, que fica a cargo do Laboratório Virtual. Os requisitos necessários para um bom aproveitamento do curso ficam garantidos devido ao posicionamento da disciplina em meio às outras que compõem o curso de graduação.

Apesar do perfil dos alunos ser aparentemente o mesmo, existem aqueles que já cursam a disciplina há vários anos e não obtém a aprovação. A sala de aula, na maioria das vezes, é composta dos que já cursaram a disciplina em anos anteriores, e por esse motivo já possuem certa familiaridade com o assunto, e por aqueles que a cursam no semestre ideal. No que diz respeito aos créditos trabalho, em especial as experiências do Laboratório Virtual, a habilidade do aluno em realizar a atividade não é afetada por conta disso. Ao longo dos anos, se percebeu que os alunos não se lembram dos experimentos e acabam revisitando-os e sendo surpreendidos com os resultados das análises, como será visto em detalhes no comentário feito pelos próprios alunos no capítulo 8. Outra variação no perfil dos alunos, e talvez essa seja a que provoca maior dificuldade para a realização das atividades virtuais, é sua deficiência no manuseio de ferramentas computacionais.

Alunos com esse perfil se mostram de início bastante resistentes à realização das atividades virtuais, e em alguns momentos até desmotivados. Foi com essa percepção que se desenvolveu a “monitoria web”. Um espaço com computadores onde alunos com deficiência no manuseio de ferramentas computacionais têm a oportunidade de aprender a usar o computador, lidar com planilhas de cálculo que os ajudem a tratar os dados de maneira eficiente. É notável que muitos alunos têm o primeiro contato com esse tipo de ferramenta quando realizam os experimentos virtuais nas “monitorias web” os alunos têm também a oportunidade de realizar suas análises, tirar dúvidas, comparar resultados com outros colegas, elaborar conclusões, etc. Ao longo dos anos essa monitoria tem sido frequentada não só por alunos com dificuldades na área computacional, também por alunos que possuem essas habilidades mas percebem no convívio com os outros colegas que estão realizando a atividade em um contexto propício para tirar dúvidas e até mesmo refletir sobre o experimento.

A seguir serão apresentados os conceitos físicos que regem e explicam o funcionamento desse aparato para que seja possível compreender como a atividade foi pensada e desenvolvida.

5.3. ATIVIDADE EM SALA DE AULA

Os detalhes do funcionamento do giroscópio servirão para acompanhar as análises realizadas pelos alunos. É importante destacar que neste estudo em especial não é levado em conta o movimento de nutação do giroscópio.

A FÍSICA POR TRÁS DO GIROSCÓPIO

Um giroscópio típico é composto por um disco que pode girar livremente (geralmente chamado de volante ou rotor) atravessado, no seu centro, por uma haste cuja extremidade é apoiada em um suporte como esquematizado na figura 13:

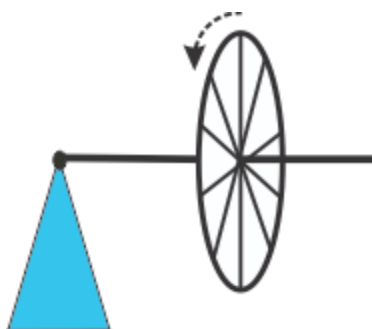


Figura 13: Esquema de um Giroscópio típico girando em torno do eixo de rotação do disco.

Dependendo da rapidez do giro do volante observa-se que o conjunto (disco e eixo) adquire um novo movimento de rotação em torno do ponto de apoio (ou de suspensão). Essa rotação permite que o dispositivo não caia dado que possui um único ponto de apoio localizado a uma certa distância do centro de massa do conjunto.

Verifica-se assim a existência de dois movimentos: o primeiro relacionado à rotação do volante em torno do seu centro, denominado movimento de rotação de spin, e o segundo relacionado à rotação do conjunto em torno ao ponto de apoio, chamado de movimento de rotação de precessão. (NUSSENZVEIG, 1981).

O movimento de rotação de um corpo rígido tem associada a grandeza quantidade de movimento angular, que assim como a primeira, é vetorial. O fato do volante rodar sobre seu próprio eixo faz com que além da velocidade angular exista essa outra grandeza, a quantidade de movimento angular de spin do volante. Estas grandezas vetoriais possuem: a) direção: perpendicular ao plano formado pelo disco; b) sentido: de acordo com a regra da mão direita (NUSSENZVEIG, 1981) e c) intensidade.

Quando a extremidade do eixo do giroscópio é apoiada sobre um suporte, o peso \vec{P} do conjunto, normalmente localizado no centro do volante, a uma distância \vec{r} do ponto de apoio (ou suspensão), produz torque $\vec{\tau}$ em relação a esse ponto, igual a:

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{P}. \quad (1)$$

Esse torque, contido em um plano perpendicular a \vec{r} e \vec{P} , segue a regra da mão direita e é perpendicular ao eixo do giroscópio. Como $\vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt}$ se entende que o torque do peso, cuja intensidade é constante, altera, ao longo do tempo o vetor quantidade de movimento angular de spin do volante (\vec{L}). Isto faz com que o conjunto adquira outro movimento de rotação, agora em relação ao ponto de apoio do eixo, denominado rotação de precessão. É assim que surge a velocidade de precessão do giroscópio ao redor do ponto de apoio, que por sua vez tem associada grandeza quantidade de movimento angular de precessão.

No esquema da figura 14 está representado um giroscópio em movimento e diversas grandezas vetoriais associadas ao movimento desse corpo. O vetor peso \vec{P} foi representado no centro de massa do giroscópio. Devido ao sentido de rotação da roda, e fazendo uso da regra da mão direita obtém-se a direção e sentido do vetor velocidade angular de spin, $\vec{\omega}_s$ e o vetor momento angular de spin, \vec{L}_s , com a mesma direção e sentido que aquela. Onde:

$$\vec{L}_s = I \cdot \vec{\omega}_s \quad (2)$$

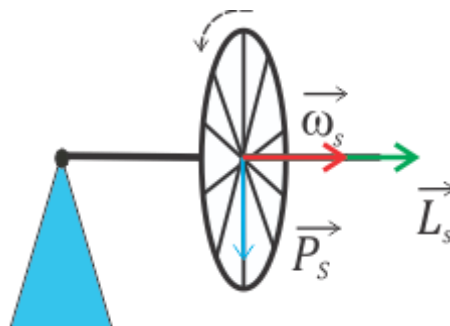


Figura 14: Esquema representando os vetores peso, velocidade e momento angular de spin de um giroscópio para uma projeção horizontal do giroscópio.

O esquema do giroscópio a partir de uma vista superior pode ser observado na figura 15, onde aparece o vetor torque, $\vec{\tau}$, e o momento angular \vec{L}_s , já desenhado na figura 12.

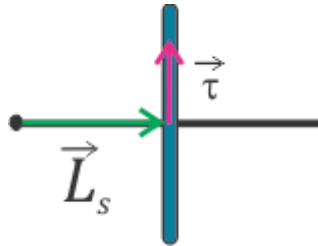


Figura 15: Esquema representando os vetores $\vec{\tau}$ e \vec{L}_s para uma projeção vertical do giroscópio.

Para intervalos de tempo Δt muito pequenos, pode ser considerada a seguinte relação:

$$\vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt} \sim \frac{\Delta\vec{L}}{\Delta t}. \quad (3)$$

A figura 16 mostra uma representação da soma vetorial do momento angular de spin, \vec{L}_s , e da variação do momento angular, $\Delta\vec{L}_s$. Essa soma resulta no vetor momento angular de spin em um instante posterior, \vec{L}'_s que por sua vez indicará a direção na qual ocorrerá o movimento de precessão.

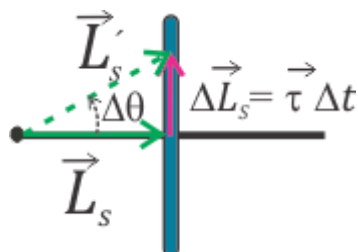


Figura 16: Representação da soma vetorial do momento angular de spin para uma projeção vertical do giroscópio.

$$\vec{L}_s - \vec{L}'_s = \Delta \vec{L}$$

$$\text{sen } \Delta\theta = \frac{\Delta L}{L} \quad (4)$$

Para ângulos muito pequenos podemos fazer a aproximação:

$$\text{sen } \Delta\theta = \Delta\theta = \frac{\Delta L}{L} \quad (5)$$

Da expressão (2) e (5) temos:

$$\Delta\theta = \frac{\tau \cdot \Delta t}{I \cdot \omega_s} \quad (6)$$

Ou:

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{\tau}{I \cdot \omega_s} \quad (7)$$

Expressão que no limite fornece a velocidade angular de precessão $\vec{\omega}_p$:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \vec{\omega}_p \quad (8)$$

Relacionando (7) e (8), teremos que:

$$|\vec{\omega}_p| = \frac{\tau}{I \cdot \omega_s} \quad (9)$$

Essa expressão, clássica no estudo de movimentos de giroscópios, mostra o comportamento da velocidade de precessão em função da velocidade de spin. Nota-se que spin e precessão são grandezas inversamente proporcionais e que a diminuição de uma implica o aumento da outra.

Assim, somos surpreendidos por um resultado que não parece tão trivial. O senso comum poderia dizer que as velocidades diminuem e com o passar do tempo o movimento ao redor do ponto de apoio do giroscópio pararia, no entanto a análise física do movimento aponta para outra direção. Mas será que essa física está mesmo certa? Seria possível verificar o valor dessas velocidades e comparar se realmente essas grandezas comportaram-se de “maneira inversa”, isto é, enquanto uma diminui, simultaneamente, a outra aumenta?

Para tentar responder tais perguntas foram elaboradas estratégias para obter-se essas grandezas ao longo do tempo. A seguir será apresentado o processo de desenvolvimento do experimento virtual que possibilitou uma análise quantitativa do movimento do giroscópio.

ELABORAÇÃO DO EXPERIMENTO VIRTUAL DO GIROSCÓPIO

A fim de se obter dados que permitissem uma verificação acerca da surpresa causada pelo movimento do giroscópio desenvolvemos um experimento que permitisse a filmagem desse aparato para que posteriormente ela servisse de base para análises qualitativas e quantitativas.

GIROSCÓPIO QUALITATIVO

Na análise qualitativa o objetivo era colocar o aluno em contato pela primeira vez com o giroscópio e analisar o movimento peculiar de precessão. Para isso foi usado um pequeno giroscópio como o da figura 17:



Figura 17: Giroscópio usado no experimento qualitativo.

Com a ajuda de um fio, fazia-se a parte móvel do giroscópio rotacionar em alta velocidade (como num pião, enrolando-se o fio no mesmo e depois o puxando com força) e posteriormente o mesmo era colocado sobre um apoio como indica a figura 18:

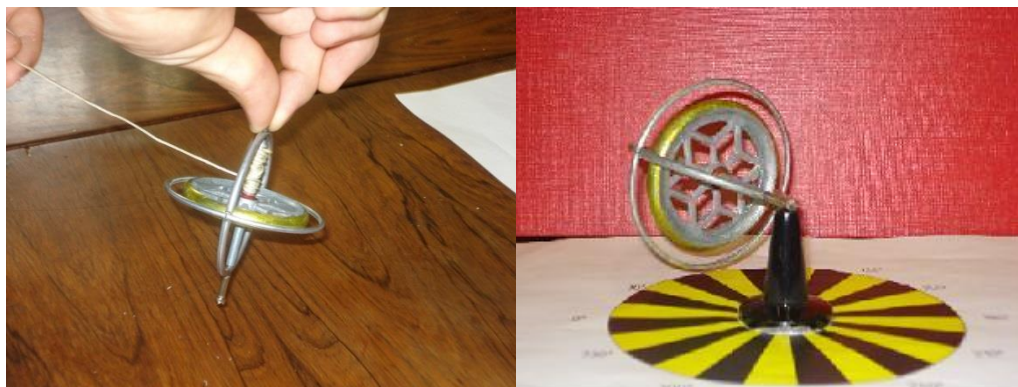


Figura 18: Giroscópio sendo colocado em movimento.

Ao trabalhar com um movimento circular se faz obrigatório realizar leituras de posições angulares. Para que fosse possível fazer o registro, o giroscópio foi apoiado sobre um círculo impresso dividido em intervalos de 15° que fazia o papel de um transferidor, de modo que quando o movimento de precessão acontecia o seu eixo apontava para as diversas marcações dos ângulos. A filmagem foi realizada posicionando-se a câmera acima do aparelho, como mostra a figura 19:



Figura 19: Vista superior do giroscópio filmado durante a precessão.

Após o processo de filmagem e obtenção de quadros como explicado em 4.1. Foram separadas unicamente dois quadros por volta, escolhendo aquelas onde o eixo de precessão encontra-se no início da contagem da volta e outra no final da mesma. Para evitar erros de paralaxe foram separados quadros nos quais o eixo encontra-se sempre num mesmo quadrante. Dessa forma, foram disponibilizadas em torno de 7 voltas para serem analisados com dois quadros para cada uma delas. Na figura 20 são apresentados quadros de algumas voltas do giroscópio:

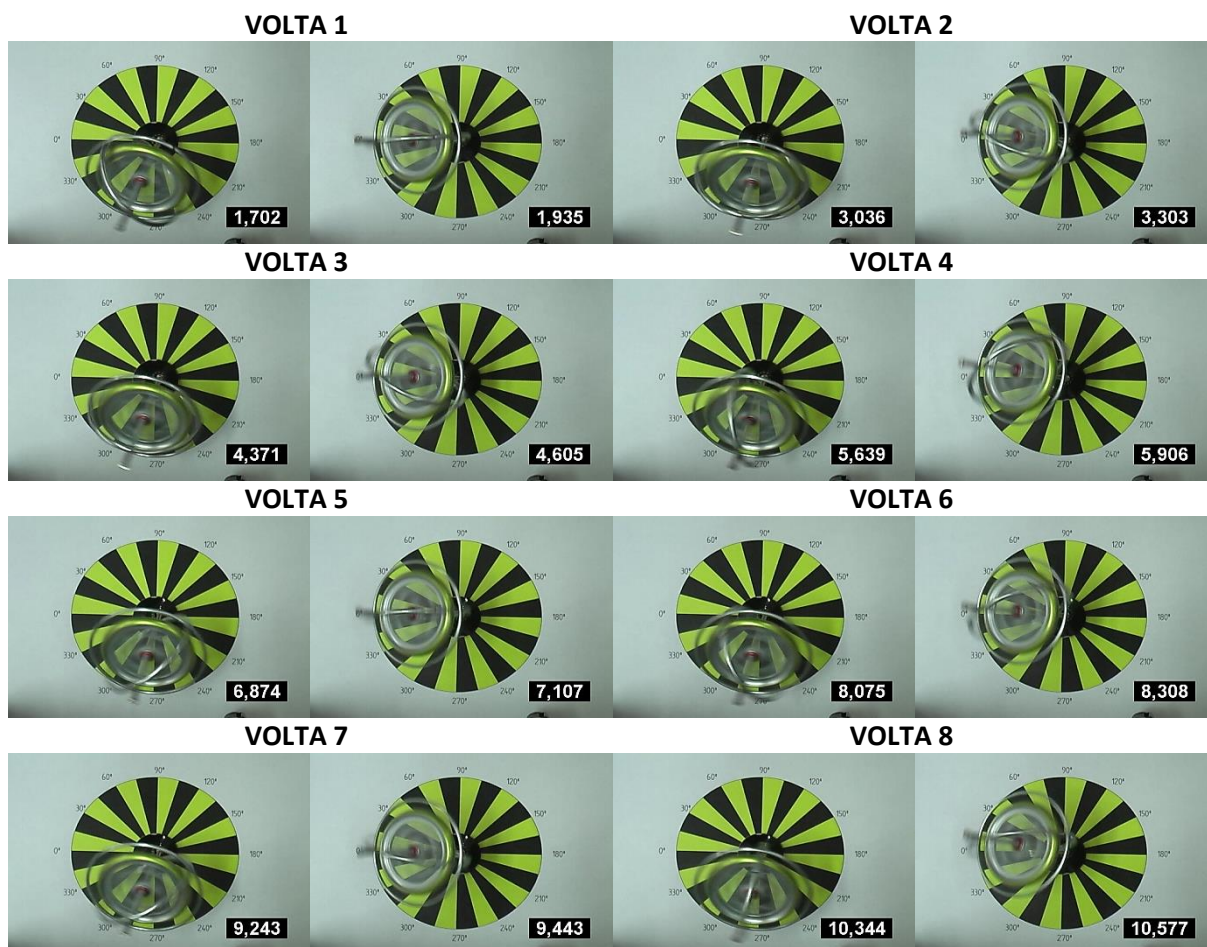


Figura 20: Conjunto de quadros disponibilizados de uma situação.

GIROSCÓPIO QUANTITATIVO

Para realizar a análise quantitativa optamos por usar um giroscópio grande construído a partir de uma roda de bicicleta (figura 21) na qual foi substituído o pneu por um enrolamento de fios de cobre para que o sistema possua a inércia rotacional de um anel, e que possam ser consideradas desprezíveis as massas do eixo e demais componentes da roda, em primeira aproximação.



Figura 21: Roda de bicicleta usada como giroscópio.

Para iniciar o movimento girava-se a roda para que ela ganhasse certa velocidade de spin e depois se colocava em algum dos furos do eixo da extremidade no apoio (figura 22).



Figura 22: Fotografia do eixo da roda, onde podem-se observar os furos nos quais é apoiado o giroscópio.

A filmagem do movimento desse giroscópio seguiu um padrão similar ao do anterior, no entanto para que fosse possível fazer a leitura de posições, ele foi apoiado sobre um círculo impresso dividido em intervalos de 5° (figura 23). A filmagem também foi realizada com a câmera filmadora em uma posição afastada aproximadamente 50 cm sobre o plano do movimento de precessão do giroscópio.

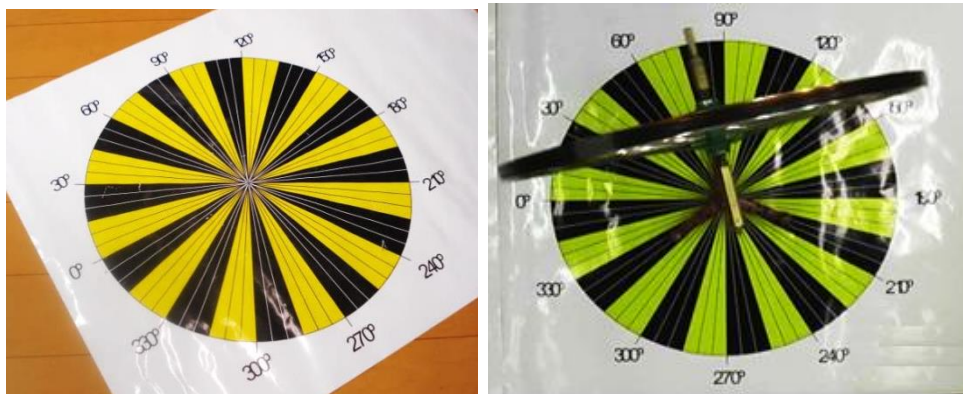


Figura 23: Fotografias da base graduada e giroscópio apoiado sobre ela.

O posicionamento escolhido para a câmera favorecia tanto a filmagem do movimento de precessão quanto o de spin. No caso desse último, apesar de não ter uma vista frontal da roda, era possível notar seu movimento. Para medir a velocidade de spin, foi colada uma fita branca na borda da roda, de modo que, era possível observá-la numa vista superior do movimento (figura 24), quando estava em uma posição superior.

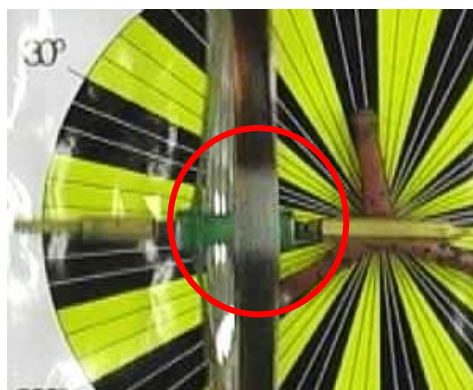


Figura 24: Marcação feita na fotografia para ressaltar a fita colocada na borda do aro para a medida da velocidade de spin.

Na página do experimento foram disponibilizadas várias situações, cada uma das quais possuem em média 12 quadros (figura 25).



Figura 25: Quadros usados na análise do experimento giroscópio quantitativo.

ANÁLISE E RESULTADOS PRÉVIOS

Com o intuito de comparar os resultados experimentais com aqueles provenientes da aplicação em equações deduzidas teoricamente, foram realizadas análises prévias antes de propor o experimento aos estudantes. Mesmo conhecendo bem as grandezas massa, gravidade, distância ao eixo de precessão (d) e ω_S (calculado experimentalmente) não estava existindo coerência entre os valores. Em relação ao momento de inércia I , havia-se adotado uma simplificação, a roda estava sendo tratada como um aro; logo, sua inércia rotacional seria calculada de acordo com essa aproximação.

Quando todas as informações obtidas eram substituídas na expressão (9), constatava-se que os resultados discrepantes continuavam, apesar de todos os cálculos parecerem corretos. Dentre os fatores que poderiam influenciar nessa diferença estariam problemas nos dados experimentais ou até mesmo numa teoria incompleta por causa do uso de simplificações e aproximações em sua dedução.

Por fim, chegou-se a conclusão de que o resultado poderia ser reflexo da simplificação feita ao momento de inércia do giroscópio. A solução então foi determiná-lo de forma experimental. O procedimento adotado foi o utilizado nos laboratórios didáticos para se determinar a inércia rotacional de um disco metálico (comumente chamado de "disco de inércia").

Primeiramente, a roda foi suspensa com a ajuda de uma estrutura de madeira como a da figura 26.



Figura 26: Fotografia da roda apoiada para a determinação do seu momento de inércia.

No entanto, assim que foi apoiada em tal estrutura, a roda passou a girar sozinha, o que evidenciava a sua distribuição de massa não uniforme, e que poderia comprometer medições subsequentes. Para compensar as partes mais pesadas, foram posicionadas pequenas esferas metálicas (diâmetro da ordem de 3 ou 4 mm) estrategicamente na borda interna da roda, a fim de que o torque resultante do desbalanceamento original diminuísse ao menor valor possível (figura 27). Para fixar as esferas, usamos fita adesiva de massa praticamente desprezível em comparação às massas das esferas.

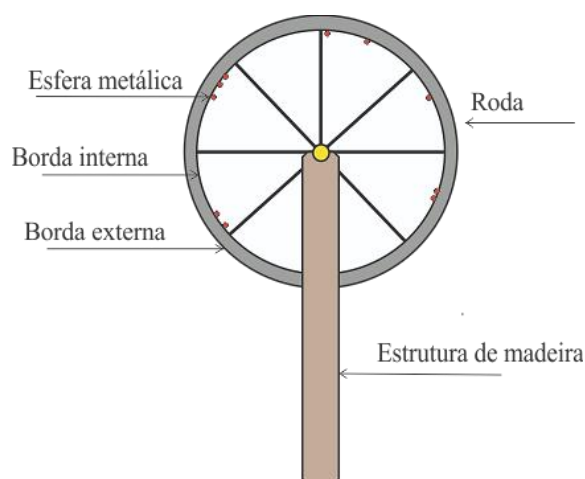


Figura 27: Esquema da roda e massas adicionais usadas para o balanceamento.

Uma vez balanceada a roda, um fio de náilon foi amarrado e enrolado na sua borda externa. Na outra extremidade foi amarrado um suporte contendo discos metálicos. Juntos (suporte + discos) possuíam massa de 49,4(1) g. A massa do fio ao longo da descida foi considerada desprezível em comparação à da massa de prova. Com a roda balanceada e apoiada sobre o suporte deu-se prosseguimento ao cálculo do momento de inércia do giroscópio.

CÁLCULO DO MOMENTO DE INÉRCIA

Este cálculo foi efetuado considerando o torque provocado pelo conjunto de suporte mais discos amarrados a um fio de náilon enrolado à borda externa da roda. As forças atuantes no conjunto são mostradas na figura 28.

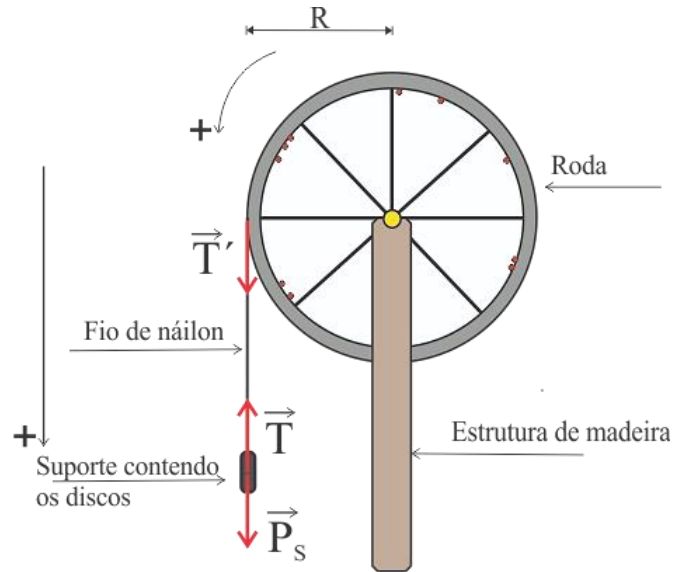


Figura 28: Esquema da roda e massa adicional usadas para o cálculo de I .

A partir da figura anterior e da análise de forças envolvidas na situação pode-se escrever que no corpo pendurado no fio de náilon

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{P} + \vec{T} = m\vec{a} \quad (10)$$

onde \vec{P} , \vec{T} , m e \vec{a} representam, respectivamente, o peso do conjunto suporte mais discos, a tração no fio de náilon (considerado inextensível e sem massa), a massa do conjunto suporte mais discos e a aceleração do mesmo.

Analisando a massa suspensa pelo fio e considerando apenas a direção vertical e a direção do referencial, adotando positivo o sentido para baixo, teremos que:

$$P - T = ma \Rightarrow T = P - ma \quad (11)$$

No movimento de giro da roda, teremos:

$$\sum \vec{\tau} = I\vec{\alpha} \quad (12)$$

onde $\vec{\tau}$, I e $\vec{\alpha}$ representam, respectivamente, o torque (devido ao peso do conjunto suporte mais discos), a inércia rotacional (em relação ao eixo de rotação da roda) e a aceleração angular.

Como as forças \vec{T} e \vec{T}' compõem um par ação e reação, já que atuam respectivamente no corpo pendurado e na borda da roda, pode-se dizer que $|\vec{T}| = |\vec{T}'| = T$. Uma vez que \vec{T} está aplicado a uma distância \vec{R} do ponto no qual gera um torque na roda, teremos:

$$\vec{\tau} = \vec{R} \times \vec{T} \quad (13)$$

Assim, igualando-se as duas expressões teremos que:

$$I \cdot \vec{\alpha} = \vec{R} \times \vec{T} \Rightarrow I = \frac{|\vec{R} \cdot \vec{T}|}{|\vec{\alpha}|} \quad (14)$$

Substituindo a expressão (11) em (14), e lembrando que $\vec{a} = \vec{\alpha} \times \vec{R}$ (supondo não existir escorregamento entre o fio de náilon e a borda externa da roda e ele ser inextensível), temos, finalmente, que:

$$I = mR^2 \frac{(|\vec{g}| - |\vec{a}|)}{|\vec{\alpha}|} \quad (15)$$

Como o movimento de queda do sistema suporte mais discos executa, com boa aproximação, um movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV) podemos fazer algumas considerações para obter a aceleração do sistema.

Se o centro de massa desse corpo se move com aceleração de módulo “a” praticamente constante e se durante a queda ele percorreu certa distância S , tratando-se de um MRUV podem se relacionar as grandezas distância percorrida S , tempo de queda do peso Δt , velocidade inicial V_0 e a aceleração do corpo no sistema de referência por:

$$S = S_0 + V_0 \Delta t + \frac{1}{2} a \Delta t^2 \quad (16)$$

Dado que o sistema parte do repouso, $V_0 = 0$, assim:

$$S = S_0 + 0 + \frac{1}{2} a \Delta t^2 \Rightarrow \Delta S = \frac{1}{2} a \Delta t^2 \Rightarrow a = 2 \frac{\Delta S}{\Delta t^2}$$

$$a = 2 \frac{\Delta S}{\Delta t^2} \quad (17)$$

Para determinar ΔS e Δt fez-se uso de uma trena e um cronômetro digital. Assim, os valores para altura, tempo de queda, aceleração e momento de inércia, foram:

Tabela 1: Resultados obtidos para o cálculo do momento de inércia (I)

| | |
|--------------------------|---------------------|
| ΔS (cm) | $(161,7 \pm 0,5)$ |
| Δt (s) | $(3,79 \pm 0,03)$ |
| a (m/s ²) | $(0,224 \pm 0,003)$ |
| I (kg.m ²) | $(0,217 \pm 0,007)$ |

Esses resultados também podem ser encontrados na página do Laboratório Virtual <http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto/roteiros/giroscopioQuantitativo/MomentoInerciaRoda.pdf>.

Uma vez apresentado todo o processo de criação do experimento virtual do giroscópio bem como a análise preliminar de seu movimento, é possível de descrever como essa atividade é proposta aos estudantes.

ATIVIDADE PROPOSTA AOS ALUNOS

Como visto, foram desenvolvidos dois experimentos sobre o movimento do giroscópio. Ambos são propostos aos estudantes em momentos distintos e com finalidades diferentes como será descrito a seguir.

ANÁLISE QUALITATIVA

A primeira questão feita para os alunos, que consta no roteiro, que se encontra no Anexo 1, devia ser respondida antes que tenha sido feita qualquer tipo de análise, de maneira espontânea, apenas assistindo ao vídeo que reproduzia o movimento do giroscópio. A questão era: a velocidade de precessão do giroscópio aumenta, diminui ou permanece constante com o decorrer do tempo? O objetivo era que os alunos trouxessem à tona suas ideias prévias de modo a coloca-las posteriormente em xeque no momento da análise dos dados. Depois de expressa a suposição inicial seria o momento da análise de dados.

O guia da experiência sugere que inicialmente o aluno acesse o vídeo no qual é possível ver todo o movimento do giroscópio, tanto à distância quanto superior (que é o vídeo do qual se originaram o conjunto de quadros).

A partir do conjunto de quadros o aluno deve construir uma tabela de posições angulares de precessão (θ_p) seguidas de seu respectivo tempo. Dada a divisão da base sobre a qual se apoia o suporte do giroscópio estar dividida em intervalos de 15°, não é possível ter

uma precisão muito boa na determinação do ângulo. É recomendado que cada setor angular de 15° seja dividido (de forma imaginária) em 3 partes, cada um correspondendo a 5° . Com isso, a posição do giroscópio sobre o círculo será dada por múltiplos de 5° .

Com os dados da tabela pode ser calculada a velocidade angular média ($\bar{\omega}_p$) de precessão para cada par de quadros de cada volta seguindo a expressão:

$$\bar{\omega}_p = \frac{\Delta\theta_p}{\Delta t} = \frac{\theta_{final} - \theta_{inicial}}{t_{final} - t_{inicial}} \quad (18)$$

onde $t_{inicial}$ é o instante quando o eixo do giroscópio encontra-se na posição inicial e t_{final} o instante quando o eixo encontra-se na posição final.

Essa será a velocidade angular média em um instante médio (\bar{t}), o qual será dado por:

$$\bar{t} = \frac{t_{final} + t_{inicial}}{2} \quad (19)$$

Com os valores obtidos deve ser construído um gráfico de velocidade média de precessão em função do tempo, similar ao apresentado na figura 29, o qual servirá de base para análise posterior.

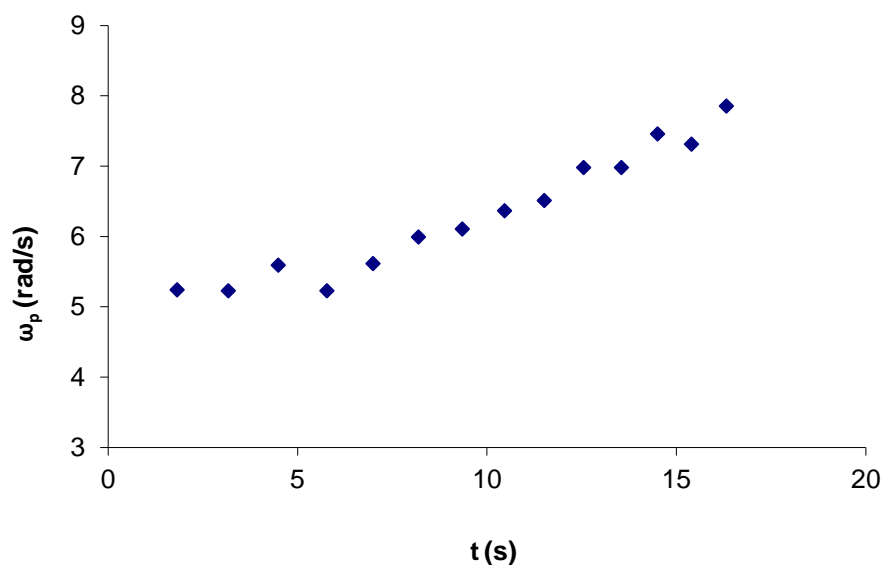


Figura 29: Gráfico para o movimento de precessão da experiência do giroscópio qualitativo.

Realizada a coleta de dados e a construção do gráfico, o aluno deve analisar qualitativamente o movimento do giroscópio dando atenção à velocidade de precessão. Ele confrontará o resultado da análise com a suposição feita inicialmente, quando interrogado sobre o que achava que aconteceria com essa velocidade.

Após a etapa qualitativa da análise, é proposto um experimento quantitativo, onde é possível obter os valores das velocidades de precessão e de spin para finalmente comparar essas grandezas com cálculos provenientes de deduções teóricas.

ANÁLISE QUANTITATIVA

No guia da experiência (ver Anexo 2) se sugere que o aluno acesse o vídeo no qual é possível ver todo o movimento do giroscópio, tanto à distância quanto desde uma tomada superior (que é o vídeo do qual se originaram o conjunto de quadros) para compreender o experimento e proceder à medida das respectivas posições e tempos que darão lugar a análise do mesmo. No filme são mostradas todas as voltas do giroscópio enquanto que nos quadros são disponibilizados dois conjuntos: um referente à primeira volta do movimento de precessão e o outro da segunda volta de precessão. Além disso, os quadros referem-se ao movimento descrito apenas num quadrante. Isso visa amenizar erros de paralaxe bem como a influência do movimento de nutação².

O conjunto de quadros nos quais estão registradas as posições angulares do movimento de precessão do giroscópio na sua primeira e segunda volta é a base para que o aluno inicie a análise quantitativa do movimento.

A partir dos quadros extraídos do vídeo é sugerida a construção de uma tabela dos ângulos (θ_p) descritos pela extremidade do eixo em função do tempo. Com esses dados o aluno deve calcular a velocidade de precessão média ($\bar{\omega}_p$) para um intervalo $[t_{i-1}; t_{i+1}]$, onde t_i é o tempo na foto de número i e $\theta_p(t_i)$ a posição do eixo de precessão desse mesmo quadro, a partir da expressão seguinte:

$$\bar{\omega}_{p[t_{i-1}; t_{i+1}]} = \frac{\Delta\theta_p}{\Delta t} = \frac{\theta_{i+1} - \theta_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}} \quad (20)$$

² Movimento de oscilação do eixo do giroscópio em torno de uma circunferência imaginária (NUSSENZVEIG, 1981).

Essa velocidade pode ser considerada como a velocidade instantânea $\omega_p(\bar{t}_i)$ no instante médio, \bar{t}_i (pelo teorema do valor médio, considerando que o tempo entre as duas posições é pequeno)

$$\bar{t}_i = \frac{t_{i+1} + t_{i-1}}{2} \quad (21)$$

O guia da experiência sugere o cálculo das incertezas para os valores obtidos θ_i e $\bar{\omega}_p$. A incerteza na velocidade de precessão depende das incertezas nas grandezas medidas diretamente, ou seja, das incertezas nas posições angulares e no tempo. No caso desse último, por ter sido originado do código de tempo estampado no quadro, ao realizar-se a propagação de incertezas sua contribuição é desprezível (VUOLO, 1996), uma vez que o intervalo de tempo entre um quadro e outro é muito pequeno e sua imprecisão muito baixa. Assim, sabendo dessas informações, o aluno calculará a incerteza da velocidade por:

$$\sigma_{\omega_p} = \frac{\sqrt{2}}{\Delta t} \sigma_{\theta} \quad (22)$$

onde σ_{θ} é a incerteza da leitura da posição angular, que no caso pode ser tomada como metade da menor divisão do círculo de referência ($2,5^\circ$), e Δt o intervalo de tempo total usado no cálculo da velocidade.

A partir dos valores obtidos para a velocidade de precessão no conjunto de quadros (aproximadamente 12) referentes a primeira volta, o aluno deve calcular a média de todos esses valores, que representará a média de velocidade na primeira volta. O mesmo processo será repetido para a volta seguinte. A incerteza desse valor deve ser tomado como o desvio padrão da média.

Espera-se que o aluno tenha consciência de que os quadros do movimento do giroscópio permitiram obter um valor quantitativo para sua velocidade de precessão. Assim, para avaliar esse comportamento em relação à velocidade de spin, espera-se que o aluno valide a expressão (9), fazendo-se necessário o cálculo da velocidade de spin do giroscópio. Para isso é considerada a fita presa à borda da roda (destaque na figura 23). Para calcular a velocidade de spin o aluno considera um deslocamento angular da roda de 360° (2π rad), uma vez que se leva em conta um instante inicial e final para a posição da fita. Passando os sucessivos quadros do filme nota-se que em algum momento a fita “desaparece” do ângulo de visão da câmera (isso porque a roda está girando) e depois de alguns instantes “aparece” novamente. Esse intervalo de tempo entre a fita aparecer duas vezes consecutivas é o

intervalo no qual a roda realizou uma volta, de modo que ao considerar esse deslocamento angular, para calcular a velocidade de spin, o aluno pode usar a expressão:

$$\omega_s = \frac{2\pi}{T} \quad (23)$$

onde T é o intervalo de tempo entre dois quadros selecionados.

No cálculo da incerteza da velocidade de spin σ_{ω_s} o aluno deve considerar que apesar da fita realizar uma volta, pelos quadros extraídos não se consegue obter o instante exato em que ela retornou à posição inicial. Por esse motivo deve estimar uma incerteza para a posição angular fazendo uma equivalência entre a diferença de posição entre um quadro e outro e o comprimento da fita. A figura 30 mostra essa consideração.

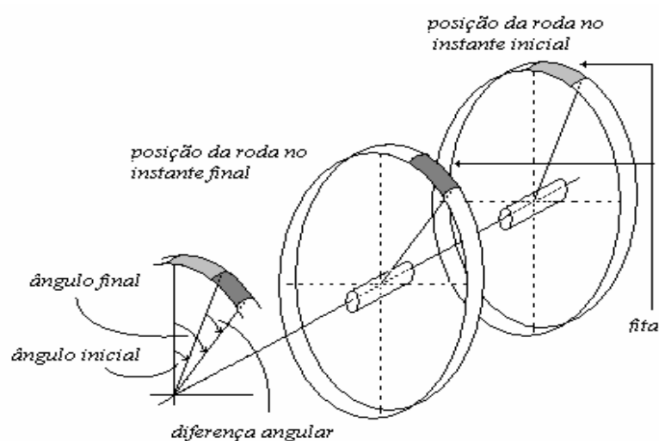


Figura 30: Esquema explicativo da roda e fita que ilustra o cálculo da incerteza na posição angular de spin.

O aluno deve se orientar pelo eixo no centro da roda e considerar o valor do comprimento da fita para estimar a diferença angular (a fita possui um comprimento de 5 cm, o raio da roda R é um valor fornecido). O ângulo subtendido por esse arco, α , pode ser calculado com

$$\alpha = \frac{S}{R} \quad (24)$$

onde S corresponde à diferença de fita estimada entre uma foto e outra, que pode ser estimada como a metade de um comprimento de fita, um quarto, e assim por diante.

Os alunos calculam os valores da velocidade de precessão para duas voltas distintas. Por esse motivo também são calculados os valores, em duas voltas distintas, para a velocidade de spin. É importante destacar que os quadros usados no cálculo da velocidade de spin correspondem à mesma volta que foi usada no cálculo da velocidade de precessão.

Para a realização da análise dos quadros alguns dados como a massa, raio, distância do ponto de apoio ao centro de massa da roda e inércia rotacional do giroscópio são fornecidos previamente em um quadro igual à tabela 2.

Tabela 2: Dados necessários para análise do Giroscópio Qualitativo; d é a distancia do centro de massa da roda ao eixo de precessão.

| | | |
|-----------------------|-------|-------------------------|
| Diâmetro da roda (cm) | | (64,5 ± 0,5) |
| d (cm) | d_1 | Situação 4 (7,7 ± 0,2) |
| | | Situação 6 (7,7 ± 0,2) |
| | d_2 | Situação 2 (9,3 ± 0,2) |
| | | Situação 5 (9,3 ± 0,2) |
| | d_3 | Situação 1 (11,0 ± 0,2) |
| | | Situação 3 (11,0 ± 0,2) |
| Massa da roda (g) | | (3460 ± 20) |

Os diferentes valores de d resultaram das diferentes filmagens onde essa distância foi alterada o que possibilitou obter essas seis situações.

É sugerido que os alunos organizem os dados da análise inicial como exemplificado na tabela 3.

Tabela 3: Dados do movimento de precessão para a situação 2

| Volta 01 | | | | Volta 02 | | | |
|---------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|---------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|
| t(s) | $\theta(^{\circ})$ | ω_p (rad/s) | σ_{ω_p} (rad/s) | t(s) | $\theta(^{\circ})$ | ω_p (rad/s) | σ_{ω_p} (rad/s) |
| 176,743 | 270 | | | 190,524 | 270 | | |
| 176,877 | 280 | 1,31 | 0,23 | 190,657 | 285 | 1,63 | 0,23 |
| 177,01 | 290 | 1,31 | 0,23 | 190,791 | 295 | 1,31 | 0,23 |
| 177,144 | 300 | 1,31 | 0,23 | 190,924 | 305 | 1,31 | 0,23 |
| 177,277 | 310 | 1,31 | 0,23 | 191,058 | 315 | 1,63 | 0,23 |
| 177,411 | 320 | 1,31 | 0,23 | 191,191 | 330 | 1,64 | 0,23 |
| 177,544 | 330 | 1,31 | 0,23 | 191,324 | 340 | 1,31 | 0,23 |
| 177,677 | 340 | 1,31 | 0,23 | 191,458 | 350 | 1,49 | 0,26 |
| 177,811 | 350 | 1,49 | 0,26 | 191,558 | 360 | | |
| 177,911 | 360 | | | | | | |
| Média (rad/s) | | 1,331 | 0,082 | Média (rad/s) | | 1,475 | 0,087 |

Os alunos devem apresentar uma tabela similar a essa com os dados brutos extraídos dos quadros (posição angular e respectivo tempo) a partir dos quais é possível calcular a velocidade angular de precessão bem como sua respectiva incerteza conforme as orientações dadas anteriormente. O mesmo método é usado para analisar os quadros das duas voltas, o que permite ao aluno obter os valores para a velocidade angular de precessão para cada uma delas. Percebemos nesse exemplo que $\bar{\omega}_p$ na primeira volta foi de $(1,331 \pm 0,082)$ rad/s e na segunda volta foi $(1,475 \pm 0,087)$ rad/s, o que mostra claramente um aumento dessa velocidade, fato que intuitivamente podia não ser esperado pelos estudantes.

Para calcular a velocidade de spin, usando o método proposto anteriormente, o aluno deve organizar seus dados da maneira exemplificada na tabela 4.

Tabela 4: Dados do movimento de spin

| | t_1 | t_2 | $\omega_s(\text{rad/s})$ | $\sigma_{\omega_s}(\text{rad/s})$ | $\sigma_\alpha(\text{rad/s})$ |
|-----------------|--|---------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| Volta 01 | 176,743 | 177,344 | 10,455 | 0,018 | 0,008 |
| | estimativa da diferença de arco (cm): | | | | 0,25 |
| | estimativa da diferença angular (rad): | | | | 0,008 |
| | t_1 | t_2 | $\omega_s(\text{rad/s})$ | $\sigma_{\omega_s}(\text{rad/s})$ | $\sigma_\alpha(\text{rad/s})$ |
| Volta 02 | 190,757 | 191,458 | 8,96 | 0,25 | 0,12 |
| | estimativa da diferença de arco (cm): | | | | 4 |
| | estimativa da diferença angular (rad): | | | | 0,12 |

O aluno considera o intervalo de tempo entre dois quadros que marcam o começo e o fim de uma volta da roda, para o cálculo da velocidade de spin. Esses dois tempos respectivos são apresentados na tabela como t_1 e t_2 e considerando o deslocamento de uma volta como 2π é possível calcular ω_s . Para a incerteza dessa grandeza é necessária a incerteza da posição angular de spin, para isso, seguindo o método descrito e ilustrado na figura 30, o aluno pode estimar, por exemplo, a diferença entre um quadro e outro em 0,25 cm na primeira volta e 4cm na segunda. Dividindo-se esse valor pelo correspondente ao raio da roda obtém-se o ângulo, subtendido por esse pequeno “arco de fita”, em radianos, que será a incerteza do deslocamento angular. Assim, usando esse valor para o cálculo da incerteza de $\Delta\omega_s$ obtém-se finalmente $(10,46 \pm 0,02)$ rad/s para a velocidade de spin na primeira volta e $(8,96 \pm 0,25)$ rad/s na segunda. Esses dois valores fornecem a verificação da diminuição de ω_s ao longo do tempo, o que até poderia ser esperado, visto que inicialmente

foi dada certa velocidade à roda, a qual tenderia a diminuir ao longo do tempo por causa do atrito no seu mecanismo de rolamento.

A análise prévia dos valores experimentais obtidos dos quadros, já de antemão mostra a dependência inversa entre as grandezas precessão e spin, o que acaba por sugerir uma avaliação teórica desses dados. Fazendo uso da expressão (9) é possível, a partir do valor experimental obtido, encontrar um valor calculado com os parâmetros da tabela 1. É sugerido no guia da experiência que os alunos verifiquem se esses dois valores condizem dentro das incertezas previstas.

Com o valor calculado e fornecido no guia para o momento de inércia, os valores das velocidades angular de precessão (ω_p) e de spin (ω_s) passaram a ter uma boa concordância. A tabela 5 compara os valores experimentais, e suas respectivas incertezas, de ω_p e ω_s , com os valores calculados a partir de (9):

Tabela 5: Comparação entre valores experimentais e calculados

| VALORES EXPERIMENTAIS | | |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | $\omega_p(\text{rad/s})$ | $\omega_s(\text{rad/s})$ |
| Volta 01 | $(1,33 \pm 0,08)$ | $(10,455 \pm 0,018)$ |
| Volta 02 | $(1,48 \pm 0,09)$ | $(8,96 \pm 0,25)$ |
| VALORES CALCULADOS | | |
| | $\omega_p(\text{rad/s})$ | $\omega_s(\text{rad/s})$ |
| Volta 01 | $(1,39 \pm 0,05)$ | $(11,0 \pm 0,8)$ |
| Volta 02 | $(1,62 \pm 0,08)$ | $(9,9 \pm 0,7)$ |

Nota-se que os valores são compatíveis dentro das incertezas. De uma volta para outra percebe-se o aumento da velocidade de precessão, tanto nos valores experimentais quanto nos calculados, da mesma maneira que a velocidade de spin diminui.

Este experimento também foi realizado de maneira tradicional, de modo a obterem-se parâmetros que colocassem em questionamento a viabilidade de cada uma das modalidades: experimental tradicional ou virtual. Dessa forma a etapa quantitativa da análise do movimento do giroscópio também foi realizada usando os equipamentos do laboratório, sem valer-se de nenhuma filmagem. Todos os procedimentos usados para obter as mesmas grandezas serão descritos a seguir.

O EXPERIMENTO TRADICIONAL

Nessa modalidade os alunos calculam os valores de velocidade angular de precessão a partir de medidas feitas usando o mesmo giroscópio das filmagens do experimento virtual e um cronômetro. Depois de colocar o aparato para girar, o mesmo é apoiado sobre o suporte. A partir do momento em que começa a precessar, os alunos ficavam encarregados de cronometrar o tempo de cada volta de precessão. Para isso eles fazem uso da função “lap” do cronômetro, que uma vez acionado arquiva o instante, mas mantém o tempo fluindo; é possível assim manter o giroscópio rodando e, adotando-se uma posição de referência para o eixo, apertar o “lap” cada vez que o mesmo passar por ela. Ao resgatar os tempos marcados obtém-se o período de cada volta dada.

A partir do período de precessão é possível calcular a velocidade de precessão ω_p usando:

$$\omega_p = \frac{2\pi}{T} \quad (25)$$

Em posse desse valor o aluno tem a oportunidade de calcular a velocidade de spin fazendo uso da expressão (9). Nessa modalidade do experimento não é possível medir o período da roda girando, uma vez que sua velocidade é elevada o que impossibilita a contagem das voltas num certo intervalo de tempo.

As incertezas são calculadas a partir do processo de propagação de erros levando-se em conta nesse caso a incerteza do cronômetro e até mesmo da pessoa que fez uso dele, ou seja, para o erro na medida do tempo foi considerado o tempo de reação da pessoa que realizou a medição, calculado conforme descreve Oliveira (OLIVEIRA, PANZERA, *et al.*, 1998).

Desenvolver o experimento de maneira tradicional possibilitou que em um momento posterior os alunos pudessem comparar os resultados obtidos com as duas modalidades e analisar as potencialidades de cada uma delas. Para tanto foi elaborado um roteiro no qual os alunos devem expor seus resultados salientando as diferenças que percebem no laboratório tradicional e no virtual.

6. METODOLOGIA DE PESQUISA

O Laboratório Virtual vem sendo aplicado aos alunos da Licenciatura em Física do IFUSP há cerca de oito anos, em disciplinas introdutórias de mecânica desse curso, mostrando-se como um recurso a mais, além da lousa, do giz e do livro didático que o professor faz uso em sala de aula. Apresenta muitas características que o tornam um forte aliado do professor e do aluno no processo de ensino-aprendizagem de determinados fenômenos, uma vez que permite a contextualização do mesmo, diminuindo assim grande parte do grau de abstração muito frequente nas aulas teóricas de física. Permite ao professor de uma disciplina teórica trabalhar com alguns tópicos experimentais em paralelo às aulas. Na Licenciatura em Física, as disciplinas experimentais e teóricas estão em grades independentes e são ministradas por professores diferentes. Algumas vezes o professor leva à sala de aula algum dispositivo e o usa em demonstrações que auxiliam na compreensão do fenômeno em estudo por parte dos alunos, mas essas demonstrações são meramente ilustrativas e não se tem a opção de experimentar nem “medir”, ou elaborar modelos sobre as grandezas envolvidas no tópico em estudo. O Laboratório Virtual permite que sejam analisadas quantitativamente questões que não poderiam ser trabalhadas em um laboratório presencial, devido a algumas limitações experimentais já mencionadas em 4.2. O experimento escolhido, no caso o giroscópio, permite a visualização do movimento e a constatação de fenômenos que não poderiam ser observados sem o auxílio da filmagem. A opção por escolher o experimento do Giroscópio deveu-se ao fato do mesmo ser um equipamento com um movimento peculiar e que provoca surpresa, características descritas em 5.1.

O Laboratório Virtual foi criado com o objetivo de contribuir para a aprendizagem do aluno, não se reduzindo a uma atividade onde simplesmente se manipula uma planilha de dados e chega a conclusões automáticas que não foram de fato obtidas por meio dos resultados na análise do experimento, como foi destacado por Fonseca (FONSECA, MAIDANA, *et al.*, 2013).

Um tentativa de verificar se os objetivos pensados nas propostas do Laboratório Virtual estão sendo atingidos pode ser feita por meio de uma pesquisa tanto quantitativa como interpretativa. A primeira é baseada em dados empíricos e quantificáveis estatisticamente, enquanto a segunda enfatiza o conjunto de informações obtidas por meio dos trabalhos entregues pelos alunos e pela observação do seu comportamento frente às atividades do curso de graduação (CRESWELL, 2009). O termo interpretativo é usado seguindo as ideias

de Erickson (ERICKSON, 1986), que corresponde a uma pesquisa abrangente e que integra elementos que vão desde a observação da postura do próprio indivíduo frente à tarefa proposta até a análise de suas atitudes nas situações em que se envolve no desenrolar da atividade dentro do curso.

No caso do Laboratório Virtual, uma avaliação com cunho interpretativo se mostra mais adequada, pois permite buscar uma melhor maneira³ de implementá-la ao longo do tempo em que esse material tem sido usado nas disciplinas. Como já citado, o Laboratório Virtual é uma atividade a ser cumprida pelos estudantes dentro dos créditos-trabalho da disciplina, com o apoio de um estudante avançado do Curso (frequentemente uma aluna ou um aluno do ano anterior, que chamaremos monitor web no texto que segue). Os alunos devem entregar relatórios escritos sobre o experimento efetuado, e recebem notas com peso na média final da disciplina à qual esses créditos trabalho estão vinculados. O monitor web está disponível em certos horários e também por e-mail, para acompanhar os estudantes no desenvolvimento do seu estudo. Ele desempenha um papel importante na avaliação uma vez que acompanha desde a tomada de dados dos alunos até a preparação do relatório e a resolução das dúvidas, até a devolução do relatório corrigido. Dessa forma, a pesquisa com enfoque interpretativo segue os pressupostos apresentados por Moreira (MOREIRA, 1999)

Ele [pesquisador] não está preocupado em fazer inferências estatísticas, seu enfoque é descritivo e interpretativo ao invés de explanatório ou preditivo. Interpretação dos dados é o aspecto crucial do domínio metodológico da pesquisa qualitativa. Interpretação do ponto de vista de significados. Significados do pesquisador e significados dos sujeitos. (MOREIRA, 1999)

Assim, para que se tivesse uma amostra confiável e que permitisse investigar e avaliar o uso do Laboratório optou-se por entrevistar alunos que realizaram as atividades virtuais ao longo dos anos. Com essas entrevistas poderia ser feita uma avaliação com o intuito de verificar se os objetivos idealizados para a experiência estavam sendo atingidos. Assim, o recurso da entrevista dá um espaço mais amplo para o aluno falar e expor conceitos, sensações e conclusões pessoais a respeito da atividade virtual. Da mesma forma como no relatório, o aluno expõe suas impressões sobre o objetivo da atividade e como ela foi realizada, com a vantagem de que o aluno está falando espontaneamente, não se trata de um relatório escrito por ele há tempos atrás, e ainda mais, não vale nota, o que deixa ao entrevistado livre para se expressar sem o constrangimento de cometer erros, se houve. Outro ponto favorável em relação à entrevista é que ela permite verificar com mais certeza o que foi

³ Melhor aqui entende-se como mais efetivo dentro de critérios de custo, simplicidade e possibilidade de uso por outros docentes em outras instituições de ensino.

significativo para o aluno, uma vez que ele destacará aquilo que ainda está na sua memória. A opção por se escolher apenas a entrevista como ferramenta de análise permitirá ao fim do trabalho validar se apenas esse recurso seria suficiente para avaliar o uso da ferramenta virtual.

A interação dos estudantes com o experimento virtual Giroscópio foi avaliada por meio de uma entrevista. Ao todo foram entrevistados 12 alunos que cursaram a disciplina nos anos de 2009 a 2014, para verificar se ainda havia restado alguma lembrança do experimento. É importante destacar que todos os entrevistados cursaram a disciplina apenas uma vez.

Durante as entrevistas, os alunos foram convidados a falar sobre:

- a) Os experimentos virtuais em geral que haviam sido trabalhados na disciplina, dando um enfoque especial ao experimento do giroscópio.
- b) Descrição e funcionamento do aparato giroscópio, destacando quando possível as grandezas físicas envolvidas nesse movimento.
- c) Objetivos do experimento virtual do giroscópio.
- d) Expectativas e conclusões proporcionadas pelo experimento, dentre outros.

As entrevistas aconteceram de maneira bastante informal, individualmente, de modo que os alunos se mostraram bastante à vontade ao falar das experiências virtuais. Apesar de existir um roteiro com os tópicos a serem questionados, as perguntas aconteciam de maneira natural, e à medida que se percebia uma oportunidade, eles acabavam comentando situações que não necessariamente haviam sido perguntadas. O roteiro dos itens anteriores era apenas uma base sobre o que seria importante que o aluno comentasse, mas será possível notar que cada entrevista aconteceu de maneira particular o que demandou uma atenção e um cuidado bastante grande para identificar na fala dos alunos as informações que estavam sendo requisitadas.

É importante ressaltar que por se tratar de uma pesquisa qualitativa o contato próximo com o ambiente investigado é essencial para que seja possível extrair dos alunos o máximo de indicativos que favoreçam a resposta à pergunta chave da pesquisa. Como cita Moreira (MOREIRA, 1999):

O investigador interpretativo observa participativamente, de dentro do ambiente estudado, imerso no fenômeno de interesse, anotando cuidadosamente tudo o que acontece nesse ambiente, registrando eventos - talvez através de áudio teipes ou de videoteipes -- coletando documentos tais como trabalhos de alunos, materiais distribuídos pelo professor, ocupa-se não de uma amostra no sentido quantitativo, mas de grupos ou indivíduos em particular, de casos específicos, procurando escrutinar exaustivamente determinada instância tentando descobrir o que há de único nela e o que pode ser generalizado a situações similares (MOREIRA, 1999).

Nesta pesquisa, o fato de ter participado da criação do experimento e também de sua aplicação em todas as turmas de alunos, permitiu acumular muitas impressões dos estudantes e de como eles se comportavam nos períodos em que realizavam as atividades, no caso, nas monitorias web. Outro material que também contribuiu para a avaliação foram os relatórios que os alunos elaboraram, que também foram usados nas entrevistas.

As entrevistas foram transcritas e analisadas individualmente em um primeiro momento e de maneira fragmentada, posteriormente, como propõe Duarte (DUARTE, 2004):

Trata-se, nesse caso, de segmentar a fala dos entrevistados em unidades de significação – o mínimo de texto necessário à compreensão do significado por parte de quem analisa – e iniciar um procedimento minucioso de interpretação de cada uma dessas unidades, articulando-as entre si, tendo por objetivo a formulação de hipóteses explicativas do problema ou do universo estudado (DUARTE, 2004).

Essa segmentação feita das entrevistas e posterior análise também se assemelham a um dos métodos propostos por Bardin (BARDIN, 2009). Na sua abordagem sobre análise de conteúdo ela apresenta uma técnica na qual os dados devem ser previamente analisados, organizados e tratados. A partir da organização dos dados podem ser feitas inferências, as quais permitiriam afirmar se se atingiram os objetivos iniciais (FARAGO e FOFONCA, 2000). A transcrição completa das entrevistas encontra-se no Anexo 3.

Na tentativa de encontrar indícios que apontassem para uma construção do conhecimento, como os conceitos físicos envolvidos no movimento do giroscópio, recorreu-se aos dois conceitos apresentados no capítulo 3: subsunçores, propostos por Ausubel, e o desequilíbrio, proposto por Piaget.

Em um primeiro momento tentou-se verificar se o experimento do giroscópio seria uma situação que causasse o desequilíbrio no aluno e que de alguma forma o impactasse e despertasse o interesse para compreendê-lo.

Para Piaget, o desenvolvimento cognitivo do indivíduo ocorre através de constantes desequilíbrios e equilibrações (OLIVEIRA e DAVIS, 1993).

Uma vez feita essa constatação buscou-se verificar que conhecimentos o aluno já possuía e que dariam conta de explicar o fenômeno; seria a identificação dos subsunçores:

O subsunçor é, portanto, um conhecimento estabelecido na estrutura cognitiva do sujeito que aprende e que permite, por interação, dar significado a outros conhecimentos. (MOREIRA, 2012)

Escolheu-se esse conceito pois, sempre que uma situação nova é apresentada, a tendência do aluno é inicialmente tentar explicá-la a partir daquilo que ele já sabe. O subsunção se mostra adequado uma vez que estaria abrangendo esses conceitos prévios.

Uma vez verificado o possível interesse dos alunos pelo giroscópio e verificado se o contato com o aparelho causou uma situação de desequilíbrio, buscou-se encontrar nas falas transcritas a maneira como era explicado seu funcionamento. Nesse processo identificaram-se duas situações que foram classificadas sob os conceitos de assimilação e acomodação, em menor ou maior grau, propostos por Piaget. No primeiro caso, o aluno estaria interagindo com o meio, no caso o material – tanto o vídeo quanto os quadros – do giroscópio, e usando-se dos conhecimentos que possuía para explicar o seu funcionamento. No segundo caso, também ocorre a interação com o giroscópio, no entanto, percebe-se que os conhecimentos que possuía não eram suficientes para explicá-lo, surgindo então a necessidade de reestruturar sua linha de pensamento recorrendo a novos conceitos. Nesse caso poderia ocorrer uma ampliação das situações, ou seja, uma generalização dos conceitos utilizados permitindo que situações similares possam ser explicadas.

De maneira simplificada, as falas transcritas foram classificadas segundo os tópicos apresentados a seguir:

- I) Interesse/surpresa na interação inicial com o giroscópio.
- II) Estranhamento causado pelo movimento retratado no gráfico (desequilíbrio).
- III) Busca de uma explicação a partir do conhecimento já incorporado (assimilação/acomodação em menor grau), tentando fazer uso de seus subsunções.
- IV) Desenvolvimento e modificação do conhecimento para que o movimento possa ser explicado (assimilação/acomodação em maior grau).

A partir dessa identificação seria possível verificar de que maneira estaria ocorrendo a aprendizagem do aluno a respeito dos conteúdos físicos envolvidos no movimento do giroscópio.

Afirmar que houve ou não aprendizagem é uma colocação audaciosa, no entanto, com essa análise obtiveram-se apontadores que indicaram o percurso seguido e que poderiam estar levando a uma aprendizagem por parte dos estudantes.

Com essas expectativas, as falas dos alunos foram organizadas em uma tabela de duas colunas. Os 12 alunos entrevistados foram identificados por letras (A, F, G, I, L, MC, MT, N, R, RC, S e V); cada fala do diálogo entre aluno e entrevistador (M) foi numerada em ordem crescente. Na tabela, a primeira coluna apresenta uma letra e um número, por exemplo, “L40”, onde o aluno entrevistado em questão é o “L” e “40” é a linha do diálogo dessa entrevista.

Tomando como base tópicos citados anteriormente, as falas dos alunos que contemplassem esses itens eram destacadas e brevemente comentadas, de modo que o material obtido de cada um dos 12 entrevistados passou por esse processo e foi individualmente verificado. Posteriormente foram classificadas as falas dos alunos que melhor ilustram cada um dos tópicos citados e agrupadas em uma tabela. Com elas foi elaborado um diagrama que denota a evolução do esquema de pensamento do estudante desde o momento em que ele interage com o giroscópio, até quando busca uma maneira de explicar seu funcionamento. Esse diagrama possibilita uma maneira visual de compreender o comportamento do aluno ao entrar em contato com esta situação inusitada.

No trabalho de Marçal (MARÇAL, 2009) sobre a constituição do sujeito, é apresentada uma caracterização da interação sujeito-organismo com o meio. Ele destaca que essa interação pode ser marcada pelo equilíbrio ou não. No caso da segunda opção ocorrer, e uma perturbação vier à tona, o organismo se esforçará para reencontrar o equilíbrio possivelmente perdido. Se essa perturbação for diferente das anteriores, o sujeito modificará sua forma de agir, acomodando os esquemas de pensamento para que essa nova situação seja assimilada, e dessa forma seja significativa a ele. Essa linha de pensamento desenvolvida por Marçal foi descrita no fluxograma da figura 31:

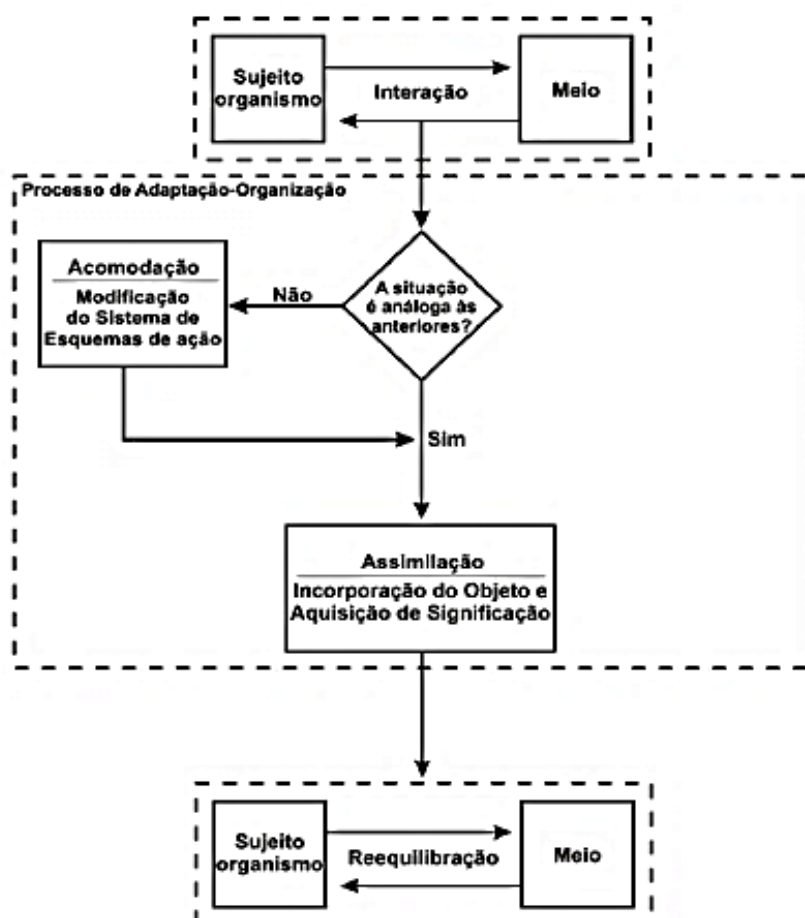


Figura 31: Diagrama proposto por Marçal para representar o processo de equilíbrio (MARÇAL, 2009).

O fluxograma descreve de maneira geral o processo de reequilíbrio do sujeito, destacando as diferentes posturas adotadas pelo indivíduo. A partir dele percebem-se as etapas seguidas pelo indivíduo desde sua interação com uma nova situação até sua possível reestruturação, onde novos conhecimentos são apropriados. Vale ressaltar que o diagrama sugere uma dicotomia entre assimilação e acomodação, uma possibilidade de ocorrer uma ou outra. Nesse trabalho assume-se os conceitos como processos simultâneos, que atuando em conjunto permitem compreender a evolução da aprendizagem do indivíduo.

Baseado nessa proposta foi desenvolvido um diagrama a partir das falas de destaque dos alunos, que denota a evolução do esquema de pensamento do estudante desde o momento em que ele interage com o giroscópio, até quando busca uma maneira de explicar seu funcionamento. Esse diagrama, apresentado no capítulo 7, possibilita uma maneira visual de compreender o comportamento do aluno ao entrar em contato com esta situação inusitada.

7. RESULTADOS E ANÁLISES

As entrevistas foram analisadas segundo as categorias anteriormente descritas, de maneira que na sequência de cada uma é transcrita a fala dos alunos que ali se enquadram. Logo após, será feita uma análise geral que resume os comentários de destaque dos entrevistados em um quadro síntese.

7.1. ANÁLISE POR CATEGORIAS

I. INTERESSE PELO GIROSCÓPIO

Seguindo um roteiro padrão para todos os entrevistados, a conversa iniciava-se com um questionamento acerca dos experimentos virtuais trabalhados ao longo do curso, dando um enfoque no experimento do giroscópio. A intenção aqui é identificar se o contato do aluno com o giroscópio, independente do momento em que ocorreu, quer seja durante a aula, em situações anteriores ou somente no momento da realização da atividade virtual, despertou algum interesse. Pode-se perceber de início que a maioria dos alunos não tiveram contato com o aparato antes da experiência, o que provocou o estranhamento esperado:

Aluno 1

A4 A: O giroscópio? Era algo animal! Era muito louco! Eu não sei definir ele.

Aluno 2

I14 I: Ele fica apoiado numa pontinha, é uma pontinha no suporte!!

Aluno 3

R10 R: Aí você coloca na posição que você quiser que ele não cai! Ele gira em torno do seu próprio eixo, que é aquela velocidade de spin né? E cria um movimento de precessão.

Aluno 4

N4 N: É um dispositivo que tem uma haste, no centro dela tem um arinho, dentro do arinho tem outro arinho que você pode enrolar uma cordinha aí quando você puxa essa

cordinha esse arinho de dentro começa a girar muito rápido e então a gente chama esse negócio de spin, é a velocidade de spin dele. Aí quando você coloca ele apoiado com o bracinho o capeta faz ele ficar parado e não cair e ele começa a girar de uma forma muito estranha e aparece a velocidade de precessão, provavelmente é o capeta que faz ele girar desse jeito.

Aluno 5

L8 L: Eu lembro que pra explicar o movimento do giroscópio precisa levar em consideração apenas a 2ª lei de Newton, de uma forma bastante simples até, não existia um cálculo muito complexo.

Aluno 6

RC87 RC: Sim, na época eu gostei bastante. É que as fotos nesse experimento eu achei meio confuso.

Aluno 7

G8 G: Achei bem legal.

G9 M: Ficou impressionado?

G10 G: Sim, porque eu não sabia como ficava em pé.

Aluno 8

F40 F: Já, mas não entendi muito bem o que acontecia.

F41 M: Mas você acha normal o movimento dele?

F42 F: Não, nada intuitivo.

F43 M: E você se interessou em fazer a experiência?

F44 F: Sim.

Aluno 9

V6 V: Já, mas eu não entendia como funcionava. Eu achava que ele era como um pião diferente.

V7 M: Mas você ficou curioso pra entender ou não?

V8 V: Sim, na verdade eu nem sabia que a gente ia discutir isso no curso, foi surpresa.

Aluno 11

MC14 MC: Não, eu não entendia nada. Achava mágica da primeira vez, depois ah, conservação do momento angular... eu sei que conservava alguma coisa mas eu só aceitava e não entendia... Mas eu já tinha visto na escola. Mas na escola me colocaram em cima de uma plataforma girante com a roda... foi legal. Eu vi que funciona mas eu não entendi direito. Porque eu não tinha noção de produto vetorial.

Aluno 12

MT72 MT: Eu acho que causa uma certa impressão porque não dá pra imaginar, depois que você viu o movimento da roda, que vai ter um movimento no plano. Sei lá, pode cair, pode ter alguma coisa que impeça o movimento, acho que é surpreendente sim, não sei qual foi a minha reação no momento, mas hoje se eu fosse apresentada ao experimento não seria indiferente.

No caso do aluno 1, ele se mostra incapaz de defini-lo mas percebeu-se que o aparato era algo totalmente novo para ele. Nessa mesma classificação de surpresa, o aluno 2 exclamou que o giroscópio se apoiava em um pequeno suporte, deixando nítido que o movimento desenvolvido pelo aparelho era inusitado. O fato de o movimento ser executado sem que o objeto caia despertou a curiosidade e interesse dos alunos 3, 4 e 7. Para os alunos 5 e 10 não ficou nítido se existiu um interesse inicial; o número 5 demonstra um aparente interesse quando mostra que entende o funcionamento do giroscópio, no entanto o 10, apesar de ter essa compreensão (que será melhor descrita nas próximas categorias) não transpareceu isso na fala. O aluno 6 demonstrou interesse na realização do experimento mesmo achando que a proposta foi confusa. Os alunos 8, 9 e 11 afirmaram já conhecer o giroscópio, no entanto não compreendiam como aquele movimento inusitado era possível; sentiram-se motivados a estudar o aparelho quando foi proposto na disciplina. Por fim, o último aluno afirmou que o giroscópio é sem dúvida um equipamento com movimento que foge a intuição e desperta a curiosidade. Pode-se perceber que o objetivo inicial do experimento do giroscópio que era despertar o interesse foi atingido. Mesmo que alguns alunos não tenham deixado claro esse interesse ou curiosidade inicial, seus discursos e comentários posteriores demonstrarão que isso ocorreu.

Uma vez identificado que o giroscópio provocou o interesse dos alunos e despertou curiosidade para compreender seu funcionamento, era esperado que o processo de análise da experiência causasse uma situação de estranhamento. Trava-se de um desequilíbrio inicial que poderia colocar o aluno a pensar: por que o giroscópio não cai?

II. ESTRANHAMENTO A PARTIR DO GRÁFICO

No roteiro do experimento virtual, Anexo 1, havia uma pergunta que os alunos deveriam responder antes de qualquer análise sobre a velocidade de precessão do giroscópio e sua evolução ao longo do tempo. Eles deveriam confrontar a opinião inicial com o resultado obtido da análise e do gráfico que surge dela. A questão era feita justamente para provocar o desequilíbrio nos alunos, o qual parece ter sido atingido em alguns alunos como se percebe nas transcrições seguintes:

Aluno 1

A82 A: Eu não sabia, porque quando eu vi o movimento do giroscópio ele aumentava. Daí eu pensei, não a tendência é diminuir, mas o negócio aumenta, então eu não sei porque.

Aluno 2

I64 I: Que diminuía. Porque eu confundi com a de spin. Eu estava olhando. Aí eu pensei, se o disco gira, eu pensei no disco, vai chegar uma hora que vai diminuindo ele vai parar. Mas na verdade eu estava confundindo a velocidade de spin com a de precessão.

Aluno 3

R38 R: Eu tinha a impressão que era a mesma. De que a velocidade de precessão não mudava. É que nós olhamos apenas uma parte das fotos, então eu tinha a impressão que a velocidade de precessão se mantinha constante até ele cair.

Aluno 4

N16 N: Ah era, essa eu lembro. Mas era um negócio assim, você acha que a velocidade de precessão, aumenta ou diminui? E aí no começo eu lembro que é óbvio que eu respondi que eu achava que diminuía, porque sei lá, pra mim sempre acho que diminui. Toda vez que você joga alguma coisa coloca alguma coisa em movimento você acha que ela vai parar e eu achava que ia parar por causa dos atritos dele com ele mesmo, dele com o apoio, dele com o ar, essas coisas, mas não. Na verdade, como é... tem lá os motivos nas fórmulas mas ele na verdade não faz isso ele aumenta a velocidade de precessão ...

Aluno 5

L28 L: Não, eu lembro que quando eu fiz, olhando para as fotos, sem montar a planilha, eu achava que naquele intervalo de tempo o giroscópio continuava com aquela velocidade constante de precessão.

L29 M: e quando você viu que acontecia isso você achou estranho?

L30 L: Um pouco, um pouco, eu não tinha pensado no atrito que podia ter com o suporte, que a haste ou qualquer atrito com o próprio ar.. que pudesse atrapalhar esse movimento.

Aluno 6

RC53 RC: Agora eu não lembro se aumentava ou diminuía...

RC54 M: Mas o que você acha?

RC55 RC: A velocidade de precessão? Ao longo do tempo? Hum.... ela aumenta?

Aluno 7

G24 G: É que eu vi a fórmula antes, então eu tive uma ideia. Como você só faz força na roda, que seria a de spin, ela tenderia a diminuir, por conta do atrito, então se ela diminui a precessão aumentaria. Conforme passa ia girando mais rápido. Acho que foi isso que eu coloquei.

G27 M: Então quando você construiu o gráfico lá no seu relatório você não ficou surpreso?

G28 G: Não, acabei não ficando surpreso. Mas por conta da fórmula. Senão eu não fazia ideia do que ia acontecer.

Aluno 8

F36 F: Com a mesma mentalidade que eu tinha eu achava que ia diminuir.

F37 M: E por que você achava isso?

F38 F: Porque é meio intuitivo pensar que uma coisa tem uma velocidade e que ela vai caindo com o passar do tempo.

F45 M: E você lembra do gráfico que a gente fez? Desse aqui no seu relatório?

F48 F: Acho que era pra demonstrar que a velocidade de precessão não diminuía, mas aumentava.

F49 M: Contrário ao que você pensava, mas quando você viu isso achou estranho?

F50 F: Bastante estranho. Achei que estava errado, eu não sei se foi sobre isso que eu cheguei até a te mandar e-mail. Mas eu conferi as contas...

Aluno 9

V22 V: Lembro. Eu coloquei que pra mim diminuiria.

V23 M: E por que você tinha falado isso?

V24 V: Ah, intuição, algo indutivo. Não sei, se você arremessa alguma coisa ela tende a diminuir a velocidade; se faz força em um bloquinho ele vai tender a diminuir a velocidade, atrito e tal.

V29 M: E quando você respondeu a pergunta e fez o gráfico, bateu ou não?

V30 V: Não...

V31 M: E o que você pensou?

V32 V: Te mandei um e-mail!

V33 M: Mas como você se convenceu, ou não convenceu?

V34 V: Convencer, convencer não, mas eu aceitei.

V35 M: Mas a partir do que?

V36 V: Por questões matemáticas, a partir da expressão. Talvez hoje se eu voltar a estudar talvez eu me convença fisicamente.

Aluno 10

S30 S: A de precessão diminui. Por causa da resistência com a haste, sem pensar em nenhum tipo de teoria nem nada ...

Aluno 11

MC30 MC: Eu não saberia dizer, eu ia chutar, sinceramente. Não saberia julgar o comportamento dela, sem antes fazer um estudo mais analítico. É que eu fiz o experimento pra depois dar a resposta.

MC33 M: Esse gráfico, você lembra?

MC34 MC: Sim, a velocidade de precessão aumenta com o tempo.

MC35 M: Mas você não achou estranho?

MC36 MC: Achei e não achei. Achei estranho porque não era um comportamento que eu esperava e não achei estranho porque concorda com a expressão teórica. Se uma diminui com o tempo por causa das forças de dissipação a outra tem que aumentar por elas serem inversamente proporcionais.

Aluno 12

MT32 MT: Olha, eu fico entre diminui e permanece a mesma... Não sei, considerando diminuição seria um palpite por um processo em relação ao atrito, que a gente sabe que o movimento não permanece.

MT41 M: Mas pra você é estranho [o gráfico] ou você não tem nenhuma reação?

MT42 MT: Não, seria estranho porque justamente eu respondi o contrário. Eu ia imaginar diminuir... agora, se você me perguntar se eu saberia explicar, claro que não!

Percebe-se na resposta do aluno 1 o surgimento do desequilíbrio. Ao assistir o vídeo o aluno notou um aumento na velocidade de precessão do giroscópio, no entanto a sua intuição dizia o contrário; ela deveria diminuir, já que essa seria a tendência natural. O segundo estava a princípio em uma situação de equilíbrio, convicto de muitos conceitos, apesar disso, a questão sobre o movimento de precessão do giroscópio lhe fez pensar no que ocorreria com essa velocidade. A mera afirmação não traria maiores discussões, não fosse a desequilíbrio causada pela análise realizada. Do gráfico construído no experimento constata-se algo que vai em sentido contrário ao afirmado. Situação similar ocorreu com os estudantes 3, 4, 5, 8, 9, 10 e 12, que manifestaram acreditar que o diminuição da velocidade de precessão se justificava na existência do atrito como agente causador. A situação foi tão intrigante para o aluno 9 que ele acreditou que o problema poderia estar no seu processo de análise. Aparentemente o aluno 7 não se surpreendeu após a construção do gráfico pois todo o raciocínio dele parece se desenvolvido em cima da teoria previamente estudada. Nesse caso, a condição de desequilíbrio pode ter sido gerada apenas quando o aparelho foi apresentado ao aluno, daí em diante ele se dedicou ao estudo da teoria para que aquele movimento fizesse sentido. Uma situação similar foi vista em 11. Ele não expõe sua intuição, ou não quer se comprometer em dar uma resposta errada, acaba realizando inicialmente o experimento para poder fazer sua colocação sobre a velocidade de precessão. Mesmo

assumindo essa postura, ele pareceu se mostrar surpreso com o resultado encontrado no gráfico. Finalmente, o estudante 6 não forneceu uma resposta convincente, ao contrário disso, transpareceu que as dificuldades que possuía não foram previstas durante o desenvolvimento da experiência. O aluno se surpreendeu inicialmente porque mostrou intuir um efeito que estava de acordo com o gráfico construído. Ao ser colocado diante do gráfico, esperava-se que ele conseguisse perceber que sua intuição estava certa, no entanto a resposta é outra. No gráfico do aluno os valores da velocidade de precessão eram negativos, devido ao sistema de referência adotado e esses valores aumentavam negativamente, mas para ele a velocidade de precessão parecia estar diminuindo. Talvez na época em que o experimento foi realizado, o estudante tivesse mais clareza e não tivesse tirado a conclusão da diminuição, uma vez que no relatório estava registrado o aumento da velocidade de precessão. Assim, na entrevista, o desequilíbrio surgiu no momento esperado, no entanto de maneira inversa, o aluno teve que modificar a interpretação do gráfico para que o aumento da velocidade de precessão fizesse sentido. Esse trecho da conversa também apontou para uma questão conceitual sobre referenciais e significados de aumento e diminuição de grandezas. A interpretação que o aluno fez do gráfico deixou claro que existem conceitos ainda mais elementares que não foram apropriados por ele.

A maioria dos alunos esperava uma diminuição na velocidade de precessão do giroscópio. A verificação de seu aumento pela observação do gráfico gerou um desequilíbrio nas concepções deles, o que se tornou uma questão a ser estudada e solucionada. A partir desse momento eles passaram a buscar meios para interpretar o giroscópio e seu funcionamento.

III. BUSCA DE UMA EXPLICAÇÃO E USO DE SUBSUNÇORES

Diante da solicitação feita na entrevista sobre a explicação do funcionamento do giroscópio, conceitos como massa, velocidade angular, torque, momento angular, deveriam ser recorridos. Uma vez que eles já foram trabalhados tanto em aula quanto nessa própria experiência, esses conceitos podem ser considerados como subsunçores e por isso deveriam ser usados para fazer a explicação requerida. Outro subsunçor que foi percebido nas explicações foi a questão da força de atrito retardar o movimento; esse conhecimento a princípio sugeriria uma assimilação direta, se aplicado à velocidade de spin. A maneira como os alunos desenvolveram a construção de sua explicação demonstrou que esse processo requer um bom domínio da teoria envolvida. Partes das transcrições da explicação do funcionamento e características da evolução das velocidades envolvidas são listadas a seguir:

Aluno 1

A89 M: E porque a velocidade se comporta desse jeito? Porque a velocidade aumenta?

A90 A: Porque ela é inversamente proporcional à velocidade de spin.

A91 M: E por que a velocidade de spin diminui?

A92 A: Porque no momento em que você começou a girar ela, vai chegar um momento que não tem mais... ah, não sei. Não tem força exercendo sobre ele. Então devido a resistência do ar ele vai parando. Isso serve de impulso pra velocidade de precessão.

A94 A: Eu sei que tem torques, mas eu não sei explicar não.

A95 M: Mas e a direção do torque ou do momento angular?

A96 A: Não sei explicar.

Aluno 2

I68 I: Não lembro.

I69 M: Pensando no spin e na precessão...

I70 I: Eu lembro que a professora explicou, mas eu não lembro de fato. Eu não sei se é por causa do peso... eu não lembro mesmo.

Aluno 3

R46 R: Porque, analisando a fórmula dava pra ver a velocidade de precessão é inversamente proporcional à velocidade de spin, então aí a gente conseguiu entender que tinha forças atuando, forças dissipativas, atrito com o ar, atrito com o próprio ponto de apoio, não como apoio que ele não estava girando ali, mas enfim..

R47 M: Com a própria haste?

R48 R: Sim, mas é que essas hastes estavam presas, nesse outro arco de enfeite, então naquelas pontinhas tem o atrito, tem atrito com o ar, então a velocidade de spin vai diminuindo, então conseqüentemente a velocidade de precessão tinha que aumentar.

R14 R: Ah, o torque com peso. Pelo que eu me lembro assim, vagamente, tem a aceleração centrípeta, eu acho, não lembro, porque é o torque com o peso que faz com que ele crie esse movimento.

Aluno 4

N8 N: (...) O torque do peso faz com que ele tenha um movimento de precessão ... Aí eu saberia desenhar... Quando ele está apoiado tem a força normal, mas ele não realiza nada importante na hora do movimento do giroscópio.

N23 M: Porque então a velocidade se comporta desse jeito? Porque ela aumenta?

N24 N: Então, porque se você analisar a fórmula ela é inversamente proporcional a velocidade de spin e a velocidade de spin é que diminui porque ela que você dá pro giroscópio e daí tem o atrito dele com ele mesmo, e a resistência do ar e essas coisas e ela que vai diminuindo e aí como ela que é inversamente proporcional a outra cresce a medida que ela diminui.

Aluno 5

L18 L: (...) O torque da força peso vai fazer esse momento angular de spin variar e aí, por conta disso ele começa a fazer uma precessão (...)

Aluno 6

- RC67 RC: Conforme a de spin aumenta, a de precessão diminui.
 RC72 M: Mas por que ela diminui?
 RC73 RC: Porque vai passando o tempo e ela vai diminuindo...
 RC74 M: Então é ela que diminui? Você lembra de onde veio essa relação?
 RC75 RC: Não.

Aluno 7

- G16 G: O torque que o peso faz, como é um vetor, vai somar com o momento angular de spin. Aí eles vão se somar e vai dar um outro vetor, pra direita ou pra esquerda, que mostra que ele gira.

Aluno 8

- F22 F: Tem a ver com o torque... as grandezas são essas que eu já falei (velocidade de rotação, momento de inércia, a própria massa do giroscópio, o próprio tamanho do eixo), agora como chegava eu não lembro.
 F55 M: E você saberia dar o caminho de como chegamos na relação (entre as velocidades)?
 F56 F: Não...

Aluno 9

- V10 V: Bom, teria a massa, o diâmetro do disco acho que influenciaria também, a velocidade de spin que seria dele próprio, em torno do próprio eixo, e teria um segundo eixo onde ocorre a precessão. Teria o momento de inércia também.
 V16 V: Momento de inércia não, momento angular na verdade.
 V17 M: O que acontece com o momento angular?
 V18 V: Não vou lembrar...

Aluno 10

- S36 S: Tem a roda, o peso. O peso exerce um torque que leva a variação do momento angular...
 S39 M: Da precessão? E o que vai acontecer com esse momento?
 S40 S: Eu preciso de uma caneta! Tem um peso aqui, tem um L1, tem um L2... Esse L é o momento angular do movimento de precessão.
 S46 S: Hum... é verdade. Então, a variação do momento angular do spin, vai gerar uma variação da velocidade angular de spin no tempo... Então, esse vetor momento variou um certo ângulo, essa variação angular no tempo vai dar a velocidade de precessão. Então, a variação do momento angular está diretamente relacionado com a velocidade de precessão.
 S47 M: E o que tinha a ver o torque que você começou falando?
 S48 S: O torque é o que causa a variação do momento angular de spin.

Aluno 11

- MC46 MC: Eu lembro que na aula eu discuti com a professora porque eu não entendia... Ah, mas os torques externos não são nulos. Como eu posso falar que o momento

angular conserva? Daí ela falou, eles não são nulos, mas esse torque que eu tenho ele não está contribuindo pra variar o momento angular. Aí no caso o torque do peso, pelo que eu tinha entendido é o que dá uma variação do momento angular de precessão...

MC47 M: Precessão?

MC48 MC: É... na verdade eu estou um pouco confuso, bastante confuso na verdade.

Aluno 12

MT44 MT: Não. De onde vem o movimento de precessão? Olha, por você ter um torque e uma velocidade de spin... Vai ter um torque aplicado num ponto a certa distância... não sei.

MT46 MT: Se o d é o raio em relação ao eixo da velocidade de precessão se essa distância vai aumentando seria uma justificativa (para o aumento da velocidade de precessão) ou outra possibilidade seria a velocidade de spin diminuir, que provocaria também o aumento.

O aluno 1 aparentou ter uma assimilação, quando afirmou que a tendência da velocidade de precessão seria diminuir (apesar dele ter visto no vídeo o contrário). Usou seu subsunçor para justificar o movimento, no entanto, a realidade é diferente do que ele esperava e por isso precisou reestruturar os conhecimentos que possuía para formular uma explicação. Com relação aos alunos 2, 3 e 9, percebe-se que passaram por mudanças nos seus esquemas de pensamento até conseguirem assimilar a nova situação. No caso deles, ocorreu uma tentativa de acomodação, mas como a explicação do movimento ficou incompleta, esse processo foi classificado como uma assimilação mal sucedida. Eles têm parte do conhecimento necessário mas não conseguem aplicá-lo com eficiência à nova situação. O estudante 4, ao longo da explicação, mostrou conhecer várias grandezas, conseguiu caracterizá-las de modo que fossem suficientes para explicar o movimento do giroscópio, reestruturou os conceitos que conhecia e os articulou de maneira a obter uma explicação satisfatória. Também, os alunos 5 e 7 conseguiram fazer a assimilação do conhecimento que possuíam aplicando-o ao experimento (acomodação). No caso deste último, o comportamento das velocidades já havia sido previsto antes de iniciar o processo de análise, o que poderia indicar uma maior grau de assimilação/acomodação. Por outro lado, o aluno 6 conseguiu identificar algumas grandezas mas não desenvolveu um raciocínio que indicasse como as velocidades de spin e precessão se relacionavam; sua explanação se mostrou circular. Os alunos 8 e 11 demonstraram dificuldade em desenvolver o raciocínio, mostraram certa lembrança a respeito do momento angular, mas não conseguiram justificar o porquê do funcionamento. Do diálogo anterior, ambos mostraram entender que a velocidade de spin diminuía ao mesmo tempo em que a velocidade de precessão aumentava, no entanto, não se pode caracterizar uma acomodação. O estudante 10 iniciou sua explicação confundindo os termos precessão e spin, corrigindo-se para prosseguir. Conseguiu fechar o raciocínio e mostrar como a variação do momento angular de spin provocou o movimento de precessão.

Nesse caso ocorreu uma acomodação, visto que os conceitos que já possuía foram reestruturados e adequados na explicação da experiência. O entrevistado 12 demonstrou uma vaga associação entre o torque e a velocidade de spin como sendo a causa do movimento de precessão, não conseguindo completar o processo de acomodação.

Foi notado que todos possuem os subsunçores necessários para explicar o funcionamento do giroscópio. Aquele recorrente para justificar a afirmação da possível diminuição da velocidade de precessão, o atrito, é o primeiro recurso usado pela maioria, como uma tentativa de assimilação. No entanto, os resultados demonstram que ocorre o contrário, a velocidade de precessão aumenta.

A assimilação da situação e a tentativa de uso dos subsunçores, como se percebeu não é indicativo de que o processo como um todo ocorra em um nível maior, o fato de a maioria dos alunos não terem explicado o movimento de maneira satisfatória indica que esse processo ocorrer em um grau inferior. Os estudantes precisam reestruturar os conceitos que possuem para que o movimento do giroscópio possa ser compreendido e justificado.

IV. REESTRUTURAR PARA EXPLICAR

A transcrição dos comentários daqueles alunos que conseguiram, a partir de conceitos conhecidos combiná-los de modo a explicar o funcionamento do giroscópio são listados a seguir:

Aluno 4

N6 N: Bom, eu exerço uma força na cordinha, quando eu puxo a cordinha, por mais que seja pequeninha tem um torquezinho aí faz ele girar. Quando você gira ele passa a ter momento angular lá dentro e é por causa dele que quando você apoia o giroscópio ele não cai. A força peso realiza um torque diferente do outro. Esse torque da força peso, com o momento angular dele, mantém ele equilibrado ...

N7 M: Que momento angular é esse?

N8 N: Relacionado ao spin (...)

Aluno 5

L18 L: Eu lembro que quando você escrevia a 2ª lei de Newton pra rotação aplicado ao giroscópio e o torque da força peso vai ser responsável por alterar o momento angular, que inicialmente era puramente de spin da roda. O torque da força peso vai fazer esse momento angular de spin variar e aí, por conta disso ele começa a fazer uma precessão. E aí soma-se ao momento angular de spin da roda o momento angular de precessão aplicado no suporte saindo do plano do giroscópio, dependendo da direção.

Aluno 7

G16 G: O torque que o peso faz, como é um vetor, vai somar com o momento angular de spin. Aí eles vão se somar e vai dar um outro vetor, pra direita ou pra esquerda, que mostra que ele gira.

Aluno 10

S46 S: (...) Então, a variação do momento angular do spin, vai gerar uma variação da velocidade angular de spin no tempo... Então, esse vetor momento variou um certo ângulo, essa variação angular no tempo vai dar a velocidade de precessão. Então, a variação do momento angular está diretamente relacionado com a velocidade de precessão.

S48 S: O torque é o que causa a variação do momento angular de spin.

As transcrições dessa categoria se complementam com aquelas da categoria anterior, uma vez que os assuntos são bastante próximos. Ao mesmo tempo em que os alunos explicam como se convenceram do aumento da velocidade de precessão, eles buscam justificar como acontece. Esses estudantes conseguiram adequar os conceitos que conheciam a uma situação que era nova para eles.

A fala do aluno 7 foi repetida nessa categoria pois ele explica o funcionamento do giroscópio fazendo uso das grandezas que já conhecia e, apesar de faltar alguns elementos na explanação, é aparente um processo de assimilação/acomodação.

O processo de assimilação e acomodação é caracterizado quando o aluno consegue reestruturar conhecimentos existentes para explicar uma nova situação. O fato da aula já ter sido ministrada e a relação que explica o movimento do giroscópio ter sido apresentada aos alunos, não tiram o mérito dos alunos de terem desenvolvido um processo de acomodação. A aula transmitiu o conhecimento e os alunos podem ter se apropriado dele. Além desse fato, o experimento virtual foi proposto antes do conteúdo teórico ter sido desenvolvido em sala de aula, o que deu espaço para o aluno percorrer os primeiros passos sozinho, em um processo de investigação. Uma vez visto em classe, eles teriam condições de aplicar esse novo conhecimento ao experimento virtual, mas, como as entrevistas foram realizadas após esse processo, não há certeza de como, de fato, o raciocínio dos estudantes evoluiu. No caso desses alunos o processo de assimilação/acomodação foi classificado em um nível maior.

7.2. ANÁLISE GERAL

Retomando as categorias de análise propostas na metodologia, as falas dos alunos foram classificadas em uma tabela (Tabela 6), composta de uma coluna que identifica os 12 alunos e seguida de outras quatro com as categorias propostas na metodologia de análise. As linhas mais significativas de cada entrevista com a identificação já descrita no capítulo 6 e que exemplificam o enquadramento delas foram agrupadas nas respectivas categorias:

Tabela 6: Classificação das respostas dos alunos nas categorias propostas

| Aluno | I Interesse | II Estranhamento | III Assimilação | IV Acomodação |
|--------------|------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 1 | A4 | A82 | A92, 94 | - |
| 2 | I14 | I64 | I70 | - |
| 3 | R10 | R38 | R14, 46,48 | - |
| 4 | N4 | N16 | N8, 24 | N6 |
| 5 | L8 | L28 | L18 | L18 |
| 6 | RC87 | R55 | - | - |
| 7 | G8 | G28 | G16 | G16 |
| 8 | F42 | F50 | F22 | - |
| 9 | V8 | V6, 34 | V10, 18 | - |
| 10 | - | - | S336, 40, 46 | S46, 48 |
| 11 | MC14 | MC36 | MC46, 48 | - |
| 12 | MT72 | MT42 | MT44 | - |

Fazer uso da surpresa e do impacto foi o ponto de partida para iniciar o estudo do giroscópio, e a partir das entrevistas percebe-se que a maioria dos alunos se mostra curioso para entender como é possível que aconteça tal movimento. Esse interesse pode ser fruto tanto de uma curiosidade, por já ter vivenciado algo que envolvesse o objeto, ou porque se tratava de um conteúdo necessário a ser aprendido na disciplina.

Fica nítido que o movimento do giroscópio é algo inusitado e foge ao senso comum, o que acaba por tornar o objeto foco de admiração e questionamento. Dessa forma, o objetivo primeiro do experimento virtual mostra-se atingido, uma vez que a escolha desse equipamento teve a capacidade de causar uma situação de estranhamento do aluno.

O comportamento seguinte seria o de aluno se mostrar interessado em estudar o giroscópio e conhecer as grandezas físicas que estariam envolvidas em seu movimento. Nota-se que apenas um dos entrevistados não deixa explícito o interesse pelo estudo do movimento, no entanto sua explanação acerca do funcionamento do aparelho, com citações de suas grandezas e descrições, deixa claro que o objeto foi foco seu de estudo em algum momento.

É importante esclarecer que o conteúdo físico necessário para compreender o que ocorre no movimento do giroscópio é desenvolvido ao longo da disciplina na qual o experimento é proposto, é esperado que o aluno não soubesse inicialmente explicar como acontece o movimento. Tendo em vista que a entrevista com os alunos foi feita ao término da disciplina ou anos após terem cursado a mesma, foi possível verificar o quanto a aplicação do experimento virtual fez sentido para eles e até o grau de assimilação adquirido ao aplicá-lo ao aparato objeto deste estudo.

Depois das perguntas que deixaram evidentes a curiosidade despertada, os alunos tiveram a oportunidade de expor suas ideias e tentar de alguma forma associar o conhecimento adquirido com o movimento do giroscópio. A partir da entrevista notou-se que a maioria dos alunos consegue descrever o aparelho. Todos os alunos diferenciam que existem dois tipos de velocidades associadas ao seu movimento, por mais que alguns façam uso de outras nomenclaturas para diferenciá-las.

Ao descrever o aparato associando grandezas físicas, os alunos usam conhecimentos que adquiriram ao longo do curso; assimilam conhecimentos já adquiridos, subsunçores, que estão sendo aplicados a uma nova situação. Deve-se levar em consideração que a situação, no momento da entrevista, pode não ser totalmente nova, visto que ela foi feita após a experiência.

Quando foram convidados a relembrar do que aconteceria com a velocidade de precessão do giroscópio, eles têm que se posicionar com o pensamento anterior, antes de tomar conhecimento de como funcionava o giroscópio. Esse momento torna-se propício para perceber os conhecimentos mais intrínsecos dos estudantes e que se mostram enraizados em seu conhecimento. É quase que unânime a afirmação de que é totalmente normal imaginar que qualquer movimento tende a diminuir com o tempo, as forças de atrito estariam sempre presentes, contribuindo para que isso acontecesse. Nessa etapa do experimento percebe-se que há também um processo de assimilação; os alunos usam conhecimentos que já possuem, no caso o aprendizado sobre as propriedades do atrito, no sentido mais usual, de como uma força dissipativa retarda o movimento.

O momento do curso em que o experimento foi proposto teve a intenção de que o conteúdo teórico ainda não tivesse sido apresentado por completo para os alunos em sala de aula. Isso foi feito intencionalmente para que os alunos pudessem passar por uma segunda situação de estranheza: ao observar o resultado do gráfico.

Das entrevistas pode-se perceber que a maioria dos alunos que levantou a posição intuitiva contrária ao fato real mostraram-se surpresos com o aumento da velocidade, acreditando até que poderiam ter cometido algum erro no processo de análise. Essa postura era esperada, que o aluno pudesse refletir sobre o comportamento físico do giroscópio e então

entrasse em uma etapa de acomodação, onde seus subsunçores seriam usados de maneira que se reestruturassem e explicassem a nova situação.

A fim de visualizar as situações de assimilação e acomodação, foi desenvolvido um fluxograma (figura 32) que evidencia o caminho descrito pelos estudantes durante sua explanação:

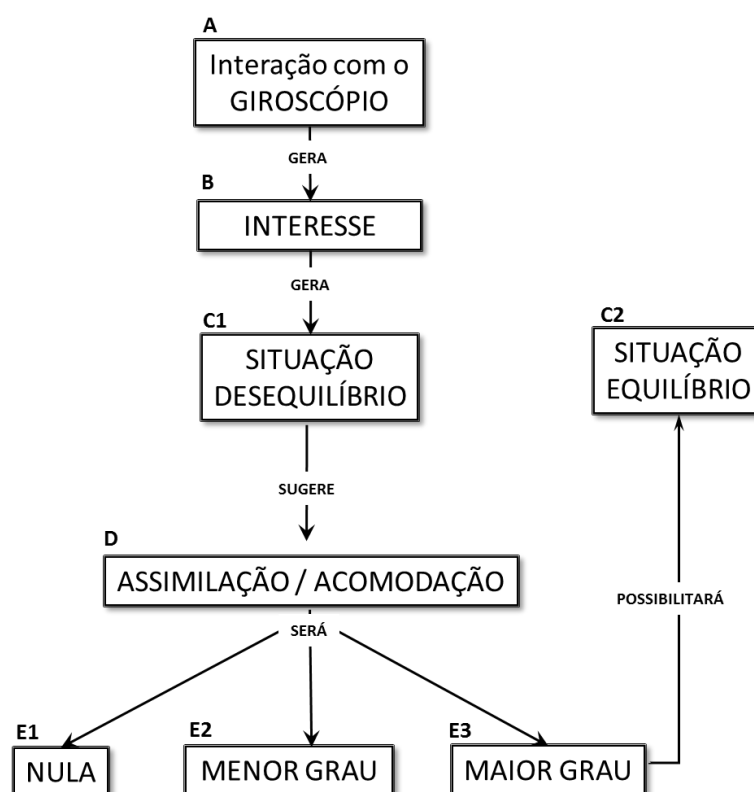


Figura 32: Fluxograma ilustrativo da interação dos alunos com o giroscópio.

Cada linha do fluxograma foi nomeada com letras de A a E (cinco linhas) e os blocos em cada linha foram identificados com um número. Dessa forma cada bloco possui uma letra e o correspondente número, permitindo uma citação abreviada. As linhas direcionais que unem cada bloco indicam a sequência de raciocínios desenvolvidos pelos alunos ao longo da entrevista. Com isso, foi possível delinear o esquema de pensamento desenvolvido pelos entrevistados e sintetizá-los na segunda coluna tabela 7.

Tabela 7: Esquema de pensamento dos alunos segundo o fluxograma proposto

| Aluno | Esquema |
|-------|----------------|
| 1 | A-B-C1-D-E2 |
| 2 | A-B-C1-D-E2 |
| 3 | A-B-C1-D-E2 |
| 4 | A-B-C1-D-E3-C2 |
| 5 | A-B-C1-D-E3-C2 |
| 6 | A-B-C-D-E1 |
| 7 | A-B-C1-D-E3-C2 |
| 8 | A-B-C1-D-E2 |
| 9 | A-B-C1-D-E2 |
| 10 | A-B-C1-D-E3-C2 |
| 11 | A-B-C1-D-E2 |
| 12 | A-B-C1-D-E2 |

A partir dessas seqüências foi possível delinear sobre o diagrama construído, a linha de raciocínio de cada aluno, que foi representado por uma linha de cor diferenciada traçada sobre o próprio fluxograma:

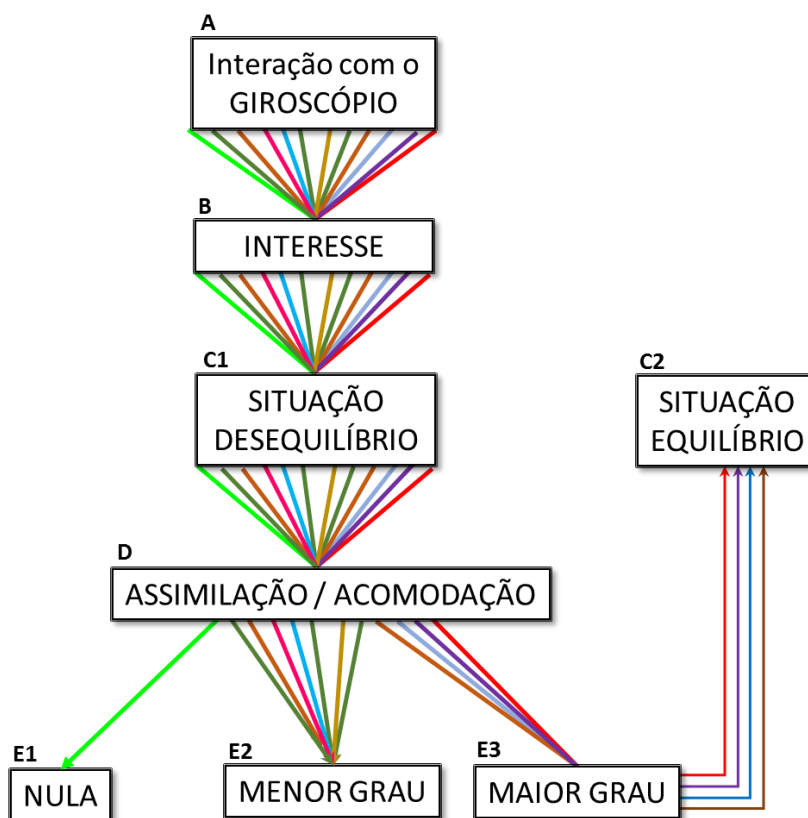


Figura 33: Fluxograma do esquema de pensamento desenvolvido pelos entrevistados. A seqüência seguida por cada aluno está representada por uma cor.

Analisando o diagrama geral, construído com as seqüências de raciocínio, a concentração de linhas denota que todos os entrevistados mostraram-se surpresos com o

giroscópio e até demonstram interesse por estudá-lo. Esse interesse pode ocasionar uma situação de desequilíbrio, dependendo dos subsunçores. Caso ele já possuísse todos os conhecimentos necessários, e já tivesse visto o giroscópio em outro momento, poderia explicar seu funcionamento sem maiores questionamentos que o levaria à acomodação. O giroscópio pode causar um desequilíbrio pelo impacto de seu movimento peculiar. Essa surpresa levou os alunos a buscarem uma assimilação. Eles tentaram justificar o movimento do aparato a partir de esquemas próprios de pensamento. Nessa etapa, o conhecimento pode ser suficiente para a explicação e com isso proporcionar a descrição do funcionamento de maneira satisfatória. Ao mesmo tempo em que o aluno assimila aquela nova situação, ele pode recorrer à conceitos que já possui para explicar o fenômeno, ou até mesmo reestruturar o conhecimento que possui para que ele dê conta de esclarecer o fenômeno, trata-se então do processo de acomodação. Para alguns alunos esse processo ocorre em um grau menor, uma vez que apesar de conseguir assimilar alguns conceitos à situação e identificar algumas relações, a explicação elaborada por eles é incompleta. Outros alunos apesar de se interessar pela situação acabam tendo também um processo de assimilação/acomodação em um nível menor por associar de maneira equivocada alguns conceitos ao movimento do giroscópio. Esse fenômeno de busca pela compreensão pode ser contínuo até que se consiga assimilar o conceito, caso contrário, se mostra necessária a posse de outros, ou reestruturação daqueles, para que se obtenha a acomodação. Nesse processo, os alunos recorrerão a novos conhecimentos, mudando suas estruturas de pensamento, de modo a ter condições de explicar a nova situação em estudo.

Em particular, nessa aplicação, o que se percebe é que a partir do momento de desequilíbrio, um aluno experimenta uma assimilação nula apesar de possuir alguns conhecimentos. Isso pode acontecer por conta da falta de subsunçores adequados para a situação ou as vezes pode possuir no entanto estes não seriam suficientes ou não estariam bem estabilizados na sua estrutura cognitiva. No caso dos alunos conseguirem efetuar uma reestruturação dos conceitos e explicar como e porquê se dá o movimento do aparelho, verifica-se que o processo de assimilação/acomodação ocorreu em uma grau maior. Alguns alunos que se mostraram surpresos com a aparência do gráfico encontrado, já passaram anteriormente pelo processo de reestruturação dos conceitos, de modo que apesar do gráfico ser contraditório com o que esperavam, eles deram conta de explicá-lo.

Apesar de todos os estudantes terem contato com as deduções teóricas do movimento em questão, alguns demonstraram na explicação, que ainda não reestruturaram os conceitos, são esses casos em que as linhas do fluxograma direcionam para um menor grau de assimilação/acomodação. Enquanto não ocorrer essa reestruturação, apesar do movimento do giroscópio já não ser novo para eles, a situação de desequilíbrio se manterá.

Os alunos que tenderam para uma assimilação e conseguiram esquematizar uma explicação, após perceberem o engano no início, foram classificados com uma assimilação “bem sucedida”. Esses alunos seguiram o processo esperado pelos desenvolvedores da experiência para a construção do conhecimento, já que passaram pela etapa de desequilíbrio e assimilação/acomodação dos conceitos. O que se mostra interessante nesses alunos é que demonstraram precisar reestruturar seus conhecimentos, modificando seus esquemas de pensamento para que o funcionamento do giroscópio fizesse sentido. Dessa forma, a assimilação ocorre concomitantemente com a acomodação, permitindo ao aluno atingir uma nova situação de equilíbrio, onde o movimento do giroscópio passou a ser algo aceitável e que não lhes causa mais estranheza.

8. OBSERVAÇÕES SOBRE O LABORATÓRIO VIRTUAL

O Laboratório Virtual apresentado foi criado como material complementar de disciplinas de mecânica com o propósito de ser aplicado em paralelo às aulas teóricas de modo a facilitar a compreensão dos tópicos ali desenvolvidos. O seu uso como recurso auxiliar gera naturalmente algumas dúvidas: os alunos estariam fazendo bom uso dele? Esse espaço estaria promovendo um ambiente para a aprendizagem ser desenvolvida? Existem consequências nesse uso?

Ao longo deste trabalho buscou-se identificar momentos onde os alunos estariam sendo mais ou menos estimulados a desenvolverem a aprendizagem sobre as grandezas físicas envolvidas no movimento do giroscópio. No entanto, o laboratório trabalha conteúdos que vão além dessas grandezas, sendo necessário propor uma maneira mais genérica de fazer-se uma avaliação de como os experimentos virtuais estariam sendo usados em prol da aprendizagem.

Dentro desses procedimentos existem variáveis passíveis de serem avaliadas: estrutura do laboratório, papel do professor, estratégia de aprendizagem, práticas pedagógicas e resultados das metas propostas. Alguns critérios proporcionarão a verificação da estrutura do Laboratório Virtual, como ela tem sido vista e usada pelos estudantes e se tem cumprido com os objetivos propostos. A visão dos alunos e a dos seus desenvolvedores fazem parte desta análise.

8.1. OPINIÕES DOS ALUNOS

Para uma avaliação do Laboratório Virtual, é imprescindível que sejam consultados os alunos que fazem uso direto desse material. A opinião sincera deles é de total interesse já que é um retorno de como as atividades desenvolvidas estão sendo recebidas. Os alunos, durante as entrevistas relacionadas ao experimento do giroscópio, foram também indagados sobre:

- a) A funcionalidade do Laboratório Virtual e como eles vivenciaram a experiência de analisar experimentos usando apenas o computador, sem o contato físico com os aparatos.

- b) A veracidade das medidas realizadas a partir da análise das fotos.
- c) A possibilidade de uso do modelo do Laboratório Virtual no ensino médio.
- d) A pertinência e coerência das propostas do Laboratório Virtual quando apresentadas em conjunto às aulas teóricas.
- e) As habilidades desenvolvidas em um Laboratório Virtual e um presencial.

Há uma variedade de opiniões que mostram como os estudantes se posicionam quando questionados sobre que habilidades eles acreditam que sejam possíveis de adquirir a partir da realização dos experimentos propostos no Laboratório Virtual.

Na tentativa de focar o tratamento de dados, elaboração de planilhas e cálculos matemáticos, uma das questões levantadas foi: como o Laboratório Virtual estaria contribuindo com o desenvolvimento de habilidades computacionais? Algumas respostas dos alunos serão apresentadas e comentadas a seguir.

A102 A: Não sabia tudo, acrescentou algumas habilidades sim. Usar a função Symbol da fonte isso foi incrível, agora eu uso no laboratório de mecânica. E adicionar incerteza no gráfico.

L40 L: Eu acho que ajudou no sentido de que esse semestre eu usei muito planilha. Foi bom porque mais pra frente posso ter que usar outros programas mais avançados então já estou familiarizado.

G34 G: Não mexia e é útil. Aprendi por exemplo, você pegava tempo e distância, montar a própria fórmula no Excel e já ter todas as velocidades.

MC56 MC: Eu acho que ajuda, tem muitas fórmulas que eu não conhecia e tive que pesquisar pra usar. Também como eu sempre tive o costume de separar as coisas em várias planilhas aprendi a usar outros recursos do Excel.

MT58 MT: Sim, por exemplo era você intuir onde era o ponto médio, o meio termo entre duas situações. Não tem tanto a ver fazer a conta, mas sim utilizar uma determinada estratégia pra realizar uma medida. Isso eu me lembro bem porque é algo que depois a gente vai ver em outras disciplinas ou pode até usar em outra disciplina esse mesmo raciocínio.

S56 S: Foram! Eu aprendi a usar o Excel com esses experimentos!

V42 V: Eu já sabia, mas aprendi algumas coisas como organização da planilha... não sei, mas acredito que tenha ajudado.

A proposta dessa questão era verificar se os próprios alunos percebiam de que maneira os experimentos virtuais contribuem para a aquisição de conhecimentos técnicos relacionados ao uso do computador. Desde esse ponto de vista, os alunos retrataram que aprenderam desde a aplicação de fórmulas para efetuar os cálculos, uma vez que muitos nunca tiveram contato com planilhas computacionais, até a compreensão de como o cálculo realizado permite que se obtenham determinadas grandezas físicas. Quando realizam os cálculos no Laboratório Virtual, uma grandeza recorrente é a velocidade. A partir do quociente dos dados medidos, posição e tempo, faz possível o cálculo das velocidades médias no ponto

médio do intervalo de tempo. Da forma como a planilha é construída alguns estudantes conseguem perceber que para tempos muito pequenos, aquela velocidade média corresponde à velocidade instantânea no instante médio. A percepção desse fato por parte dos alunos valida uma das potencialidades encontradas nos experimentos virtuais apresentadas no capítulo 4.

Na segunda pergunta os alunos apresentaram pontos de vista distintos sobre o quadro extraído da filmagem retratar uma medida equivalente a uma obtida presencialmente:

| | |
|-------------|--|
| F58 | F: Acho que são similares, mas não iguais. No fundo é a mesma coisa, quando você usa a fita, você posiciona vira, na foto não tem isso. |
| A114 | A: Eu não me sinto medindo. Eu sinto que é algo fornecido e estão me mandando analisar algo que outra pessoa já fez. Eu sinto isso. Já me forneceram, agora analisa o que eu fiz! Diferente de eu analisar os meus dados. Por exemplo, eu faço uma experiência, ela faz outra, porque o seu não deu igual? Ah, olha o seu tempo. Porque certos dados de incerteza dá negativo? Ah, porque você é muito mais afobado do que eu na hora de apertar o cronômetro. Então, isso é incrível. Porque primeiro quem faz esses experimentos é uma equipe de pessoas que já conhece, tem muita experiência com isso então os dados você não vê muita coisa. |
| I72 | I: Eu penso que estou. Porque eu estou fazendo uma leitura de alguma coisa que eu considero que eu estou medindo então é a mesma coisa de pegar uma régua e olhar um certo valor. |
| L38 | L; Acho que é uma medida experimental tão boa quanto se você estivesse com um cronômetro na mão. Se você estivesse olhando lá no laboratório você faria também a mesma medida, faria a mesma leitura, do mesmo equipamento, e a câmera só está registrando um momento daquele movimento. Acho que ela serve de documento. |
| N26 | N: Eu não diria que é equivalente mas eu me sinto fazendo uma medida. Quando você está na experiência, com o negócio girando na sua frente acho que você se sente mais próximo. Com esse aí, sei lá, eu não estava entendendo o que estava acontecendo muito de verdade assim, eu estava vendo ah que legal está apoiado no chão aí eu vi o vídeo, o que é isso! então que eu entendi! É diferente fazer uma medição de uma medição real. Porque nessa eu me sinto um pouco mais longe. Mas eu não acho que isso seja um fator ultra determinante. Por exemplo os físicos que analisam dados de máquinas que ele não têm. Por exemplo, aqui no nosso instituto nós não temos dados bons como o do LHC, eu acho que um físico que analisa os dados vindos lá do LHC vivem a mesma coisa porque eles não estavam lá na hora da experiência mas eles têm o dado aqui então fazem o que achar melhor com os dados. Eu acho que é semelhante, não acho uma coisa ruim. Mas não é completamente igual. |
| MC52 | MC: Não isso, não. Tem a vantagem do laboratório de você ter um poder de medida maior. Você consegue analisar coisas em instantes de tempo que seu olho não permitiria, no virtual. Só que em contrapartida, no real você está ali mexendo com a coisa, a coisa é real. Então, sei lá, eu vejo um pro e vejo um contra. Por mais que isso facilite a resolução do problema que a gente resolveria num laboratório real, eu acho que perde um pouco o fato do aluno não estar manuseando as coisas. |
| V38 | V: São diferentes. Acho que você está realizando o experimento aqui depende da posição que você está colocando a régua pode fazer uma medida diferente. No |

computador por exemplo se você vai medir um traço o tamanho pode ser diferente do que é de verdade.

É unânime a ideia de que ler posições em um registro fotográfico é uma maneira de realizar medições, no entanto, nem todos conseguem tomar isso como equivalente a fazer medições experimentais usando equipamentos em um laboratório presencial. Apesar de ser intuitivo dizer que o quadro retrata uma realidade, muitos alunos ainda se sentem necessitados a manter um contato físico com o objeto a ser medido; essa necessidade do contato acaba por fazer com que o aluno não tenha total confiabilidade no dado obtido. Um comentário bastante interessante de um aluno diz respeito ao uso de dados coletados por terceiros. Isso acaba sendo um exemplo real que ocorre corriqueiramente: grandes laboratórios realizam diversas medições e esses dados podem ser analisados por diferentes grupos de pesquisa que não estão necessariamente presentes no momento em que as medições foram realizadas. O Laboratório Virtual acaba sendo uma vertente, apesar de distante, dessa prática. Os dados do experimento são coletados por um grupo de pessoas, disponibilizados, e a partir de uma sequência previamente proposta ou de teorias que embasem o fenômeno estudado, qualquer segundo grupo de pessoas terá oportunidade de analisar os dados e tirar suas próprias conclusões.

Na terceira questão os alunos puderam falar da possibilidade de uso do Laboratório Virtual no ensino médio e ainda se colocar na posição de quem propõe uma atividade; tentaram verificar que dificuldades poderiam aparecer quando experimentos desse tipo são propostos:

N36 N: Sim, com certeza. Acho que a ideia e o processo sim. Por exemplo, entender o conceito de velocidade média eu sei que não é fácil. Pra uma aluno que não sabe passar a saber é muito difícil (...)

N38 N: Sim. Eu acho que você não pode mandar ele fazer sozinho. Mas eu acho que se puder ajudar seria muito bom. Na verdade eu tinha até pensado em trazer isso pra mim, inventar alguma coisa desse gênero ou usar esse mesmo.

L56 L: Ah dá, tranquilo (...) Os de translação acho que é interessante porque o pessoal do ensino médio passa muito tempo vendo mecânica e acho que esse laboratório traz uma análise mais qualitativa da física. Sai um pouco das mesmas formulinhas de sempre que o pessoal decora e depois esquece quando passa a prova.

R90 R: Assim, eu dou aula, então analisando os alunos que eu tenho, não, eles são bem curiosos, acho que eles gostariam de ver a coisa funcionando bem ali. Sempre fica aquela coisa, de é só o vídeo. Não é aquela coisa real, que eles podem pegar, tocar, (...) Eles gostam de uma coisa mais real e palpável. Quando você trabalha muito só com teoria, eles ficam meio assim (...)

MT60 MT: Eu acho que tem um grau de abstração mas depende do tipo de proposta do professor. Se de repente o professor dá conta de contextualizar o experimento para os estudantes e embora eles não façam o experimento em si se eles conseguem entender o processo que gerou aquele resultado que são as fotos eu acho que chega-

se numa situação interessante. Porque ele vai ter a vantagem de estar na casa dele fazendo as contas de ter as imagens e não vai sentir que aquilo é abstrato demais por ele não ter participado do processo. É possível utilizar dependendo da proposta.

MC58 MC: Acho que dá totalmente pra ser aplicada no ensino médio. Mas acredito que os roteiros devem ser adaptados. Acho que eles vão entender porque é nisso que muitos ensinamentos médios de hoje ficam devendo. A gente não tem experimentação em nenhum âmbito. Pelo menos o Laboratório Virtual daria um pouco de vazão a isso. Por mais que eles não tenham contato. Porque você vê um vídeo, você vê que aquilo aconteceu, você não se convence como quando você lê um livro, você aceita a fórmula, você vê que aquilo acontece na realidade.

Nota-se que alguns alunos veem o Laboratório Virtual como ferramenta em potencial para propor atividades de experimentação no ensino médio. Se não fizerem uso dos experimentos já existentes, alguns pensam em usar a técnica para desenvolver outras experiências que sejam possíveis de serem analisadas da mesma maneira. Novamente, percebe-se aqui mais uma potencialidade: o Laboratório Virtual seria uma alternativa a escolas que não possuem laboratórios didáticos. Os próprios estudantes reconhecem que mesmo que não exista a instrumentação, se bem apresentada, a proposta do experimento virtual ilustraria algumas teorias vistas em sala de aula.

As atividades virtuais são propostas simultaneamente às aulas teóricas e o conteúdo em questão diz respeito à essas aulas, desta forma, os alunos comentaram sobre como recebiam as propostas do Laboratório Virtual durante as aulas e de que maneira elas estariam contribuindo com a compreensão dos fenômenos estudados:

I88 I: Ajudou porque (...) se fosse só lá na aula, talvez só aceitasse mas talvez não visualizasse e no experimento pode ser visualizado. E do giroscópio, eu errei muito nele, eu via a precessão no spin, o spin na precessão, então fazia tudo ao contrário, então de fato ajudou.

L46 L: Ah, foi útil. Primeiro porque você ter a oportunidade de colocar um pouco em prática os conceitos que são trabalhados na disciplina e acho que esse é o tipo de trabalho que podia ser aplicado pro pessoal de ensino médio. Porque eu, pelo menos quando fiz meus estágios, eu fui pra sala de aula e acho que é muito ruim o jeito que é ensinado, pelo menos quando eu fiz meu ensino médio.

N42 N: Não, eu acho que estava concordando perfeitamente (...) aí a gente fez o giroscópio e o outro antes da matéria, então despertou muito curiosidade e eu já tinha na minha mente como funcionava eu acho que ajudou muito. Eu achei muito bom principalmente os do giroscópio, ajudou muito, porque quando ela chegou e começou a falar eu já estava convencido eu acreditava que a velocidade de precessão aumentava eu tinha isso pra mim. Ela falava e eu não pensava que era mentira.

R96 R: Não, pra mim estava totalmente de acordo. O que ela falava em sala eu conseguia ver no Laboratório Virtual. Muitas coisas que ela comentava em sala de aula que pra mim era muito abstrato, era difícil de enxergar, muitas vezes eu consegui ver no experimento virtual.

Durante os períodos destinados à orientação dos alunos, a chamada “monitoria web”, ficou nítido que muitos estudantes se cansavam na etapa de coleta de dados, no entanto, eles acabam reconhecendo ao final a importância de ter realizado a atividade. Para muitos alunos, a realização do Laboratório Virtual permitiu que identificassem peculiaridades que muitas vezes não haviam recebido destaque na aula teórica, trata-se de um segundo momento onde podem refletir sobre um fenômeno já estudado, ou muitas vezes visto apenas qualitativamente. No Laboratório Virtual existe a oportunidade de quantificar aquele fenômeno, trabalhando diferentes nuances do seu comportamento a partir da análise dos quadros. Talvez um dos grandes ganhos desse Laboratório, que os alunos têm destacado, é o fato de conseguirem visualizar situações que a olho nu não seriam possíveis.

A proposta de realizar alguns experimentos antes mesmo de ser abordado qualquer conteúdo teórico a respeito do assunto foi feita, e com resultados positivos. A ideia era colocar os alunos em contato com um novo fenômeno de maneira experimental (ainda que virtualmente) e que eles realizassem uma análise prévia da experiência. A formalização teórica feita em classe já não seria mais então uma novidade, uma vez que o aluno já dedicou um tempo refletindo sobre o assunto. Na entrevista notou-se que os alunos perceberam o intuito de realizar a atividade dessa maneira e até se sentiram beneficiados, uma vez que a aula teórica foi acompanhada com maior facilidade.

A fim de verificar como os alunos recebiam a proposta do Laboratório Virtual em comparação a uma atividade experimental presencial, os alunos foram questionados e se posicionaram a respeito desse assunto:

I94 I: Eu acho o virtual viável (...) ajuda o aluno a ter mais tempo pra se preocupar com a parte teórica do que apenas ficar fazendo medidas.

I96 I: No tradicional, você fica muito preocupado em medir, então você faz o cálculo, aí deu errado, porque você quer que dê certo com a teoria, aí dá um absurdo, então você volta e as vezes você não se preocupa com a teoria e com porquê que aquilo aconteceu. Então a gente fica muito ligado na medida, na medida, e esquece de estudar o fenômeno em si, porque que aquilo ali aconteceu. E no virtual tem mais tempo pra isso (...). Porque as vezes você ficou tão preocupado com a medida que você esqueceu do fenômeno, o que explica o fenômeno. E aí depois que você vai procurar entender.

N56 N: O virtual é antes das aulas e outro (tradicional) é depois. Porque esse daqui você desperta curiosidade e você não faz uma análise muito profunda, mas serve pra você refletir, ah, funciona assim, ah, estou convencido. O outro é pra você entender as coisas do jeito sigma de 0,2%...

R98 R: É difícil porque eu tive bastante dificuldade com os experimentos do laboratório I, entendeu? Mas a minha dificuldade maior era mesmo na parte dos cálculos, e as vezes eu me perdia mesmo no experimento. Porque fica aquela coisa, aquela tensão de você querer fazer tudo certinho, agora quando é uma coisa mais descontraída, como foi aqui, fluiu perfeitamente, então depende muito do tipo de experimento e do objetivo.

- S62** S: Sim, daria pra usar o presencial e o virtual. Um pra dar foco na questão instrumental e outro na questão da análise. (...)

As falas apresentadas ilustram, em parte, a ideia que os alunos demonstram ter sobre os laboratórios virtual e tradicional. Os dois permitem que desenvolvam-se diferentes habilidades. Um fato que pode ser destacado é o espaço criado pelo Laboratório Virtual para que os alunos aprofundem os conceitos físicos e reflitam mais sobre os fenômenos. É bastante comum em aulas tradicionais de laboratório que os alunos usem boa parte do tempo efetuando as montagens do aparato, o que acaba fazendo com que a parte da análise de dados seja realizada mais rapidamente e com menos reflexão. A questão instrumental é extremamente importante no curso de graduação, por esse motivo deve ocupar o espaço nas disciplinas tradicionais. A proposta do Laboratório Virtual acaba sendo vista pelos estudantes como uma alternativa para desenvolver mais suas habilidades na análise de dados e ainda estudar fenômenos que de maneira tradicional teria um grau de dificuldade maior.

8.2. APRECIÇÕES DE DESENVOLVEDORES

Desde quando foi desenvolvido em 2004 o Laboratório Virtual tem passado por algumas avaliações. Em 2006, a professora Elizabeth Zaki, que foi uma das pioneiras na criação do Laboratório Virtual, desenvolveu sua tese de mestrado discutindo o uso das TIC no ensino e em particular a aplicação do Laboratório Virtual no curso de Licenciatura do IFUSP. Ela comparou a aprendizagem no experimento Trilho de ar da página virtual com um experimento análogo realizado em um laboratório tradicional. Nas suas considerações finais é destacado que a realização da experiência por meio virtual, da forma como é proposta no site, é mais eficaz no entendimento do conceito de velocidade como taxa de variação de posição por tempo que o tradicional, possivelmente porque dois quadros em tempos diferentes são necessários para determinar a velocidade. Esse trabalho contou com a avaliação de relatórios entregues pelos alunos além de entrevistas realizadas com os mesmos.

Já em 2011, outro trabalho com o mesmo propósito foi realizado pela professora Suelen Fernandes, que também participou da criação de diversos experimentos que hoje compõem a página dos experimentos virtuais. Baseando-se no experimento Rolamento ela realizou um estudo sobre as dificuldades apresentadas pelos alunos. A partir dos relatórios entregues foi possível verificar a maneira como os trabalhos eram desenvolvidos. Com a apresentação dos objetivos ficava fácil notar se o experimento foi compreendido e se o aluno conseguia expor, com as próprias palavras, a que conclusões chegaria na análise virtual. Por

se tratar de um experimento com um nível maior de complexidade, muitos alunos cometeram equívocos comprometendo a obtenção correta dos resultados. Este trabalho pode contribuir para que melhorias fossem realizadas na página do experimento virtual, tornando-o mais compreensível para os alunos. Uma inovação realizada com este experimento foi o de propô-lo antes das aulas teóricas, de modo que o aluno tivesse o primeiro contato com o assunto de rolamento de corpos rígidos por meio do Laboratório Virtual. Até o momento a estratégia tem sido bem aceita pelos estudantes e reconhecida como uma maneira de fornecer-lhes respaldo para melhor compreensão e aproveitamento das aulas teóricas.

É interessante observar o comportamento dos estudantes frente à proposta do Laboratório Virtual, isto é, como eles agem quando estão em contato com esse material didático. O monitor web, que está presente em um horário semanal fixo, por duas horas, em uma sala de computadores, tem a oportunidade de auxiliar os alunos que o procuram nas dúvidas que surgem, tanto na tomada de dados, quanto na interpretação dos guias de laboratório. Constatou-se que muitos estudantes têm o primeiro contato com o material nesse horário, o que torna possível observar a reação deles no processo inicial de tomada de dados da experiência, realizando as medidas e analisando os quadros de maneira própria. Por não usarem nenhum software computacional que favoreça a coleta de dados reais, os alunos se dedicam mais à análise construindo gráficos próprios, plotando pontos, escolhendo referenciais, adequando escalas, verificando coeficientes angulares, etc.

Quando aplicado em sala de aula, os relatórios entregues pelos alunos são alvo de análise. Eles são julgados não só na correção e verificação dos objetivos atingidos, mas também desde os pontos de vista dos alunos e das impressões que eles tiveram da atividade proposta. Uma maneira de obter esse retorno é por meio de entrevistas que têm sido realizadas com os estudantes de modo a se coletar indícios das impressões que os estudantes têm acerca do Laboratório Virtual; podem ser incluídas perguntas mais gerais no roteiro do experimento que indaguem os alunos sobre diversos assuntos de interesse que sejam avaliados. Assim, é possível identificar alguns dos equívocos que podem existir no material didático, tanto no que se refere à elaboração do roteiro, quanto na forma como ele é proposto aos alunos no decorrer do curso. Assim, existem condições de melhorá-lo, na tentativa de que contribua para o processo de ensino-aprendizagem, não se reduzindo a uma atividade onde simplesmente se manipula uma planilha de dados e se chega a conclusões automáticas (FONSECA, MAIDANA, *et al.*, 2013).

O desenvolvimento deste trabalho poderá contribuir para a obtenção de mais elementos que justifiquem e validem a proposta do Laboratório Virtual. Apesar de ser feita uma análise com foco no experimento do Giroscópio, a metodologia de aplicação e as dificuldades apresentadas pelos estudantes poderão apresentar similaridades que servirão de parâmetro para estruturar as demandas de qualquer outro experimento virtual.

Desde a inserção das primeiras experiências na página, vem-se avaliando os roteiros de laboratório e identificando-se problemas que surgem quando os alunos realizam os experimentos. Muitas experiências foram reformuladas a partir da análise dos relatórios entregues, o que possibilitou também um caminho para a reformulação de vários guias e também da maneira como o Laboratório Virtual tem sido proposto aos alunos. Em particular, os roteiros das experiências foram melhorados com o decorrer do tempo, com a uniformização da estrutura e também da aparência, inclusive dos títulos das seções e das fontes dos tipos em que o texto está escrito. Também a relação entre o momento da aplicação de algumas experiências e o andamento da teoria, de modo a abordar assuntos específicos relacionados com certos conteúdos, tem sido alvo de análise e mudanças.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi apresentado o Laboratório Virtual, material didático produzido no âmbito do Projeto Ensinar com Pesquisa (EPA). A partir do experimento do giroscópio, buscou-se uma maneira de agregar observações que permitissem compreender se o uso desse recurso estaria sendo uma estratégia viável para complementar aulas introdutórias de mecânica. Para esta investigação foram usadas entrevistas, buscando verificar na fala dos alunos, os conceitos de assimilação e adaptação propostos por Piaget e também a presença de subsunçores, propostos por Ausubel. Com este estudo obtiveram-se indicativos que contribuíram para uma avaliação da proposta do Laboratório Virtual como uma estratégia de ensino complementar.

A partir das entrevistas realizadas, selecionaram-se trechos significativos que caracterizassem os parâmetros que seriam escolhidos para categorizar as mesmas. Os tópicos descritos no capítulo 6 permitiram organizar as falas dos alunos e então dar suporte para uma verificação de possíveis subsunçores e uma interpretação particular dos conceitos de assimilação/acomodação, direcionando para uma compreensão da evolução do processo de aprendizagem do aluno.

Percebeu-se que a maioria dos alunos se mostrou interessado no movimento do giroscópio. O fascínio pelo movimento acabou por despertar a curiosidade na realização do experimento e então buscar entender que conceitos estariam por trás dele. Da conversa com os alunos percebeu-se que a primeira impressão que tiveram com o giroscópio era que o movimento era inusitado, o que já denotava um claro desequilíbrio. Tratava-se de uma situação a que eles não estavam habituados, algo que fugia da sua situação de conforto. Para que o interesse pelo giroscópio fosse mantido foi necessário que a situação de desequilíbrio ainda se mantivesse, o interesse poderia se dissipar tratando seu funcionamento apenas como uma demonstração curiosa. Na tentativa de manter os alunos focados, um questionamento foi feito a eles no roteiro da experiência. Nas entrevistas notou-se que a maioria se lembrava da pergunta: o que acontece com a velocidade angular de precessão do giroscópio ao longo do tempo?

A maioria dos alunos se enquadrou nas opiniões de senso comum, manifestando que a velocidade de precessão diminui ao longo do tempo, ideia essa, a princípio bastante razoável uma vez que a tendência natural da velocidade dos corpos, se deslocando em superfícies com atrito, é diminuir. A resposta imediata, apesar de errônea era esperada e pertinente para a continuidade da atividade. Na entrevista realizada, alguns alunos não lembravam do que haviam respondido na época, até porque na situação atual já tinham se

apropriado do conhecimento e sabiam como era o real comportamento dessa velocidade. Apesar disso alguns tentavam se colocar na posição anterior e afirmavam que o mais natural de se pensar era sua diminuição.

A ideia de que a força de atrito retarda o movimento dos corpos foi o subsunçor mais frequente na fala inicial dos alunos. Esse conhecimento intrínseco era a primeira tentativa de explicar porque a velocidade de precessão do giroscópio deveria diminuir. Essa justificativa é um caminho que o aluno busca para uma assimilação.

Se deparar com aquela situação nova, inusitada e interessante, requer uma justificativa, ela precisa ser explicada, assim, na falta dos conceitos certos, o aluno usa aquilo que conhece. Uma vez esquematizada sua explicação ele verificaria se ela estava correta a partir do experimento virtual.

Os alunos também foram questionados se lembravam da análise que fizeram e do gráfico que construíram. Foi mostrado a eles o próprio relatório dessa experiência apresentado. Ao verem o gráfico, a maioria lembrava que ele retratava o comportamento da velocidade angular de precessão ao longo do tempo. É importante destacar que se a resposta inicial do aluno coincidissem com o comportamento obtido no gráfico, a situação estaria assimilada e nada novo precisaria ser desenvolvido.

No caso do giroscópio, no momento em que se verifica pelo gráfico que o comportamento da velocidade de precessão não é o esperado, ocorre o desequilíbrio. Essa é a resistência necessária para que o aluno que ainda não tivesse condições de explicar o funcionamento do giroscópio pudesse desenvolver com o processo de acomodação.

Quando o estudante constata que a velocidade de precessão aumenta é necessário que reestruture seus conhecimentos e que estes por sua vez deem conta de uma explicação. É nesse momento que ele recorrerá às aulas teóricas. Como o Laboratório Virtual é proposto concomitantemente às aulas teóricas, conteúdos teóricos e experimentais estão interligados. Ao mesmo tempo em que o aluno está realizando um experimento virtual, aulas em classe estão sendo ministradas. Nessas aulas, todos os conceitos físicos envolvidos no movimento do giroscópio são descritos e deduzidos, como apresentado no capítulo 5. A partir deles pode-se justificar o comportamento visto no gráfico da velocidade de precessão.

A maioria lembrou que existiam grandezas que eram inversamente proporcionais, no caso, as velocidades angulares de spin e precessão, mesmo já tendo realizado o experimento há algum tempo.

O fato das aulas teóricas serem ministradas junto com as experimentais permitiu que o aluno associasse diretamente o conceito à situação vivenciada no Laboratório, percebendo que aquela teoria serviria para explicar o movimento do aparelho da experiência.

Para quem está realizando o experimento virtual, o conteúdo das aulas teóricas se mostra totalmente pertinente uma vez que permite justificar e explicar a atividade

experimental; é como se esses conteúdos estivessem sendo requisitados em outra situação (experimento virtual) e ele tivesse a tarefa de transpô-lo para lá. Por outro lado, no caso de não ter uma experiência como a analisada e só ser apresentado o conteúdo teórico, pode ser que este não se mostre tão significativo por não estar sendo aplicado.

Alguns alunos vivenciaram uma tentativa de assimilação quando tentaram explicar o funcionamento do giroscópio, no entanto passaram por uma nova situação de desequilíbrio ao verificar em quê sua explicação não estava correta.

Dos que iniciam a explicação sobre o movimento do giroscópio, poucos conseguem completar o raciocínio e justificar de maneira satisfatória o comportamento das velocidades angulares de precessão e spin. Em alguns casos os alunos conseguiram relacionar o surgimento da velocidade angular de precessão com a variação do momento angular de spin e o efeito do torque do peso ao longo do tempo. Isso em geral acontece porque todos os conceitos envolvidos no movimento do giroscópio são conhecidos independentemente (peso, momento angular, momento de inércia), no entanto, a combinação deles de maneira eficiente é que permitiria a explicação correta do movimento.

Quando o aluno desenvolve uma explicação coerente e que contempla todos os conceitos envolvidos no movimento do giroscópio é um indicativo de que se apropriou de um novo conhecimento. Essa nova aquisição poderá ser então aplicada para verificar sua validade, fato que ocorreu na realização do experimento virtual quantitativo (item 5.3.2). Nessa etapa, os alunos obtiveram valores para a velocidade de precessão do giroscópio ao longo de várias voltas. Tendo em vista o experimento inicial, eles tinham consciência de que a velocidade de precessão deveria aumentar.

Embora vários estudantes tenham se apropriado da ideia de que existem duas velocidades que são inversamente proporcionais, não é trivial se acostumar de imediato com essa nova situação. Imaginar uma velocidade aumentando ao longo do tempo, sem a adição do trabalho de uma força externa, foge ao que a intuição espera, por isso o processo de adaptação requer do aluno um bom discernimento das grandezas envolvidas e do comportamento das mesmas.

Das entrevistas pode-se perceber que por mais que o experimento tenha sido realizado há algum tempo, os alunos ainda se lembravam dele. Como propõe Ausubel, o fato deles não se lembrarem exatamente dos conceitos ou como se relacionam as grandezas, não significa que a aprendizagem foi nula. Trata-se como apresentado no capítulo 3, da assimilação obliteradora. Essa assimilação apresentada por Ausubel pretende ressaltar que se algum resíduo ficou na lembrança do aluno, existe um indicativo de uma iminente aprendizagem; se ele retomar o assunto, terá uma chance maior de interiorizar os conceitos e uma facilidade maior para reestruturar seus conhecimentos. No caso do giroscópio esse fato fica nítido quando grande parte dos entrevistados lembra que as grandezas são

inversamente proporcionais; eles podem não recordar como a relação foi obtida, no entanto, se retomarem esses assuntos conseguirão desenvolvê-los com maior facilidade. No caso dessa retomada ocorrer no futuro, aqueles que não conseguiram explicar o movimento do giroscópio, ao voltarem a estudá-lo, terão a possibilidade de passar por uma aprendizagem significativa, uma vez que possuem resquícios do conhecimento e também os subsunçores necessários para que ela ocorra.

O estímulo obtido com o giroscópio necessita ser assimilado, compreendido, por meio das estruturas que os alunos já possuem, produzindo acomodações. Da interação do aluno com o aparelho de estudo podem-se levantar algumas hipóteses do ponto de vista da adaptação:

- a) O aluno não explica o giroscópio. Nesse caso ocorreria uma assimilação/acomodação nula (conceitos que venha a possuir não são usados para explicar o novo);
- b) Impossibilidade de compreensão do giroscópio. O aluno não possui os subsunçores necessários para a compreensão do fenômeno, razão pela qual os conteúdos envolvidos seriam muito avançados para sua capacidade inibindo sua aprendizagem (assimilação/acomodação em menor grau).
- c) Modificação da estrutura de pensamento do aluno e apropriação de novos conceitos que deem conta de explicar o giroscópio (assimilação/acomodação em maior grau).

Todo esse processo é o que Piaget chama de auto regulação, onde se tem a assimilação acompanhada de acomodação e modificação do aluno. Compreender o funcionamento do giroscópio implica na necessidade de agir de modo diferente, modificando os esquemas de pensamento para que se consiga explicar a nova situação. A acomodação torna-se então como uma resposta dada, neste caso concreto, ao movimento do giroscópio. Uma vez que a acomodação ocorreu, a aprendizagem do novo passa a ser um esquema mais apurado de assimilação que está pronto para ser aplicado. Por esse motivo é que aprender algo novo, baseado naquilo que já se sabe, se torna mais interessante. Segundo Piaget, para que um comportamento se modifique é preciso que ele exista antes e que esteja em constante aplicação, assim a aprendizagem seria a assimilação de um novo comportamento a um comportamento já existente. Nesse trabalho entende-se a aprendizagem como o resultado desse processo; a possibilidade de assimilação de uma situação e reconhecimento e aplicação de conceitos para explicá-la são indicativos que ocorreu uma aprendizagem em relação ao fenômeno estudado. No caso do experimento do giroscópio, se o aluno aprendeu

os conceitos envolvidos no estudo do experimento virtual, ele estaria apto e conseguiria aplicar tais conceitos a outras situações. Esse processo foi esquematizado na tabela 8:

Tabela 8: Processo de equilibração no Giroscópio

| <i>Contato com o giroscópio --- Desequilíbrio</i> Explicação usando concepções prévias: O atrito retarda... | |
|---|--|
| ...a velocidade de spin. | ... a velocidade de precessão. |
| <ul style="list-style-type: none"> • Velocidade de spin • Gráfico • Subsunçores (peso, variação do momento angular, torque...) | <ul style="list-style-type: none"> • Velocidade de precessão • Gráfico • Novo desequilíbrio • Subsunçores (peso, variação do momento angular, torque...) |

Assimilação / Acomodação

Ao explicar o movimento, a primeira tentativa é usar os conhecimentos prévios, o que acaba sendo bem sucedido para os alunos que têm o entendimento da dinâmica do movimento, e conseguem assimilar a informação que já possuem; o atrito retarda o movimento, aplicado à velocidade de spin. Outra parte dos alunos passa por um novo desequilíbrio quando a intuição que tinham, sobre a diminuição da velocidade de precessão não é constatada no gráfico. A necessidade de desenvolver novos conhecimentos e compreender com mais detalhes o movimento do giroscópio permite que eles reestruturarem suas ideias e tenham um grau maior de assimilação/ acomodação.

Para Piaget, quanto mais desafiante for a proposta do meio, no caso o giroscópio, mais reequilbrações se processam no desenvolvimento mental. A necessidade de explicar se mostra como um desequilíbrio passageiro que em pouco tempo deverá ser assimilado. Essa necessidade pode se apresentar como uma curiosidade, dúvida, problema, etc., por isso se mostra de grande importância para ativar o desenvolvimento e raciocínio do aluno.

Situações que coloquem os alunos em uma posição de desequilíbrio requerem também algumas precauções. No caso do giroscópio era sabido que os conceitos envolvidos em seu funcionamento seriam abordados e discutidos nas aulas teóricas, por esse motivo esperava-se que o aluno tivesse a predisposição para aplicá-los ao experimento virtual. Piaget afirma que não existe um “começo absoluto”, toda assimilação supõe esquemas prévios com os quais se processará a compreensão.

Os resultados obtidos com as entrevistas não foram o almejado para quando o experimento foi elaborado. Apenas quatro alunos desenvolveram o raciocínio esperado e tiveram um maior grau de assimilação/acomodação. O fato de ter usado apenas a entrevista com os alunos e em alguns momentos o relatório elaborado por eles, para realizar a análise,

pode ter sido insuficiente para aquisição de uma variedade maior de dados. Para futuros trabalhos, recorrer a questionários, resolução de exercícios sobre o tema, solicitar que os alunos apliquem os conceitos aprendidos a uma nova situação, construção de esquemas de raciocínio, poderiam ser ferramentas que contribuiriam para uma variedade maior de dados e que pudessem até se combinar de alguma forma direcionando para uma conclusão mais aceitável quanto o uso do Laboratório Virtual por parte dos alunos.

Com a realização dessa pesquisa pode-se confirmar que a aplicação dos experimentos virtuais só se mostra viável em conjunto com as aulas teóricas. Visto isso se faz necessário que essas aulas tenham potencial suficiente para estimular o aluno na realização dessa atividade e ainda fornecer subsídios que o permitam desenvolver a proposta de maneira satisfatória. O desejo é que ocorra um interesse e uma predisposição unânime dos estudantes em realizar as atividades virtuais, de modo que a aula teórica poderia ser uma maneira de influenciar o uso do Laboratório Virtual dando a ele o significado que lhe é devido: material complementar ao conteúdo visto em classe.

A conversa com os alunos sobre a pertinência do Laboratório Virtual permite uma reflexão sobre o quão significativo ele pode ter sido. Todos os entrevistados concordaram com a proposta das experiências e também viram coerência no momento em que eram apresentadas; o que era trabalhado no laboratório era visto simultaneamente na aula teórica. Dessa forma, como coloca Ausubel, o material, no caso o Laboratório Virtual, estaria se apresentando como algo potencialmente significativo para promover a aprendizagem dos alunos. Ele estaria dando subsídios para o desenvolvimento da compreensão acerca dos fenômenos de maneira ilustrativa, aplicando conhecimentos teóricos a uma situação real, porém virtual. A importância do qualificador “potencialmente” está no fato de que o laboratório tem potencial para ser significativo desde que o aluno faça um uso adequado dele e consiga desenvolver o processo de aprendizagem com êxito.

Vistas todas as potencialidades do Laboratório Virtual apresentadas neste trabalho, é aceitável o seu enquadramento no âmbito dos laboratórios didáticos. O fato dele não permitir o manuseio de instrumentos físicos, não lhe tira o mérito de possibilitar todo o processo restante, pois apesar de ser virtual, trabalha com situações reais. As leis físicas presentes nos experimentos fazem parte do cotidiano, de modo que eles estão sujeitos às mesmas condições que uma situação em um laboratório presencial também estaria.

Com este trabalho, espera-se ter contribuído para a divulgação do Laboratório Virtual, apresentando uma nova forma de trabalhar com a experimentação, frisando sempre que sua eficiência se dá quando realizado de maneira simultânea às aulas teóricas. Visto as perguntas propostas no início, a partir de toda a análise aqui realizada pode-se afirmar que o Laboratório Virtual cumpriu seus objetivos no sentido de promover um espaço onde o aluno tivesse a oportunidade de aplicar conceitos vistos em aula em experimentos reais. Da análise

específica do experimento do Giroscópio constatou-se que alguns retiveram conceitos necessários envolvidos nesse estudo e mesmo com o passar do tempo ainda se lembravam deles. Cumpridos os objetivos enquanto atividade experimental e avaliado seu impacto em sala de aula, pode-se afirmar que o Laboratório Virtual tem potencial para ser usado em sala de aula como apoio às disciplinas introdutórias de mecânica.

No processo de ensino muitas estratégias podem ser usadas com o intuito de facilitar a compreensão de um conceito físico. Alguns estudantes conseguem aprender um novo conceito pela simples dedução de uma equação, outros precisam manusear um instrumento que trabalhe com essa lei ou com elementos como filmes, fotos, etc. Nesse sentido, entende-se que a proposta do Laboratório Virtual é mais uma ferramenta didática que pode auxiliar os alunos na compreensão dos fenômenos em estudo. Por que não existe uma única maneira de ensinar, mas buscando estratégias diferenciadas e materiais didáticos diversos, pode ser que haja um caminho para melhorar essa tarefa. A ferramenta está sendo oferecida, caberá à comunidade acadêmica oferece-la no processo de ensino e, ao aluno, usá-la para o seu próprio benefício: a aprendizagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADOBE SUPPORT. Definir opções de campo para vídeo entrelaçado importado. **Adobe Systems Software Ireland Ltd**, 2014. Disponível em: <http://help.adobe.com/pt_BR/PremiereElements/8.0/Win/Using/WS09e4b3c48f3a79fc19b622510385d4355c-7fa5.html>. Acesso em: 05 julho 2015.
- ADOBE SYSTEMS SOFTWARE. Adobe Systems Incorporated in the United States and/or others countries. **Adobe Premiere Pro [Software]**, 1991. Acesso em: julho 2015.
- ÁLVARES, A. J. et al. **Um sistema de telemanufatura baseado na web orientado ao processo de oxicorte**. XXII ENEGEP. Curitiba: [s.n.]. 2002.
- ÁLVARES, A. J.; FERREIRA, J. C. E. **Methodology for implantation of remote laboratirues thgough internet in the area of automation of the manufacture**. Universidade de Brasília e Universidade Federal de Santa Catarina. [S.I.]. 1998.
- ÁLVARES, A. J.; ROMARIZ, L. J. **Desenvolvimento de um Manipulador Com Dois Graus de Liberdade Controlado Remotamente Via Internet**. V Congresso de Engenharia Mecânica Norte e Nordeste. Fortaleza: [s.n.]. 1998. p. 529-536.
- ANJOS, A. J. S. As novas tecnologias e o uso dos recursos telemáticos na educação científica: A simulação computacional na educação em física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 3, 2008.
- ARAUJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira do ensino de física**, São Paulo, v. 25, n. 2, 2003.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- BACHELARD, G. **A epistemologia**. Lisboa: [s.n.], 2000.
- BAEZ, A. V. The early days of science education in UNESCO. **Unesco**, 1967. Disponível em: <<http://www.unesco.org/education/pdf/BAEZ.PDF>>. Acesso em: 05 julho 2015.
- BARBETA, V. B.; YAMAMOTO, I. Desenvolvimento e Utilização de um Programa de Análise de Imagens para o Estudo de Tópicos de Mecânica Clássica.. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, Junho 2002.
- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2009.
- BARROS, S. F. . **Experimento virtual de rolamento: um estudo das dificuldades apresentadas pelos alunos do curso de licenciatura do IFUSP**. Instituto de Física, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2011. (Monografia - Licenciatura em Física).

- BARROSO, M. F.; BEVILAQUA, D.; FELIPE, G. **Visualização e Interatividade no ensino de física e a produção de aplicativos computacionais**. IX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Londrina.: [s.n.]. 2006.
- BATISTA, J. L. P. et al. **A utilização de softwares educativos de cinemática na Escola Estadual Messias Pedreiro de Uberlândia**. XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física. Manaus, AM: [s.n.]. 2011.
- BECKER, F. **Da ação à operação: o caminho da aprendizagem em Jean Piaget e Paulo Freire**. Rio de Janeiro: DP&A, v. 2, 1997.
- BERGVALL, P.; JOEL, N. **Unesco Pilot Project on New Methods and Techniques in Physics Teaching**. Unesco. São Paulo. 1964.
- BERGVALL, P.; NAHUM, J. **UNESCO Pilot Project on New Methods and Techniques in Physics Teaching**. Projeto Piloto UNESCO. São Paulo. 1964.
- BORGES, A. T. Novos Rumos para o Laboratório de Ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Belo Horizonte, v. 19, n. 3, dezembro 2002.
- BROWN, D. Tracker. **Open Source Physics**, 2014. Disponível em: <<http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>>. Acesso em: 05 julho 2015.
- BRUNER, J. S. **The Process of Education**. London: Harvard University Press, 1960.
- CANFORA, G.; DAPONTE, P.; RAPUANO, S. Remotely accessible laboratory for electronic measurement teaching. **Computer, Standards and Interfaces**, v. 26, n. 6, p. 489–499, 2004.
- CARVALHO, A. M. P. Las practicas experimentales en el proceso de enculturación científica. In: GATICA, M. Q.; ADÚRIZ-BRAVO, A. **Enseñar ciencias en el Nuevo milenio: retos y propuestas**. Santiago: Universidade católica de Chile, 2006.
- CARVALHO, V. B. L. Desenvolvimento humano e psicologia: generalidades, conceitos e teorias. **UFMG**, Belo Horizonte, 1996.
- CHIAROTTINO, Z. **Em busca do sentido da obra de Jean Piaget**. São Paulo: Átíea, 1984.
- CLOUGH, M. P. Using the laboratory to enhance student learning. In: BYBEE, R. W. **Learning Science and the Science of Learning**. Washington: National Science Teachers Association, 2002. p. 85–97.
- CNE. Fórum Nacional de Educação Superior, 2013. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/index.php?Itemid=769&id=12478&option=com_content&view=article>. Acesso em: 05 julho 2015.
- COELHO, R. O. **O uso da informática no ensino de física de nível médio**. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas. 2002.
- COUTINHO, J.; TEIXEIRA, V. B. **Novas tecnologias, hipermídia educacionais de física: um recurso didático fundamental no processo de ensino-aprendizagem**. XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física. Manaus, AM: [s.n.]. 2011.

- CRESWELL, J. W. **Research Design: qualitative, quantitative and mixed methods approaches**. 3. ed. [S.l.]: Sage Publications, 2009.
- DIAS, N. L.; PINHEIRO, G.; BARROSO, C. G. Laboratório Virtual de física nuclear. **Revista Brasileira de ensino de física**, v. 24, n. 2, 2002.
- DUARTE, R. Entrevistas em pesquisas qualitativas. **Educar**, Curitiba, v. 24, p. 213-225, 2004.
- ERICKSON, F. Qualitative methods in research on teaching. In: WITTROCK, M. C. **Handbook of research on teaching**. New York: Macmillan Publishing Co., 1986. p. 119-161.
- FARAGO, C. C.; FOFONCA, E. A análise de conteúdo na perspectiva de Bardin: do rigor metodológico à descoberta de um caminho de significações. **Linguagem**, São Carlos, n. 18, 2000. ISSN 1983-6988.
- FELIPE, G.; BARROSO, M.; PORTO, C. M. **Simulações Computacionais no Ensino de Relatividade Restrita**. XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física. Rio de Janeiro: [s.n.]. 2006.
- FERREYRA, R. E. Série de casos sobre “innovaciones em la enseñanza de la física en América Latina. **CLAF**, Rio de Janeiro, p. 8, 1979.
- FIOLHAIS, C.; TRINDADE, J. Física no Computador: O computador como uma ferramenta no ensino e na aprendizagem das ciências físicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 259-272, 2003.
- FONSECA, M. et al. O Laboratório Virtual: uma atividade baseada em experimentos para o ensino de mecânica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 35, n. 4, 2013.
- FUJITA, J. S. T.; CASSANIGA, R. F.; FERNANDEZ, F. J. R. **Remote laboratory 2003 IEEE International Symposium on Industrial Electronics**. Proceedings of the. Rio de Janeiro: Brazil. 2003. p. 1104–1106.
- GALIAZZI, M. C.; GONÇALVES, F. P. A natureza pedagógica da experimentação: uma pesquisa na licenciatura em química. **Química Nova na Escola**, v. 27, n. 2, 2004.
- GASPAR, A. **Cinqüenta anos de Ensino de Física: Muitos equívocos, alguns acertos e a necessidade do resgate do papel do professor**. XV Encontro de Físicos do Norte e Nordeste. [S.l.]: [s.n.]. 2002.
- GOMES, L. C.; BELLINI, L. M. Uma revisão sobre aspectos fundamentais da teoria de Piaget: possíveis implicações para o ensino de física. **Revista Brasileira de ensino de Física**, São Paulo, v. 31, n. 2, 26 junho 2009.
- HABER-SCHAIM, U. PSSC PHYSICS: A Personal Perspective. **Compadre**, 2006. Disponível em: <<http://www.compadre.org/portal/pssc/docs/Haber-Schaim.pdf>>. Acesso em: 05 julho 2015.
- HICKS, J. **PSSC Reflections**. American Association of Physics Teachers. [S.l.]. 2006.

- HOHENFELD, D. P.; PENIDO, M. C. **Laboratórios convencionais e virtuais no ensino de Física**. VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Florianópolis, SC: [s.n.]. 2009.
- HOLTON, G. Einstein's model for constructing a scientific theory, São Paulo, 1979. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=s-PR2OqepwwC&pg=PA58&lpg=PA58&dq=a+ci%C3%A7%C3%A9+uma+troca+irre+dut%C3%ADvel+entre+experimento+e+teoria,+e+assim,+a+separa%C3%A7%C3%A3o+total+entre+experimento+e+teoria+n%C3%A3o+%C3%A9+desej%C3%A1vel+e+nem+poss%C3%>>>. Acesso em: 24 fevereiro 2014.
- HUON, G. et al. Resource use and academic performance among first year psychology students. **Higher Education**, v. 53, p. 1-27, 2007.
- KEILSON, S. et al. **Learning science by doing science on the web**. Proceedings of the 29th ASEE/IEEE Frontier in Education Conference. San Juan, Puerto Rico: 13. 1999.
- KING, J. G. Personal Views of the Beginnings of PSSC and My Film Experiences. **Compadre**, 2006. Acesso em: 2010.
- KORETSKY, M. D. et al. Enhancement of Student Learning in Experimental Design Using a Virtual Laboratory. **IEEE TRANSACTIONS ON EDUCATION**, v. 51, n. 1, Fevereiro 2008.
- KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. 9. ed. São Paulo: Perspectiva, 2006.
- LAPA, J. M.; HOHENFEL, D.; MARTINS, M. C. M. **Laboratórios Virtuais no ensino de física: uma possibilidade de aprendizagem significativa**. VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Florianópolis, SC: [s.n.]. 2007.
- LEE, A. VIRTUALDUB Setup 1.0 Copyright (C) (). [Software]Compiled with MS Visual C++6.0. **VIRTUALDUB Setup 1.0**, 1998. Disponível em: <www.virtualdub.org>. Acesso em: 13 maio 2013.
- LÉVY, P. **O que é o virtual?** São Paulo: 34, 1996.
- LIMA, L. D. O. **Piaget para principiantes**. 1. ed. São Paulo: Summus, v. 8, 1980.
- LOPES, R. P. E. A. **Tecnologias na escola: uma proposta de inclusão e uso de softwares educativos no ensino de Matemática e de Física**. XIV Encontro Nacional de Didática e Prática de Ensino. Porto Alegre: [s.n.]. 2008.
- LOPES, R.; ELOI, F. **Applets como recurso pedagógico no ensino de física: aplicação em cinemática**. XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física. Vitória, ES: [s.n.]. 2009.
- MA, J.; NICKERSON, J. V. Hands-On, Simulated, and Remote Laboratories: A Comparative Literature Review. **ACM Computing Surveys**, Hoboken, v. 38, n. 3, September 2006.
- MAGIN, D. J.; CHURCHES, A. E.; REIZES, J. A. Design and experimentation in undergraduate mechanical engineering. **Proceedings of a Conference on Teaching Engineering Designers**, Sydney, 1986. 96–100.

- MAGIN, D. J.; KANAPATHIPILLAI, S. Engineering students' understanding of the role of experimentation. **European J. Eng. Education**, v. 25, n. 4, p. 351–358, 2000.
- MARÇAL, V. E. R. **O esquema de ação e a constituição do sujeito epistêmico: contribuições da epistemologia genética à teoria do conhecimento**. Marília: Universidade Estadual Paulista, 2009 (Dissertação de Mestrado).
- MATOS, A. A. D. Fundamentos da Teoria Piagetiana: Esboço de um Modelo. **Revista Ciências Humanas**, Universidade de Taubaté (UNITAU), v. 1, n. 1, 2008.
- MEC BRASIL. Ministério da Educação Conselho Nacional de Educação. **Diretrizes Nacionais Curriculares para os cursos de física**, 2001. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES1304.pdf>>. Acesso em: 05 julho 2015.
- MEC BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica. **Guias de Tecnologias educacionais**, 2008. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/Avalmat/guia_de_tecnologias_educacionais.pdf>. Acesso em: 05 julho 2015.
- MILLAR, R. Towards a role for experiment in the science teaching laboratory. **Studies in Science Education**, v. 14, p. 109-18, 1987.
- MIQUELIN, A. F.; BEZERRA, A. G.; SAAVEDRA, N. C. **Reflexões sobre o papel das tecnologias de informação e comunicação na formação e prática profissional de professores de física**. XII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Águas de Lindóia, SP: [s.n.]. 2010.
- MONTEIRO, F. **Teleoperating a Mobile Robot - a Solution Based on Java Language**. IEEE International Symposium on Industrial Electronics. Portugal: [s.n.]. 1997. p. 263-267.
- MOREIRA, M. A. PESQUISA EM ENSINO: ASPECTOS METODOLÓGICOS. In: MOREIRA, M. A. **Pesquisa em ensino: o Vê epistemológico de Gowin**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária Ltda, v. 1, 1999. Cap. 2.
- MOREIRA, M. A. ¿Al final, que és aprendizaje significativo? **Revista Qurriculum**, La Laguna, v. 25, 2012.
- MOREIRA, M. A.; ROLANDO, A. A questão das ênfases curriculares e a formação do professor de ciências. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 3, n. 2, 1986.
- NARDI, R. **Questões Atuais no Ensino de Ciências**. São Paulo: Escrituras, 1998.
- NERSESSIAN, N. J. Conceptual change in science and in science education. In: MATTHEWS, M. R. **History, Philosophy, and Science Teaching**. Toronto: OISE Press, 1991. p. 133–148.
- NEUMANN, R.; BARROSO, M. F. **Simulações Computacionais e Animações no Ensino de Oscilações**. XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física. Rio de Janeiro: [s.n.]. 2006.
- NOVAK, J. D. Aprender, criar e utilizar o conhecimento: mapas conceituais como ferramenta de facilitação nas escolas e empresas. **Lisboa: Plátano Edições técnicas**, 1998.

- NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica: 1 – Mecânica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.
- OEI. **Metas Educativas 2021**. Organização de Estados Iberoamericanos para a Educação, a Ciência e Cultura. Madri. 2010.
- OERS, B. V. From context to contextualizing. **Learning and Instruction**, v. 8, n. 6, p. 473-488, 1998.
- OLIVEIRA, J. D. et al. Medição de tempo de reação como fator de motivação e de aprendizagem significativa no laboratório de física. **Cad.Cat.Ens.Fís.**, Belo Horizonte, v. 15, n. 2, p. 301-307, Dezembro 1998.
- OLIVEIRA, Z. D.; DAVIS, C. **Psicologia na educação**. 2ª. ed. São Paulo: Cortez, 1993.
- PÉREZ, M. V. L.; LÓPEZ, M. C. P.; ARIZA, L. R. Blended learning in higher education: Students' perceptions and their relation to outcomes. **Computers & Education**, v. 56, p. 818-826, 2011.
- PIAGET, J. **Aprendizagem e conhecimento**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1974.
- PIAGET, J. **A equilibrção das estruturas cognitivas**. Rio de Janeiro: Zahar, 1976.
- POSTMAN, N. **Tecnopólio: a rendição da cultura à tecnologia**. São Paulo: Nobel, 1994.
- PRESOTO, L. O. et al. **Divulgando e ensinando análise de vídeo em sala de aula: experimentos de mecânica com o software Tracker**. XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física. Manaus, AM: SNEF. 2011.
- PSSC. **Física - Parte I**. [S.l.]: Universidade de Brasília (tradução autorizada com direitos reservados para o Brasil pelo IBCEC-UNESCO), 1963.
- RIFFELL, S.; SIBLEY, D. Using web-based instruction to improve large undergraduate biology courses: An evaluation of a hybrid course format. **Comput. and Education**, v. 44, n. 3, p. 217–235, 2004.
- ROSA, C. W. Concepções teórico-metodológicas no laboratório didático de física na Universidade de Passo Fundo. **Ensaio**, v. 5, n. 2, 2003.
- RUDOLPH, J. L. Compadre. **PSSC in Historical Context: Science, National Security, and American Culture during the Cold War**, 2006. Disponível em: <<http://www.compadre.org/portal/pssc/docs/Rudolph.pdf>>. Acesso em: 05 julho 2015.
- SARTORI, A. F.; HAAR, E.; RAMOS, E. M. F. **Uma análise exploratória de repositórios educacionais enquanto ambientes virtuais de aprendizagem na web moderna: o portal do professor**. XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física. Vitória, ES: [s.n.]. 2009.
- SCANLON, E. et al. Remote experiments, reversioning and rethinking science learning. **Compututer and Education**, v. 43, n. 1, p. 153–163, 2004.
- SERNA, W. et al. Primer paso para crear un laboratorio virtual de física basado en visión por computador. **Scientia Et Technica**, Agosto 2011.

- SEVERINO, E. Z. G. .. 2. **Recursos virtuais em aulas de laboratório de física**. Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências e Faculdade de Educação. São Paulo. 2006. (Dissertação de Mestrado).
- SHAHEEN, M.; LOPARO, K. A.; BUCHNER, M. R. **Remote laboratory experimentation**. Proceedings of the 1998 American Control Conference. Philadelphia, PA: [s.n.]. 1998. p. 1326–1329.
- SHIN, D. et al. A web-based, interactive virtual laboratory system for unit operations and process systems engineering education: Issues, design and implementation. **Computers and Chemical Engineering**, v. 26, n. 2, p. 319–330, 2002.
- STOA. **Ambiente de apoio às disciplinas da USP**, 2015. Disponível em: <stoa.usp.br>. Acesso em: 24 jun. 2015.
- STUDART, N. Simulação, games e gamificação no ensino de Física. XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física. Uberlândia, MG: [s.n.]. 2015.
- TAILLE, L.; OLIVEIRA, M. K.; DANTAS, H. **Piaget, Vygotsky, Wallon: teorias psicogenéticas em discussão**. 13. ed. São Paulo: Summus, 1992.
- TAYLOR, K.; TREVELYAN, J. **A Telerobot on the World Wide Web**. National Conference of the Australian Robot Association. Melbourne: [s.n.]. 1995. p. 5-7.
- TEODORO, V. D.; VIEIRA, J. P. D.; CLÉRIGO, F. C. Modellus. **Modellus**, 2011. Disponível em: <<http://modellus.co/index.php/en/download>>.
- TUCKMAN, B. W. Evaluating ADAPT: A hybrid instructional model combining web-based and classroom components. **Compute. and Education**, v. 39, n. 3, p. 261–269, 2002.
- UNESCO. **Enseñanza integrada de las ciencias en América Latina**. Montevideo. 1972.
- UNESCO PILOT PROJECT. **On New Methots and Techniques in Physics Teaching**. Annual report. [S.I.]: [s.n.]. 1964.
- USP, I. D. F. Projeto Pedagógico do Curso de Licenciatura. **IFUSP**, 2009. Disponível em: <https://portal.if.usp.br/coclic/sites/portal.if.usp.br.coclic/files/ProjPedagogicoLic2009_1.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2015.
- VANIN, V.; MAIDANA, N.; MARTINS, I. G. V. Fisfoto, 2008. Disponível em: <<http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto/index.html>>. Acesso em: 05 julho 2015.
- VUOLO, J. H. **Fundamentos da Teoria de Erros**. São Paulo: Edgard Blücher, 1996.
- WADSWORTH, B. J. **Inteligência e afetividade da criança na teoria de Piaget**. São Paulo: Pioneira, 1996.
- WOLFGRAM, D. E. **Criando em Multimídia**. Ed. Campus. Rio de Janeiro. 1994.
- YANG, K. Y.; HEH, J. S. The impact of internet virtual physics laboratory instruction on the achievement in physics, science process skills and computer attitudes of 10th-grade students. **Journal of Science Education and Technology**, 2007.

YOO, S.; HOVIS, S. **Technical symposium on computer science education**. Proceedings of the 35th SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education. New York: [s.n.]. 2004. p. 311–314.

ZÔMPERO, A. F.; LABURÚ, C. E. Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. **Ensaio**, Belo Horizonte, v. 13, n. 3, p. 67-80, setembro 2011.

ANEXOS

Anexo 1: Roteiro do experimento “Giroscópio Qualitativo”

A) Introdução ao experimento

A experiência consiste em familiarizar o aluno com os objetos físicos chamados *giroscópios* (veja o item “Introdução teórica” no Apêndice para maiores detalhes) por meio de uma análise qualitativa do seu movimento ao longo do tempo.

B) Procedimento de análise

1. Veja o(s) filme(s) referente(s) à experiência. Atente para o *movimento de precessão* do giroscópio.
2. A partir das fotos disponibilizadas no site, monte a tabela com os valores de θ_p (ângulos de precessão) seguidos dos respectivos instantes de tempo.

Importante:

a) No filme, você observou o movimento do giroscópio e constatou que ele completou várias voltas. Entretanto, a fim de diminuir erros de paralaxe⁴ e também a influência do movimento de nutação (que pode tornar a análise mais complexa) nos dados, as fotos contemplam o movimento do giroscópio dentro de um quadrante apenas (figura 1).

b) Serão utilizadas somente a primeira e última fotos de cada volta. Com isso, você irá obter (para cada volta) duas posições do giroscópio com os respectivos instantes de tempo.

c) O círculo sobre o qual o giroscópio realiza o movimento foi inteiramente dividido em intervalos de 15°. Portanto, não é possível ter uma precisão muito boa na determinação do ângulo. Recomendamos que você divida (de forma imaginária) o intervalo em 3 partes, cada um correspondendo a 5°. Com isso, a posição do giroscópio sobre o círculo será dada por múltiplos de 5° (ex: 205°, 315°, etc). Adote a incerteza nesse valor como sendo 2,5° e lembre-se que todos os valores de ângulos em graus (°) devem ser convertidos para radianos.

3. Com a tabela do item anterior montada, calcule a velocidade angular média (de precessão) para cada par de fotos de cada volta (serão usadas a primeira e última foto), dada por:



Figura 1 – Restrição do movimento do giroscópio a um quadrante para atenuar erros de paralaxe e os efeitos do movimento de nutação. A parte mais escura da foto representa o quadrante da análise.

⁴ Erros de paralaxe são aqueles cometidos quando o observador, o objeto observado e mesmo o instrumento de medida (no caso específico dessa experiência, o círculo sobre o qual o giroscópio realiza o movimento cumpre o papel de “instrumento de medida”) não estão alinhados corretamente. Em consequência, os dados experimentais e, portanto, os resultados experimentais apresentam um desvio em relação aos valores verdadeiros.

$$\bar{\omega}_p = \frac{\Delta\theta_p}{\Delta t} = \frac{\theta_{final} - \theta_{inicial}}{t_{final} - t_{inicial}}. \quad (I)$$

Essa será a velocidade no instante médio, dado por:

$$\bar{t} = \frac{t_{final} + t_{inicial}}{2}. \quad (II)$$

Construa uma tabela de $\bar{\omega}_p$ e \bar{t} , determinando também a incerteza na velocidade angular considerando nula a incerteza no tempo (veja, na página “Guias” do site de experimentos, o “Roteiro de Cálculo de Incertezas” para maiores informações).

4. O objetivo agora é analisar o comportamento no tempo dos valores de $\bar{\omega}_p$ (velocidade angular de precessão) obtidos anteriormente. Registre no seu relatório a resposta à seguinte pergunta: em sua opinião, a velocidade de precessão aumenta, diminui ou permanece a mesma?

5. Com os valores de \bar{t} e $\bar{\omega}_p$ obtidos no item 3, construa um gráfico de $\bar{\omega}_p$ x \bar{t} . Embasado nele, o que se observa em relação ao comportamento de $\bar{\omega}_p$ (aumenta, diminui, não acontece nada)? Essa resposta é compatível com a resposta do item 4?

6. Busque uma possível explicação para o comportamento observado. (Dica: leve em consideração a expressão 3 presente na “Introdução Teórica” e questione o que ocorre com as outras grandezas relacionadas à $\bar{\omega}_p$). As suas conclusões são compatíveis com as expectativas teóricas? Justifique.

C) Procedimento de elaboração do relatório

Entregue um relatório com os seguintes itens:

1. *Introdução*: apresente uma introdução resumida contendo o objetivo do experimento.
2. *Descrição do experimento*: descreva o arranjo experimental de forma sucinta, não deixando de mencionar os principais dispositivos e componentes utilizados assim como suas características.
3. *Análise de dados e resultados obtidos*: apresente os dados brutos extraídos da análise inicial do conjunto de fotos (tabela do item 2). Posteriormente, exiba a tabela construída no item 3, assim como o gráfico associado. Com todas essas informações, responda às questões referentes aos itens 4, 5 e 6.
4. *Conclusão*: volte para a introdução e atente para o objetivo do experimento. Escreva a conclusão se perguntando: “a experiência conseguiu atendê-lo? Por quê?”.

D) Apêndice

1. Introdução teórica

Um giroscópio típico é composto de um disco (geralmente chamado de volante ou rotor) atravessado, no seu centro, por uma haste de comprimento qualquer, mas de forma a ser dividida em duas partes

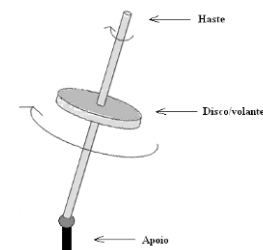
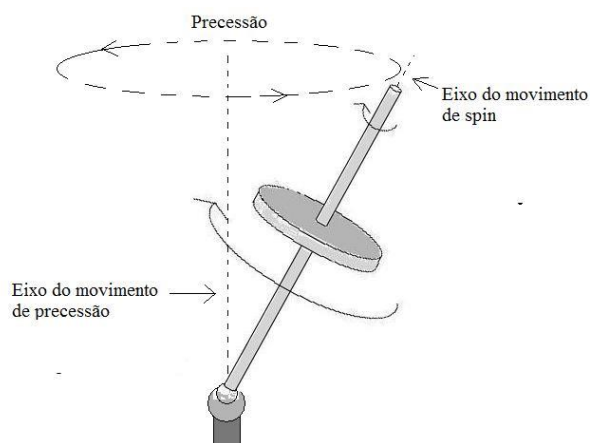


Figura 2 – Esquema e componentes básicos de um giroscópio.

iguais (figura 2). O disco então é colocado em rotação e, dependendo da rapidez do giro, observa-se que o conjunto adquire uma certa estabilidade, quando o senso comum diria que ele cairia.

O caso de um pião de brinquedo ou mesmo a forma do giroscópio utilizado nessa experiência assemelha-se à configuração daquele mostrado na figura 2, mas com a diferença da inclinação do eixo de rotação (spin) não ser vertical (figura 3). Percebemos então a existência de dois movimentos: o primeiro relacionado ao eixo de rotação que passa pela haste, denominado movimento de spin, e o segundo relacionado ao eixo perpendicular ao plano no qual o giroscópio realiza o movimento, chamado de precessão (eventualmente, pode haver um terceiro tipo de movimento, o de nutação; entretanto, para os fins dessa experiência, a consciência dos dois tipos anteriormente mencionados já é o suficiente).



Não nos aprofundaremos tanto em teoria, mas vale lembrar (e pode ser mostrado) que para um giroscópio a velocidade de precessão ω_p é dada teoricamente por:

$$\omega_p = \frac{Mgd}{I\omega_s}, \quad (\text{III})$$

onde M é a massa do giroscópio, g o módulo da aceleração de gravidade local, d a distância de uma extremidade da haste até o centro de massa do volante (coincidindo aproximadamente com o ponto em que a haste atravessa o disco) e I a inércia rotacional do giroscópio em relação ao eixo relacionado ao movimento de spin.

Referência Bibliográfica

VUOLO, José Henrique. *Fundamentos da Teoria de Erros*. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1996.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. *Curso de Física Básica: 1 – Mecânica*. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.

Figura 3 – Eixo de spin não vertical. Situação da qual participam os peões de brinquedo e o próprio giroscópio dessa experiência.

Anexo 2: Roteiro do experimento “Giroscópio Quantitativo”

A) Introdução ao experimento

O experimento consiste no estudo do movimento de uma roda de bicicleta que gira em torno do seu próprio eixo e está apoiada num suporte metálico fixo ao chão. Nessa situação ela se comporta como um giroscópio e o objetivo é estudar os movimentos de spin e precessão bem como a relação entre eles.

B) Procedimento de análise

Importante: Você analisará duas voltas dadas pelo giroscópio no seu movimento de precessão. Dessa forma você deve realizar as tarefas descritas em todos os itens citados abaixo para cada volta individualmente.

1. Assista ao vídeo da experiência. Note a existência de uma marcação na roda que será usada posteriormente para o cálculo da velocidade de spin.

2. A partir das fotos extraídas do vídeo, construa uma tabela dos ângulos (θ_p) descritos pela extremidade do eixo em função do tempo. É importante notar que o vídeo mostra as *voltas completas* do giroscópio enquanto as fotos referem-se ao *movimento descrito apenas num quadrante*. Isso visa amenizar erros de paralaxe bem como a influência do movimento de nutação. O giroscópio foi apoiado sobre um círculo de referência, o qual é dividido em intervalos de 5° . Dessa forma pode-se adotar a incerteza na posição como sendo $2,5^\circ$.

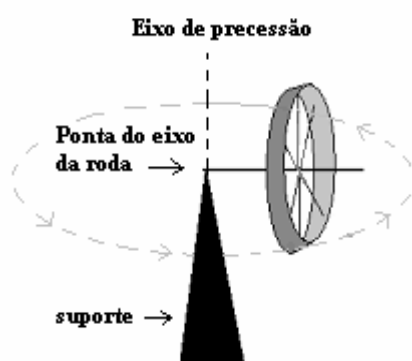


Figura 1 – Movimento de precessão da roda, que está apoiada (e não presa) ao suporte.

3. Usando a tabela do item 2 calcule a velocidade média de precessão ($\bar{\omega}_p$) para um intervalo $[t_{i-1}; t_{i+1}]$ - veja a figura 1. Para tanto, use:

$$\bar{\omega}_{p[t_{i-1}; t_{i+1}]} = \frac{\Delta\theta_p}{\Delta t} = \frac{\theta_{i+1} - \theta_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}}. \quad (\text{I})$$

Assumiremos que essa velocidade será a velocidade instantânea $\omega_p(\bar{t}_i)$ no instante médio

$$\bar{t}_i = \frac{t_{i+1} + t_{i-1}}{2}. \quad (\text{II})$$

Determine a incerteza em $\omega_p(\bar{t}_i)$ considerando nula a incerteza no tempo (veja na página “Guias” do sítio de experimentos o “Roteiro de Cálculo de Incertezas” para maiores informações).

4. Calcule a média dos valores obtidos para $\omega_p(\bar{t}_i)$ no item anterior. Calcule a incerteza como o desvio padrão da média.

5. Para calcular a velocidade de spin observe a marca feita na roda. É um tanto difícil de notá-la, mas veja as fotos várias vezes na seqüência até acostumar-se com a marcação. Para facilitar, foram selecionadas de antemão duas fotos para cada volta. Elas correspondem à posição da fita num instante inicial e num instante final (respectivamente), isto é, a fita apareceu na primeira

foto, a roda realizou uma volta e então a fita apareceu novamente na segunda foto. Com os dois tempos fornecidos, será possível calcular o período de rotação da roda em torno do seu próprio eixo e posteriormente a velocidade de spin a partir de:

$$\omega_{spin} = \frac{\Delta\Theta}{\Delta t}, \quad (\text{III})$$

onde $\Delta\Theta$ é o ângulo total subentendido pelo arco da roda e Δt é seu período de rotação.

Assumindo, nesse caso específico, que a roda deu uma volta completa temos que $\Delta\Theta = 2\pi$ e $\Delta t = T$, utilize a próxima relação para calcular a velocidade de spin da roda:

$$\omega_{spin} = \frac{2\pi}{T}. \quad (\text{IV})$$

É bom lembrar que a relação (IV) é válida para o movimento circular uniforme; no entanto, para a análise do movimento do giroscópio será feita essa aproximação.

6. Calcule a incerteza na velocidade de spin por:

$$\sigma_{\omega_{spin}} = \frac{\sqrt{2}\sigma_{\Theta}}{T}, \quad (\text{V})$$

onde a incerteza na posição σ_{Θ} deverá ser estimada de acordo com a diferença de posição aproximada entre a marcação da fita na primeira foto da roda (início do período) e na segunda foto. É considerada essa incerteza porque a fita não retorna exatamente à posição original ao final da volta.

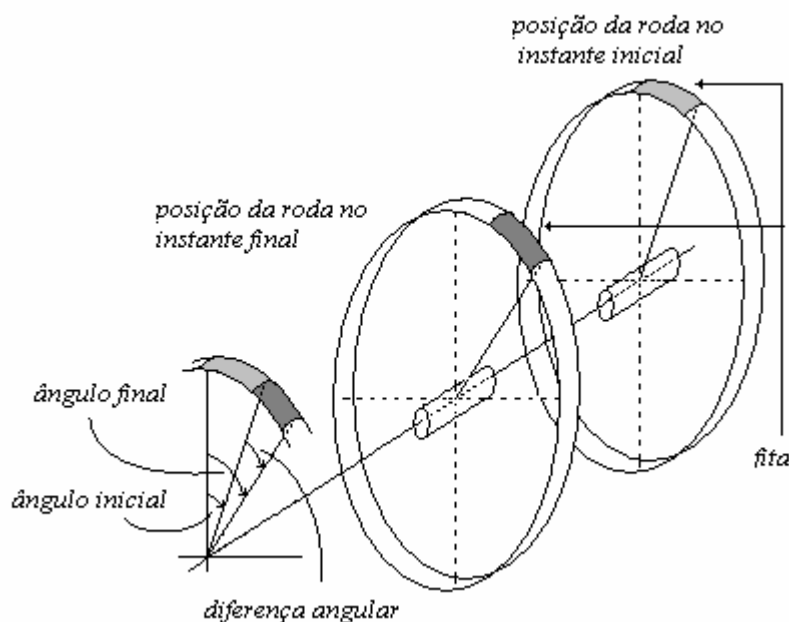


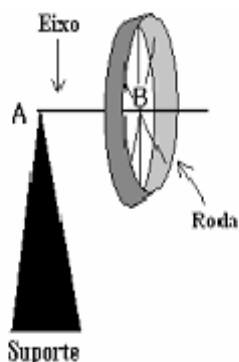
Figura 2 - Esquema frontal da roda para a determinação da diferença angular e com isso a estimativa da velocidade angular de spin.

Explique como você estimou a incerteza na posição. Para facilitar sua estimativa imagine a roda vista numa posição frontal conforme o desenho ao lado. Dica: Orientando-se pelo eixo localizado no centro da roda você pode basear-se no comprimento da fita para estimar a diferença angular, isto é, tendo a fita um comprimento de 5 cm e tendo o valor do raio da roda, é possível saber qual o ângulo subentendido por esse arco. Dessa forma, a diferença pode ser estimada como metade de uma fita, um quarto de fita, etc.

7. Construa uma tabela com os valores experimentais obtidos para a velocidade de precessão média e para a velocidade de spin. Não se esqueça de colocar na tabela as respectivas incertezas.

8. Analisando a velocidade de spin e a velocidade de precessão experimentais organizadas na tabela do item 7 verifique a relação existente entre ambas. Lembre-se da expressão a seguir para embasar sua argumentação:

$$\omega_p = \frac{Mgd}{I\omega_s}, \quad (\text{VI})$$



onde M é a massa do giroscópio, g o módulo da aceleração gravitacional, d é a distância do ponto A onde o eixo se apóia no suporte até o ponto B, onde se localiza, de forma aproximada, o centro de massa da roda de bicicleta e I é o momento de inércia⁵ da roda.

Fique atento, pois para cada situação o giroscópio teve seu eixo apoiado num ponto diferente. Assim, veja qual distância “d” deverá usar em sua análise.

Figura 3 – Esquema das partes do giroscópio.

utilizando a relação (VI).

É importante destacar que quando estiver calculando a velocidade de precessão teórica, você deverá utilizar na equação o valor experimental da velocidade de spin. O mesmo ocorrerá ao calcular a velocidade de spin teórica, isto é, será usada a velocidade de precessão experimental.

10. Calcule a incerteza para a velocidade de precessão teórica. Para isso utilize:

$$\sigma_{\omega_p} = \omega_p \sqrt{\left(\frac{\sigma_d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\omega_{spin}}}{\omega_{spin}}\right)^2}, \quad (\text{VII})$$

onde $\sigma_{\omega_{spin}}$ é a incerteza na velocidade de spin experimental calculada em (V), σ_I é a incerteza no momento de inércia e σ_d é incerteza na distância entre os pontos A e B na figura 3. A incerteza devida a massa foi desconsiderada por ser muito pequena.

Adote um procedimento análogo para a incerteza da velocidade de spin.

11. Analise os valores teóricos obtidos no item 9. O que acontece com a velocidade de precessão em relação à de spin? Lembre-se novamente da expressão (VI).

⁵O valor do momento de inércia da roda foi medido experimentalmente pois a mesma possuía um eixo interno cilíndrico que impedia o cálculo da inércia rotacional considerando-a um aro ($I = mR^2$). Acesse na página do experimento o tópico “Medição empírica da inércia rotacional da roda” que explica o procedimento utilizado para medição e depois utilize o valor fornecido para realização de seus cálculos.

Importante: Os próximos itens só deverão ser respondidos quando já estiver pronta a análise completa, até o item (11), das duas voltas do giroscópio.

12. Compare seus valores experimentais com os teóricos. Eles são condizentes? Por quê? Não se esqueça de avaliar também o valor das incertezas. Para facilitar a apresentação de sua análise comparativa sugerimos que siga o exemplo da tabela 1 do apêndice.

13. Tendo a tabela do item 12 pronta, verifique o que aconteceu com os valores das velocidades de precessão e de spin na mudança de um quadrante para outro, isto é, o que acontece com as velocidades quando o giroscópio continua dando voltas? Elas se alteram? Em caso afirmativo, eles diminuiram ou aumentaram?

C) Procedimento de elaboração do relatório

Entregue um relatório com os seguintes itens:

1. *Introdução*: apresente uma introdução resumida contendo o objetivo do experimento.

2. *Descrição do experimento*: descreva o arranjo experimental de forma sucinta, não deixando de mencionar os principais dispositivos e componentes utilizados assim como suas características.

3. *Análise de dados e resultados obtidos*: apresente os dados brutos extraídos da análise inicial do conjunto de fotos (tabela do item 2). Posteriormente, exiba a tabela construída no item 12. Com todas essas informações, responda às questões referentes aos itens 6, 8, 11, 12 e 13.

4. *Conclusão*: volte para a introdução e atente para o objetivo do experimento. Escreva a conclusão se perguntando: “a experiência conseguiu atendê-lo? Por quê?”.

D) Apêndice

Tabela 1 – Tabela de exemplo para a organização dos dados obtidos no decorrer da

| Situação | | | | |
|-----------------------|--------------------|---------------------|-------------------------|------------------------|
| VALORES EXPERIMENTAIS | | | | |
| | ω_p (rad/s) | $\sigma_{\omega p}$ | ω_{spin} (rad/s) | $\sigma_{\omega spin}$ |
| 1ª volta | | | | |
| 2ª volta | | | | |
| VALORES TEÓRICOS | | | | |
| | ω_p (rad/s) | $\sigma_{\omega p}$ | ω_{spin} (rad/s) | $\sigma_{\omega spin}$ |
| 1ª volta | | | | |
| 2ª volta | | | | |

Tabela 2 – Tabela contendo informações relevantes à execução da análise.

| Dados | | | |
|------------------|----|------------------|------------------|
| Diâmetro da roda | | (64,5 ± 0,5) cm | |
| d | D1 | Situação 4 | (7,7 ± 0,2) cm |
| | | Situação 6 | |
| | D2 | Situação 2 | (9,3 ± 0,2) cm |
| | | Situação 5 | |
| | D3 | Situação 1 | (11,0 ± 0,2) cm |
| | | Situação 3 | |
| Massa da roda | | (3460 ± 20) g | |

Anexo 3: Entrevistas

Aluno 1

- A1** Monaliza: Você lembra quais experimentos a gente fez esse semestre?
- A2** A: Tenho que falar todos? Foi primeiro roda de Inércia, Rolamento, Giroscópio Qualitativo e Giroscópio Quantitativo e agora o de comparação.
- A3** M: E você lembra o que era o giroscópio?
- A4** A: O giroscópio? Era algo animal! Era muito louco! Eu não sei definir ele.
- A5** M: Não... lembra, explica como ele funcionava.
- A6** A: Eu não consigo explicar, eu não sei explicar.
- A7** M: Não.. explica, ele girava, o que acontecia?
- A8** A: Ele tinha um suporte. Fazia ele girar e esse suporte tinha um eixo central, você colocava ele num eixo e ele começava a girar em torno desse eixo.
- A9** M: E esse eixo é o eixo do giroscópio?
- A10** A: Não, outro eixo. Tinha um eixo que o giroscópio girava ao redor e nós colocávamos esse eixo em um outro eixo...
- A11** M: Num apoio?
- A12** A: Isso! Um apoio!
- A13** M: E o outro giroscópio que a gente usou?
- A14** A: Mesmo processo...
- A15** M: A diferença era que a gente fazia ele girar...
- A16** A: Trabalho braçal!
- A17** M: E você lembra quais eram as grandezas físicas que a gente via no movimento do giroscópio? Tanto em sala como no experimento virtual.
- A18** A: velocidade angular de precessão e de spin...
- A19** M: O que você entende que é a velocidade de precessão?
- A20** A: É a velocidade que o corpo tem mas não em torno do seu próprio eixo. Em torno de um outro eixo.
- A21** M: E esse eixo seria...?
- A22** A: O apoio.
- A23** M: E a velocidade de spin?
- A24** A: A velocidade em torno do seu próprio eixo.
- A25** M: E que outra grandeza?
- A26** A: Inércia rotaional, momento angular..
- A27** M: O que você entende por inércia rotacional?
- A28** A: Tem a ver com a concentração de massa talvez, pensaria na conservação do momento angular. Quanto maior o momento de inércia, menor a velocidade angular que esse corpo teria que ter.
- A29** M: Mais alguma outra grandeza que tinha envolvida?
- A30** A: Torque?
- A31** M: E que você entende por torque?
- A32** A: Não entendo sobre torque, não entendo.
- A33** M: E se você tentasse fazer alguma analogia com o movimento linear? Não dá?
- A34** A: Analogia com movimento linear?
- A35** M: É... porque torque a gente usa quando o movimento é que tipo?
- A36** A: Movimento de rotação...
- A37** M: Pra ter um torque você precisa ter o quê?
- A38** A: Uma força, aplicada a um eixo de rotação
- A39** M: Vamos ver agora a expressão pro movimento do giroscópio. Você consegue identificar o que era cada grandeza aqui? O que era o ω ?
- A40** A: A velocidade angular de precessão.

- A41** M: E aqui o M?
- A42** A: A massa do giroscópio. G, a gravidade, d é o raio do giroscópio não?
- A43** M: O que é todo esse fator que fica na parte de cima (numerador)? É o que?
- A44** A: hum...
- A45** M: Lembra agora do experimento de comparação, esse d era o que?
- A46** A: A distância do eixo de rotação.
- A47** M: Mas isso está relacionado a precessão ou spin?
- A48** A: Spin.
- A49** M: Mas esse d seria o que no giroscópio?
- A50** A: A distância e tem o eixo onde vou apoiar no apoio. É essa distância...
- A51** M: Do eixo até o giroscópio?
- A52** A: Isso
- A53** M: E o l?
- A54** A: Inércia Rotacional.
- A55** M: E o Ws?
- A56** A: Velocidade de spin.
- A57** M: Vamos falar agora do seu relatório. Aqui na introdução, você escreveu ela mas, você lembra qual era o objetivo do experimento do giroscópio qualitativo?
- A58** A: Era pra gente ter conhecimento sobre o movimento dele. Eu nunca tinha ouvido falar sobre velocidade de precessão, eu tinha ouvido, mas não sabia o que era velocidade de precessão. Foi isso que o experimento nos forneceu.. e aprofundar também na conservação do momento angular.
- A59** M: O que a gente fazia nesse experimento?
- A60** A: A gente tinha duas fotos. Essas fotos equivaleriam a uma posição angular inicial e final, a gente tirava os dados a respeito dessa posição angular e tinha um tempo respectivo a essa posição. A partir disso a gente determinava a velocidade de.....
- A61** M: Você estava se guiando por que pra ler?
- A62** A: Um eixo.
- A63** M: Que eixo era esse? Esse eixo fazia movimento de quê?
- A64** A: De precessão.
- A65** M: Então...
- A66** A: Era velocidade de precessão.
- A67** M: Voltando pro relatório, você construiu uma tabela de posições e tempos. E com isso você falou que calculou o que?
- A68** A: A velocidade angular de precessão.
- A69** M: E o que esse gráfico que tem aqui representa?
- A70** A: Não sei.
- A71** M: Não... olha pro gráfico. É um gráfico de que por que?
- A72** A: Velocidade por tempo. A velocidade aumenta com o tempo
- A73** M: A velocidade de que?
- A74** A: A de precessão. É a de spin que vai diminuir.
- A75** M: E qual foi a ideia de construir esse gráfico?
- A76** A: Provar que a velocidade de precessão aumenta?
- A77** M: Você lembra de uma pergunta que tinha no início do roteiro?
- A78** A: Não lembro
- A79** M: Uma pergunta que era pra responder ser ter feito a análise dos dados.
- A80** A: Se a velocidade de precessão aumentava ou diminuía.
- A81** M: E o que você tinha respondido?
- A82** A: Eu não sabia, porque quando eu vi o movimento do giroscópio ele aumentava. Daí eu pensei, não a tendência é diminuir, mas o negócio aumenta, então eu não sei porque.
- A83** M: Mas você viu que aumentava quando? Pelo vídeo?

- A84** A: Isso. Porque eu entendi que a questão era essa, sem analisar os dados. Mas pressupondo que você já tenha visto o movimento dele.
- A85** M: E pelo vídeo você...
- A86** A: Ficava mais devagar e aí ganhava velocidade. E aí eu pensei, não é possível.
- A87** M: E aí depois quando você viu o gráfico você se conformou que aquilo que você tinha visto estava certo.
- A88** A: Estava certo. Isso.
- A89** M: E porque a velocidade se comporta desse jeito? Porque a velocidade aumenta?
- A90** A: Porque ela é inversamente proporcional à velocidade de spin.
- A91** M: E por que a velocidade de spin diminui?
- A92** A: Porque no momento em que você começou a girar ela, vai chegar um momento que não tem mais... ah, não sei. Não tem força exercendo sobre ele. Então devido a resistência do ar ele vai parando. Isso serve de impulso pra velocidade de precessão.
- A93** M: E por que acontece esse movimento? Desde quando você dá a velocidade de spin pro giroscópio, o que tem de grandezas envolvidas quando ele está girando?
- A94** A: Eu sei que tem torques, mas eu não sei explicar não.
- A95** M: Mas e a direção do torque ou do momento angular?
- A96** A: Não sei explicar.
- A97** M: Agora algumas questões sobre o laboratório no geral... Você acha que fazer as análises pelo [Laboratório Virtual](#) te dá alguma habilidade na leitura de medições?
- A98** A: Eu vou falar mesmo pela deficiência da minha visão. Pra mim foi um trabalho desde o primeiro até o último enxergar. Eu não enxergava direito então pra mim não alterou muita coisa não. Prefiro sentir a emoção de fazer o experimento.
- A99** M: E a prática de usar planilhas computacionais, você acha que isso foi útil? OU você já tinha costume de usar?
- A100** A: É.. já tinha o costume de usar devido o laboratório I que a gente fez e o II que estamos fazendo agora.
- A101** M: Então não contribuiu com nada?
- A102** A: Não sabia tudo, acrescentou algumas habilidades sim. Usar a função Symbol da fonte isso foi incrível, agora eu uso no laboratório de mecânica. E adicionar incerteza no gráfico.
- A103** M: E quando você olha a página dos experimentos virtuais, você já olhou a página?
- A104** A: Já.
- A105** M: E os outros experimentos, o que você achou?
- A106** A: A mesma coisa. Eu não enxergo as coisas muito bem.
- A107** M: Mas e o conteúdo dos experimentos? Você chegou a ver ou não?
- A108** A: Alguns, um pouco, sim.
- A109** M: E o que você achou?
- A110** A: A minha dificuldade é ler aquilo. É que essa foi a minha experiência de fazer a experiência virtualmente. Então pra mim isso é algo diferente. Eu preciso sentir a emoção de fazer o experimento. Apertar o cronômetro. Ver a coisa acontecer, do que algo já fornecido pra gente, analisar algo que alguém já fez, sabe. Ainda mais, você apresenta todos os dados possíveis, aí você se pergunta, de onde veio esse dado?
- A111** M: Que dados possíveis?
- A112** A: Por exemplo, eu forneço dados sobre tudo, tempo, nós usamos isso e isso. Você já fornece tudo, diferente de nós fazermos o experimento, nós vamos pegar dado um por um. Ah porque você pegaram isso? Ah porque

eu fui lá no laboratório e tinha que fazer isso porque? Daí a gente volta lá na teoria pra ver porque. Isso é algo que eu já não vi muito no virtual.

A113 M: Você acredita que quando você vê uma foto e outra foto, você está medindo? OU você não se sente medindo?

A114 A: Eu não me sinto medindo. Eu sinto que é algo fornecido e estão me mandando analisar algo que outra pessoa já fez. Eu sinto isso. Já me forneceram, agora analisa o que eu fiz! Diferente de eu analisar os meus dados. Por exemplo, eu faço uma experiência, ela faz outra, porque o seu não deu igual? Ah, olha o seu tempo. Porque certos dados de incerteza dá negativo? Ah, porque você é muito mais afobado do que eu na hora de apertar o cronômetro. Então, isso é incrível. Porque primeiro quem faz esses experimentos é uma equipe de pessoas que já conhece, tem muita experiência com isso então os dados você não vê muita coisa.

A115 M: E pensando no método você acha que em algum momento você se interessaria mais? Se você montasse?

A116 A: Não entendi a pergunta.

A117 M: Você disse que a gente que fez e a gente que colocou, se fosse você que tivesse participado da filmagem e fosse analisar os dados, você ia achar mais interessante?

A118 A: Se eu tivesse feito a experiência e eu analisado os dados? Então isso pra mim é analisar os dados. .. Não, daí perderia a emoção do experimento. Pra mim não, eu não me contentaria.

A119 M: E olhando a página dos experimentos virtuais, você acha que esse método, poderia ser usado no ensino médio?

A120 A: Acho que sim... Ainda mais devido que muitas experiências requer equipamentos sofisticados, coisa que não daria pra gente ficar carregando toda hora, por exemplo coisas que com o auxílio da internet todo mundo teria que ter. Acho que eu pensaria mais nisso. Numa maior facilidade.

A121 M: E você acha que os alunos se interessariam?

A122 A: Depende. Seria difícil pra pessoas que tenham o mesmo problema que eu, de enxergar. E vai ter pessoas que preferem fazer o experimento como eu. Não dá pra saber. Vai ter gente da turma que gosta demais do virtual, já eu não penso assim, não sei explicar. Mas por exemplo, pra uma escola, que nunca teve contato, você mostrar assim, seria uma boa forma deles analisarem e descobrirem se querem fazer o experimento agora, vamos ver se é mais legal.

A123 M: É isso, obrigada!

Aluno 2

- I1 Monaliza: Primeira coisa, você lembra das experiências virtuais que a gente fez esse semestre?
- I2 I: O primeiro foi do pesinho, ao lembro como chama, do giroscópio, a parte qualitativa e quantitativa,
- I3 M: Lembra, foi um experimento que a gente fez antes da teoria...
- I4 I: Ah sim, o de rolamento. Foram dois não foram? Um qualitativo e um quantitativo?
- I5 M: E você lembra o que era o giroscópio? O aparelho giroscópio...
- I6 I: Olha... tinha um eixo, e tinha um disco, e esse disco gira em torno do eixo, e tudo isso gira em torno...
- I7 M: E como tudo isso começava a girar?
- I8 I: Era um aro, da bicicleta, e pra fazer o movimento de precessão a gente colocou numa basesinha e aí esse movimento é o de precessão. O de spin eu não consegui medir, tradicionalmente, mas... o que eu lembro é isso.
- I9 M: O que era o movimento de spin?
- I10 I: O de spin é o que o disco faz o giro faz sobre o eixo. Sobre? Em torno dele. E o de precessão é o que ...
- I11 M: E ele fica onde pra não cair? Ele cai quando você coloca?
- I12 I: Não.
- I13 M: Ele fica apoiado, fica pendurado?
- I14 I: Ele fica apoiado numa pontinha, é uma pontinha no suporte!!
- I15 M: E você lembra que grandezas físicas estão envolvidas nesse movimento?
- I16 I: Velocidade angular de precessão, a de spin que nós calculamos a partir da parte teórica, usando a velocidade de precessão.
- I17 M: E pensando no giroscópio pequeno? Da parte qualitativa...
- I18 I: Também.
- I19 M: E que outra grandeza?
- I20 I: É a posição...
- I21 M: Mas pensando agora só no giroscópio, não pensando no experimento virtual, no aparato giroscópio. Que grandezas físicas tem ali no movimento dele?
- I22 I: Torque.
- I23 M: Torque do que, onde?
- I24 I: Quando você batia lá no aro, aí eu estou fazendo um torque e aí eu também tenho um momento angular.
- I25 M: O que é esse torque? Que grandezas envolvem nesse torque?
- I26 I: A força que eu estou aplicando, eu acho...
- I27 M: Mas você fica aplicando essa força sempre?
- I28 I: Não, eu aplico... aí tem um braço..
- I29 M: Então ele só existe nesse começo?
- I30 I: Não! Acho que não... Porque eu vou colocar ele, vai ter um braço de alavanca, que eu apliquei uma força, coloquei ele ...
- I31 M: O que é o torque? É o que? Que grandezas no torque?
- I32 I: R vetor F.
- I33 M: E essa força, que força é?
- I34 I: Eu ia falar que é a força que eu apliquei...
- I35 M: E o que mais?
- I36 I: Tem o momento angular.
- I37 M: Do quê?
- I38 I: Agora eu tenho que lembrar da aula né? Ai gente, não vou conseguir explicar o momento angular.
- I39 M: Nem a direção dele?

- I40** I: A direção vai depender de c Omo meu aro está girando... Se a roda está girando assim, o momento de spin tem que ser assim, perpendicular.
- I41** M: Vamos olhar agora o seu relatório. Você lembra o que significa cada elemento aqui na expressão? O que era esse W_p ?
- I42** I: A velocidade angular de precessão, W_s é a velocidade angular de spin, I é o momento de inércia, agora estou na dúvida se é do disco, eu acho que é do disco, a massa é do disco e o d é a distância do eixo até o pontinho lá e g é a aceleração da gravidade.
- I43** M: E esse termo aqui em cima você reconhece ele de alguma outra forma?
- I44** I: Sim, é o torque.
- I45** M: O torque, aquele torque que você falou no começo? Olha as grandezas que estão envolvidas nesse torque. É o mesmo que você falou antes? O que você tinha falado?
- I46** I: R vetor F.
- I47** M: E a força você falou que era quem?
- I48** I: Ah, é o peso! Na hora eu pensei no peso, mas daí pensei...
- I49** M: Você lembra qual era o objetivo desse experimento do giroscópio qualitativo?
- I50** I: Eu acho que foi de fato tentar relacionar as grandezas. Relacionar a velocidade angular de precessão com a de spin.
- I51** M: Isso, e o que a gente fez?
- I52** I: Tinha as fotos, daí a gente determinou apenas um quadrante lá pra fazer a leitura das posições. E aí a gente fez pra calcular as velocidades, a variação das posições encontradas, pelo tempo, o tempo também foi dado na própria figura. E aí a gente foi calculando, e pra de Spin, a gente usou o valor da precessão. Os valores da velocidade de precessão que a gente encontrou através da leitura...
- I53** M: A gente está falando do qualitativo né?
- I54** I: Então... Ah não, desculpa! No qualitativo a gente só teve que fazer a análise na verdade, ta certo.
- I55** M: E aí...
- I56** I: Estou confundindo com o próximo...
- I57** M: E aí você lembra porque a gente fez esse gráfico? Do que é esse gráfico?
- I58** I: Da velocidade angular média, provavelmente de precessão, pelo tempo.
- I59** M: E de onde vieram esses pontos?
- I60** I: Justamente dos dados que a gente coletou lá na figura.
- I61** M: E aí, qual foi a pergunta que a gente fez, pra perguntar o que você achava...
- I62** I: Se a velocidade de precessão ela aumentava ou diminuía.
- I63** M: E você achava o quê?
- I64** I: Que diminuía. Porque eu confundi com a de spin. Eu estava olhando. Aí eu pensei, se o disco gira, eu pensei no disco, vai chegar uma hora que vai diminuindo ele vai parar. Mas na verdade eu estava confundindo a velocidade de spin com a de precessão. Aí depois que eu vim na monitoria que eu descobri isso.
- I65** M: Aí você construiu o gráfico e com o gráfico o que você conseguiu perceber?
- I66** I: Que ela aumenta, e nesse caso aí o meu está com um sinal negativo mas ela é crescente em módulo. Por causa da direção, estava girando no outro sentido.
- I67** M: Você consegue explicar porque ele não cai?
- I68** I: Não lembro.
- I69** M: Pensando no spin e na precessão...
- I70** I: Eu lembro que a professora explicou, mas eu não lembro de fato. Eu não sei se é por causa do peso... eu não lembro mesmo.

- I71** M: Você acha que olhar pra foto, você realizando uma medida? É equivalente a você pegar uma régua?
- I72** I: Eu penso que estou. Porque eu estou fazendo uma leitura de alguma coisa que eu considero que eu estou medindo então é a mesma coisa de pegar uma régua e olhar um certo valor.
- I73** M: E você acha que fazendo os experimentos virtuais assim te ajudou a mexer com planilha de computador? Ou você já sabia?
- I74** I: Na planilha eu já sabia, mas alguns efeitos, fenômenos, eu não conseguia visualizar só na teoria, igual o movimento da precessão e spin. Eu fazia uma leitura diferente, então talvez se eu não tivesse feito o virtual talvez eu ficaria com aquilo na minha cabeça, aquilo que eu imaginei e não com o que de fato acontecia.
- I75** M: Você se convenceu?
- I76** I: Sim, e também na parte do rolamento. Quando ele volta e a velocidade passa a ser constante naquele instante e que tem que ser o mesmo instante lá.
- I77** M: E pensando em planilha na parte técnica mesmo...
- I78** I: Essa parte eu já sabia...
- I79** M: É útil fazer no Excel?
- I80** I: É útil, é muito útil.
- I81** M: Você já chegou a olhar a página dos experimentos?
- I82** I: Não olhei.
- I83** M: E você acha que essa metodologia do [Laboratório Virtual](#), de filmar, trabalhar com fotos, alguns experimentos mais simples, no caso de movimento de translação, que a gente tem no site, você acha que isso poderia por exemplo ser usado com aluno de ensino médio.
- I84** I: Pode.
- I85** M: Você acha que eles iam entender? Precisaria adequar?
- I86** I: Olha, eu acho que depende, é que eu não olhei. Esse do trilho de ar, claro, talvez precise dar uma orientação na questão da leitura alguma coisa assim mas eles são muito capazes de fazer sim. Agora, alguns como eu, por exemplo, vou precisar vir na monitoria mesmo.
- I87** M: Você acredita que as experiências virtuais que a gente fez esse ano, não só a do giroscópio, ajudaram você a compreender um pouco melhor a teoria te ajudaram para compreender algum fato que era explicado na teoria ou que ia ser explicado. Isso te ajudou?
- I88** I: Ajudou porque, por exemplo, quando foi explicada a parte do rolamento que falou daquele tempo porque poderia igualar as duas equações já era muito mais fácil aceitar. Assim, você conseguia visualizar porque os tempos eram iguais. E talvez, se fosse só lá na aula, talvez só aceitasse mas talvez não visualizasse e no experimento pode ser visualizado. E do giroscópio, eu errei muito nele, eu via a precessão no spin, o spin na precessão, então fazia tudo ao contrário, então de fato ajudou. No rolamento eu consegui ver que ele desliza, porque não é tão fácil, então, ajudou bastante.
- I89** M: Você acha que a proposta dos experimentos estava deslocada ou estavam encaixando bem?
- I90** I: Bem encaixados. Ajudou mesmo.
- I91** M: Você prefere mais o laboratório tradicional, ou o virtual ou depende?
- I92** I: Então, eu acho que o virtual ele é legal mas o tradicional também é legal. Então, não sei se existe um melhor.
- I93** M: Em que momentos você acha que é interessante um e é interessante o outro? Na nossa proposta assim, você acha que é interessante ele? Se encaixa, se enquadra? OU seria mais adequado fazer um laboratório presencial?

- I94** I: Eu acho o virtual viável, pra proposta que nós tivemos foi muito viável, não sei se precisaria mudar. Eu acho que o virtual alcançou o objetivo que foi proposto. O [Laboratório Virtual](#) ajuda o aluno a ter mais tempo pra se preocupar com a parte teórica do que apenas ficar fazendo medidas.
- I95** M: E sobre o tradicional?
- I96** I: No tradicional, você fica muito preocupado em medir, então você faz o cálculo, aí deu errado, porque você quer que dê certo com a teoria, aí dá um absurdo, então você volta e as vezes você não se preocupa com a teoria e com porquê que aquilo aconteceu. Então a gente fica muito ligado na medida, na medida, e esquece de estudar o fenômeno em si, porque que aquilo ali aconteceu. E no virtual tem mais tempo pra isso. Quando eu fiz o do rolamento, o que aconteceu, a gente foi pensar, mas foi? Deslizou? Eu não vi. Aí você volta. Não, deslizou. Aí você começa a ver. E aí quando vai mesmo, você vai percebendo, aí depois que você pega as medidas então eu sei por quê. Até fazer o relatório fica mais fácil, porque você já entendeu o conceito. Quando você vai fazer o relatório do laboratório você as vezes não consegue porque você não entendeu, você tirou as medidas mas não entendeu o conceito. Por exemplo, em laboratório de eletromagnetismo tinha que fazer tudo na hora, inclusive os gráficos, então eu saía de lá e pensava, o que vou escrever no relatório. Porque as vezes você ficou tão preocupado com a medida que você esqueceu do fenômeno, o que explica o fenômeno. E aí depois que você vai procurar entender.

Aluno 3

- R1** Monaliza: Você lembra quais experimentos a gente fez esse semestre?
- R2** R: Giroscópio Quantitativo, a do aro que você joga, não lembro o nome, aro de inércia? Rolamento com escorregamento e sem escorregamento, a roda de inércia. E agora o quinto que é a comparação.
- R3** M: Do giroscópio eram dois, você lembra qual era o primeiro?
- R4** R: Ah, que tinha um qualitativo.
- R5** M: Você lembra o que era o giroscópio?
- R6** R: O giroscópio que a professora levou na sala?
- R7** M: Pode ser..
- R8** R: Então, ele tem uma base, que é um conezinho. Aí ele tem aro assim que é mais de enfeite eu acho, e tem um aro compridinho que tem um disco que passa bem no meio dele. Aí a professora enrola uma linha, nessa haste que ela é móvel, e puxa, segurando nessa parte que é de enfeite, coloca ele pra girar e apoia nessa basesinha de cone.
- R9** M: E aí o que acontece?
- R10** R: Aí você coloca na posição que você quiser que ele não cai! Ele gira em torno do seu próprio eixo, que é aquela velocidade de spin né? E cria um movimento de precessão.
- R11** M: E você lembra quais eram as grandezas físicas que a gente via no movimento do giroscópio? Desde quando você coloca ele pra girar.
- R12** R: Primeiro momento quando você puxa a linha, ele tem primeiro um movimento de spin, velocidade. Aí quando você coloca ele na base você cria um movimento de precessão. Que é em torno, não do seu próprio eixo, mas em torno de um eixo perpendicular ao cone. Aí tem a velocidade de precessão, a de spin e tem o atrito com o ar também.
- R13** M: E nem uma grandeza mais? Como é que ele começa girar o que acontece?
- R14** R: Ah, o torque com peso. Pelo que eu me lembro assim, vagamente, tem a aceleração centrípeta, eu acho, não lembro, porque é o torque com o peso que faz com que ele crie esse movimento.
- R15** M: O torque do peso se combina com que outra grandeza que tem no movimento do giroscópio? Se ele tem velocidade angular que outra grandeza aparece?
- R16** R: Aceleração angular... momento de inércia!
- R17** M: O momento de inércia é equivalente a massa do giroscópio... momento angular, lembra?
- R18** R: Ah, ta...tinha, mas eu não lembrava do momento angular.
- R19** M: Olhando pra expressão você lembra o que era cada grandeza?
- R20** R: A velocidade angular de precessão é igual a massa vezes a gravidade, a massa do giroscópio, a distância que é do ponto de apoio até o disco, o I é o momento de inércia do giroscópio e a velocidade angular de spin.
- R21** M: O que é todo esse fator que fica na parte de cima (numerador)? É o que?
- R22** R: Momento angular? Não... não lembro.
- R23** M: Você lembra qual era o objetivo do giroscópio qualitativo?
- R24** R: O primeiro foi pra entender como ele funcionava. O objetivo era saber como ele funcionava, o que estava acontecendo com ele.
- R25** M: Funcionava em que sentido?
- R26** R: O que fazia ele girar, porque ele girava, quais as grandezas que tinham, o que era velocidade de spin, o que era velocidade de precessão. Entender todo o funcionamento.
- R27** M: E o que você analisava?
- R28** R: As grandezas que estavam atuando sobre ele e basicamente o porquê que ele funcionava daquele jeito.

- R29** M: E você lembra como e porquê você construiu esse gráfico? De onde veio os dados pra construir esse gráfico?
- R30** R: Esse gráfico é da velocidade angular em função do tempo. A velocidade angular de precessão. Tanto é que a gente tinha aquela basesinha colorida embaixo e a gente analisava parte do movimento de precessão em função do tempo.
- R31** M: E que grandeza você analisava na foto? O que você lia na foto?
- R32** R: A posição que ele andava em radianos, não, em graus e a gente convertia pra radianos.
- R33** M: E o que o gráfico está dizendo?
- R34** R: Esse é o gráfico de precessão, então ele está dizendo que a velocidade de precessão está aumentando.
- R35** M: E você, quando começou a fazer os experimento esperava que isso acontecesse?
- R36** R: Eu não lembro na época o que eu pensei. É que agora eu já sei.
- R37** M: Quando a gente perguntava, olhando o vídeo do giroscópio o que você acha que acontece com a velocidade de precessão.
- R38** R: Eu tinha a impressão que era a mesma. De que a velocidade de precessão não mudava. É que nós olhamos apenas uma parte das fotos, então eu tinha a impressão que a velocidade de precessão se mantinha constante até ele cair.
- R39** M: Aí ele caía?
- R40** R: É que a professora mostrou pra gente, chegava uma hora que ele caía.
- R41** M: E você não reparou como se comportava essa velocidade?
- R42** R: Não, na aula não, só depois que eu descobri.
- R43** M: Então na sua cabeça ela era constante.
- R44** R: Era.
- R45** M: Quando você percebeu que essa velocidade aumentava, porque ela aumentava?
- R46** R: Porque, analisando a fórmula dava pra ver a velocidade de precessão é inversamente proporcional à velocidade de spin, então aí a gente conseguiu entender que tinha forças atuando, forças dissipativas, atrito com o ar, atrito com o próprio ponto de apoio, não como apoio que ele não estava girando ali, mas enfim..
- R47** M: Com a própria haste?
- R48** R: Sim, mas é que essas hastes estavam presas, nesse outro arco de enfeite, então naquelas pontinhas tem o atrito, tem atrito com o ar, então a velocidade de spin vai diminuindo, então consequentemente a velocidade de precessão tinha que aumentar.
- R49** M: Você olhando pra foto, você acha que está realizando uma medida? Por exemplo, eu pegar uma régua e medir, agora, você olhar pra foto lá onde tinha o transferidor, você acha que está fazendo uma medida?
- R50** R: Analisando só as fotos, é uma forma de medida mas eu não acho que ela condiz com a realidade. Porque por exemplo, eu lembro muito da roda de inércia, que gerou muito conflito na hora de fazer, porque como as vezes a filmagem borra, você não tem uma precisão e sua medida é muito vaga na hora que você apresenta, agora uma coisa como o giroscópio por exemplo, a velocidade dele não é tão alta quanto a da roda de inércia, então dava pra você ver um pouco melhor, então sim, é uma forma de você medir.
- R51** M: Mas por exemplo, você falou da roda de inércia, mas você acha que você olhando pra ela, teria conseguido aquele valor?
- R52** R: Ah não, com certeza não. Olhando assim não tem como.
- R53** M: Como você classificaria esse tipo de medida? Pela foto e a medida de você mesma olhando o equipamento. Porque você falou que é diferente, não é a mesma coisa.

- R54** R: Porque assim, na roda de inércia, se eu fosse olhar ali direto eu não ia conseguir medir. Eu teria que arrumar algum método que eu não sei qual. Mas não dá pra medir porque é muito rápido. O giroscópio também, a nossa percepção assim é difícil de analisar. Agora com a foto assim você tem as partes pontuais só que eu acho que elas não são precisas.
- R55** M: Você acha que as fotos não são precisas?
- R56** R: Não tão precisas.
- R57** M: O que seria mais preciso?
- R58** R: Por exemplo, no giroscópio, quando você bate uma foto ele está um pouquinho borrado, então você não tem uma medição precisa. Você tem a incerteza muito grande. Porque num certo ângulo ele pode estar variando de meio a um grau.
- R59** M: Mas você está levando em conta o tempo entre essas medidas?
- R60** R: Sim, porque tem o tempo marcadinho lá... mas até aí...
- R61** M: Se a foto fosse menos borrada, você acha que seria mais preciso?
- R62** R: Ah sim sim, seria mais preciso. Acho que o que dificulta mesmo, infelizmente, é o movimento ...
- R63** M: Se fosse por exemplo com uma câmera que ... primeiro, você entende como que são feitas aquelas fotos com o tempo?
- R64** R: Vocês filmam primeiro, da filmagem vocês tiram as fotos.
- R65** M: Você entende que as fotos, a precisão que a nossa câmera tinha, ela tira 30 fotos a cada segundo do movimento.
- R66** R: Ah, eu não sabia disso.
- R67** M: São 30 fotos a cada segundo. Então eu seleciono, claro, eu não te dou todas, se o movimento tem 10 segundos eu não vou te dar 30 vezes 10 fotos pra analisar. Mas o vídeo inteiro do movimento a gente chega a ter 300 fotos, muitas fotos, então quando eu faço a análise de todas as fotos, eu vou ter muitos pontos, diferente de vocês que a gente seleciona 15 fotos. Mas no movimento como um todo foram tiradas 30 fotos por segundo. Porque a câmera só dava isso. Mas eu posso ter, dependendo da câmera, 120 fotos por segundo.
- R68** R: Ah, eu não sabia que era assim, então muda de figura o caso. Porque se você for pensar, você disponibiliza 15 fotos isso não equivale a nem um segundo.
- R69** M: Ah, mas eu pego intercalado.. Pego uma, pulo 10, pego uma, pulo 10...
- R70** R: Sim, mas se você for analisar e juntar essas 15 fotos, é equivalente a nem um segundo de filmagem, então pega tempos muito espaçados e as vezes não pega a melhor foto também, tem essa também, tem que dificultar um pouquinho. Mas pensando nesse caso, se fosse analisar essas 300 fotos...
- R71** M: Mas eu não sei se analisando todas melhoraria o que você falou de ser borrado. O que teria que ser mudado é qualidade da câmera, ou diminuir o movimento. Porque essa câmera se o movimento é muito rápido, ela vai borrar de qualquer jeito, agora se a câmera pega mais quadros por segundo, ela não vai borrar tanto, porque o borrão vai se transformar em fotos.
- R72** R: Sim...
- R73** M: Por isso que eu dizia que eu não conseguia entender você dizer que não era preciso. Nós tiramos 30 fotos por segundo...
- R74** R: Mas é que essa informação eu não tinha, entendeu.
- R75** M: E aqui na roda de inércia, se você for olhar, existem várias marcações dentro do mesmo milímetro, aí quando fica rápido claro, fica um borrão, mas é porque a gente não teve a capacidade de extrair mais fotos dali.
- R76** R: Ah, entendi.
- R77** M: Ficou bom porque agora eu vou classificar isso como não preciso como a dificuldade de leitura.

- R78** R: Muita gente teve dificuldade, a roda de inércia foi o pior na minha opinião, pra enxergar mesmo. Chegou uma hora que você ia pelo ponto mais escuro, então eu deduzo que o traço está aqui. Chegava um momento que estava tudo na mesma escala de cor, daí e agora? Então você tinha uma incerteza de 2 ou 3 graus. É muita coisa!
- R79** M: É engraçado que o fato de você estar analisando uma foto você já quer que dê uma coisa muito boa, e as vezes não pensa que se fosse fazer por conta já nem ia ter essa precisão. Só no olho próprio já não ia enxergar.
- R80** R: Sim.
- R81** M: A pessoa vai ficando mais exigente!
- R82** R: Sim! É verdade.
- R83** M: E trabalhar com os experimentos virtuais, você acha que aprendeu a usar mais as planilhas de computador? Ou você já tinha habilidades?
- R84** R: Não.. aprendi bastante coisa. Barra de erro principalmente, era uma coisa que eu não tinha a menor ideia, fazer fórmula, e a construir gráfico na verdade. E olha que assim, eu já tinha um Excel avançado só que caiu em desuso, há muitos anos eu não mexia, então um dia, num passado eu sabia. Foi bom pra eu lembrar na verdade, foi bem útil.
- R85** M: Você chegou a ver os outros experimentos do site ou você nem olhou?
- R86** R: Não, eu não fuzei.
- R87** M: Você acha que o método assim, do [Laboratório Virtual](#), daria pra ser aplicado no ensino médio? Ou você acha muito abstrato? Por exemplo, tem experimentos de translação, ... tudo no mesmo esquema de fotos, pra analisar posição e tempo. Você acha que alguma coisa desse tipo daria pra ser feita com alunos do ensino médio?
- R88** R: Daria, mas você precisaria fazer o experimento na frente deles também.
- R89** M: Você acha que só aquele vídeo geral não convence?
- R90** R: Assim, eu dou aula, então analisando os alunos que eu tenho, não, eles são bem curiosos, acho que eles gostariam de ver a coisa funcionando bem ali. Sempre fica aquela coisa, de é só o vídeo. Não é aquela coisa real, que eles podem pegar, tocar, estudantes que estão trabalhando com física eles gostam muito disso. Eles gostam de uma coisa mais real e palpável. Quando você trabalha muito só com teoria, eles ficam meio assim, é difícil pra montar na cabeça dele, então eles preferem uma coisa bem real e palpável. Que eles possam ver de verdade.
- R91** M: Você prefere qual laboratório? Tradicionalmente ou virtualmente? Ou depende do momento?
- R92** R: Eu acho que depende, esses por exemplo, eu acho que foram bem legais.
- R93** M: Você acha que coube na proposta da disciplina?
- R94** R: Não, perfeitamente. Coube sim. Foi legal porque eu fiz um tradicional, e os outros eu fiz todos virtuais, então, não me fez falta o tradicional assim dos outros. Foi uma coisa que mesmo sendo virtual eu não precisei daquela coisa física.
- R95** M: Você acha que ele complementava alguma coisa que estava sendo feita na sala? Ou era totalmente deslocado do assunto das matérias que ela dava?
- R96** R: Não, pra mim estava totalmente de acordo. O que ela falava em sala eu conseguia ver no [Laboratório Virtual](#). Muitas coisas que ela comentava em sala de aula que pra mim era muito abstrato, era difícil de enxergar, muitas vezes eu consegui ver no experimento virtual. Como da roda que você joga no chão, eu não conseguia visualizar algumas coisas, o rolamento com escorregamento, mas como só escorregando e girando? Eu não entendia exatamente, mas ali eu conseguia ver o que ela estava querendo dizer.
- R97** M: Em que momentos você acha que seria interessante o [Laboratório Virtual](#), e quando seria interessante o laboratório tradicional?

- R98** R: É difícil porque eu tive bastante dificuldade com os experimentos do laboratório I, entendeu? Mas a minha dificuldade maior era mesmo na parte dos cálculos, e as vezes eu me perdia mesmo no experimento. Porque fica aquela coisa, aquela tensão de você querer fazer tudo certinho, agora quando é uma coisa mais descontraída, como foi aqui, fluiu perfeitamente, então depende muito do tipo de experimento e do objetivo.
- R99** M: E você acha que esses experimentos aqui, tipo rolamento, roda de inércia, teria como ser feito no laboratório tradicional? Alguma teoria de mecânica bate com os experimentos que você está fazendo no laboratório?
- R100** R: Ah, eu não fiz ainda...
- R101** M: Obrigada!

Aluno 4

- N1** Monaliza: Você lembra dos experimentos que foram realizados esse ano?
- N2** N: Teve aquela do rolamento com escorregamento, na verdade tinha um aro e a gente jogava o aro de forma que ele rotacionava com a velocidade angular de forma contrária a velocidade normal aí a velocidade angular fazia com que a velocidade normal diminuísse e depois aumentasse no sentido da trajetória enquanto a velocidade angular ia diminuindo quando tinha atrito aí depois permanecia constante então ele voltava. Tinha aquele que tinha dois discos que você enrola uma coisinha no disco, é uma cordinha que tem um pesinho, aí quando você solta esse arranjo, o peso faz uma força e essa força como tem um bracinho exerce um torque e faz aquele negocinho girar; a força peso é a força resultante então é da força resultante peso que vem o torque resultante, que faz o negocinho girar dá pra descobrir a aceleração angular, essas coisas. Então começou os giroscópios, eu não lembro a ordem. Teve o giroscópio qualitativo e o giroscópio quantitativo, e o comparativo agora.
- N3** M: Você lembra o que era o giroscópio? Consegue descrever ele?
- N4** N: É um dispositivo que tem uma haste, no centro dela tem um arinho, dentro do arinho tem outro arinho que você pode enrolar uma cordinha aí quando você puxa essa cordinha esse arinho de dentro começa a girar muito rápido e então a gente chama esse negócio de spin, é a velocidade de spin dele. Aí quando você coloca ele apoiado com o bracinho o capeta faz ele ficar parado e não cair e ele começa a girar de uma forma muito estranha e aparece a velocidade de precessão, provavelmente é o capeta que faz ele girar desse jeito.
- N5** M: Você consegue relacionar que grandezas físicas aparecem nesse movimento?
- N6** N: Bom, eu exerço uma força na cordinha, quando eu puxo a cordinha, por mais que seja pequeninha tem um torquesinho aí faz ele girar. Quando você gira ele passa a ter momento angular lá dentro e é por causa dele que quando você apoia o giroscópio ele não cai. A força peso realiza um torque diferente do outro. Esse torque da força peso, como o momento angular dele, mantém ele equilibrado ...
- N7** M: Que momento angular é esse?
- N8** N: Relacionado ao spin... O torque do peso faz com que ele tenha um movimento de precessão ... Aí eu saberia desenhar... Quando ele está apoiado tem a força normal, mas ele não realiza nada importante na hora do movimento do giroscópio.
- N9** M: Olhando para a expressão do movimento do giroscópio você lembra o que era cada grandeza?
- N10** N: Lembro. ω_p é a velocidade angular de precessão, aí o respectivo no denominador é a velocidade angular de spin que é a velocidade do arinho de dentro, I é o momento de inércia dele, M é a massa do giroscópio como um todo, g é a gravidade e d é a distância do centro de massa até o ponto de apoio.
- N11** M: E você reconhece todo esse fator acima de algum outro jeito?
- N12** N: É alguma coisa relacionada ao torque né? Do peso. E faz sentido pensar naquilo como se fosse o torque porque o torque do peso é o que faz ele ter a velocidade de precessão, então quando maior o torque do peso maior a velocidade de precessão, acho.
- N13** M: Você lembra qual o objetivo do giroscópio qualitativo?
- N14** N: Vagamente. Na verdade eu lembro que a gente tinha várias fotos e podia ver ele de cima. Quando você via ele de cima você ia vendo a posição dele conforme o tempo então dava pra você descobrir o quanto o deslocamento angular dele, daí se você dividisse pelo tempo, você descobre a velocidade de precessão e a partir disso com a fórmula do giroscópio você descobre a velocidade de spin que eu acho que era o objetivo.
- N15** M: E você lembra qual era a pergunta que você tinha que responder antes de fazer o relatório?

- N16** N: Ah era, essa eu lembro. Mas era um negócio assim, você acha que a velocidade de precessão, aumenta ou diminui? E aí no começo eu lembro que é óbvio que eu respondi que eu achava que diminuía, porque sei lá, pra mim sempre acho que diminui. Toda vez que você joga alguma coisa coloca alguma coisa em movimento você acha que ela vai parar e eu achava que ia parar por causa dos atritos dele com ele mesmo, dele com o apoio, dele com o ar, essas coisas, mas não.. Na verdade, como é .. tem lá os motivos nas fórmulas mas ele na verdade não faz isso ele aumenta a velocidade de precessão ...
- N17** M: Mas o que são os motivos da fórmula? Porque é inversamente?
- N18** N: Deixa eu pensar. Você tem um momento angular e outro momento angular e daí soma. E essa soma aqui ... eu não lembro. Eu tenho um momento angular em uma direção , um instante depois ele está numa direção diferente, como essa variação foi pequena, você admite que o módulo não variou e essa soma é algo que foi alterado única e exclusivamente a direção e o que altera isso é a força peso, o torque da força peso . E vai daí .. não lembro as passagens matemáticas... mas lembro que é uma coisa assim.
- N19** M: E você lembra porque a gente fez esse gráfico?
- N20** N: Da velocidade de precessão com o tempo? Porque fazendo esse gráfico a gente ia ver que na verdade ela cresce com o tempo e não diminui.
- N21** M: E você se convenceu?
- N22** N: Convenci.
- N23** M: Porque então a velocidade se comporta desse jeito? Porque ela aumenta?
- N24** N: Então, porque se você analisar a fórmula ela é inversamente proporcional a velocidade de spin e a velocidade de spin é que diminui porque ela que você dá pro giroscópio e daí tem o atrito dele com ele mesmo, e a resistência do ar e essas coisas e ela que vai diminuindo e aí como ela que é inversamente proporcional a outra cresce a medida que ela diminui.
- N25** M: Você acha que quando você está olhando as fotos, você acha que está realizando uma medida?
- N26** N: Eu não diria que é equivalente mas eu me sinto fazendo uma medida. Quando você está na experiência, como negócio girando na sua frente acho que você se sente mais próximo. Com esse aí, sei lá, eu não estava entendendo o que estava acontecendo muito de verdade assim, eu estava vendo ah que legal está apoiado no chão aí eu vi o vídeo, o que é isso ! então que eu entendi! É diferente fazer uma medição de uma medição real. Porque nessa eu me sinto um pouco mais longe. Mas eu não acho que isso seja um fator ultra determinante. Por exemplo os físicos que analisam dados de máquinas que ele não têm. Por exemplo, aqui no nosso instituto nós não temos dados bons como o do LHC, eu acho que um físico que analisa os dados vindos lá do LHC vivem a mesma coisa porque eles não estavam lá na hora da experiência mas eles têm o dado aqui então fazem o que achar melhor com os dados. Eu acho que é semelhante, não acho uma coisa ruim. Mas não é completamente igual.
- N27** M: e você já usava planilha excel antes?
- N28** N: Eu já usava antes, mas a gente sempre aprende.
- N29** M: E acha necessário? Ou poderia fazer as análises sem?
- N30** N: Nem! Você tá louco! Fazer todas aquelas contas na mão! Eu não faria!
- N31** M: E você já olhou a página? Teve curiosidade de olhar outros experimentos?
- N32** N: Já
- N33** M: e o que você achou?
- N34** N: Já, achei legal, já tive vontade de ver os outros experimentos, entrei nas fotos.. mas achei legal.
- N35** M: mas você acha que poderia ser usado em ensino médio? O processo, a ideia.
- N36** N: Sim, com certeza. Acho que a ideia e o processo sim. Por exemplo, entender o conceito de velocidade média eu sei que não é fácil . pra uma aluno que não sabe passar a saber é muito difícil voc~e ter aquela ideia de que tipo como se

tivesse outro de você, e esse outro está andando com uma velocidade constante e aí você vai toma um café volta dorme e aí vocês dois chegam no mesmo lugar e o deslocamento teoricamente é o mesmo essa ideia de você fomentar na sua mente é muito difícil e eu acho que fazer coisas assim seria uma boa, seria uma coisa interessante.

N37 M: Mas o aluno visualizaria a situação?

N38 N: Sim. Eu acho que você não pode mandar ele fazer sozinho . mas eu acho que se puder ajudar seria muito bom. Na verdade eu tinha até pensado em trazer isso pra mim, inventar alguma coisa desse gênero ou usar esse mesmo.

N39 M: Mas você acha compreensível, por exemplo de onde veio esse tempo?

N40 N: acho que entendo. Eu acho que a câmera consegue marcar o tempo, você vai tirando a foto e aí por exemplo é que o filme vira fotinhos. E essas fotinhos estão num determinado ponto do vídeo e o intervalo de tempo que o vídeo começou e o momento dessa imagem é o tempo que está escrito aí é definido . por isso que eu acho que esse negócio é legal porque eu acho que a incerteza no tempo é pequena

N41 M: Você acha que a proposta desses experimentos foi deslocada da proposta da aula? Estava concordando?

N42 N: Não, eu acho que estava concordando perfeitamente ainda mais com o que a Nora fez, tipo, os primeiros experimentos a gente fez o experimento a gente teve a matéria e aí depois fez o experimento. Que foi o caso do rolamento, não o do disco. Porque o disquinho veio primeiro, quer dizer, ele veio depois que a gente teve a matéria. Aí a Nora depois, ela trocou aí a gente fez o giroscópio e o outro antes da matéria, então despertou muito curiosidade e eu já tinha na minha mente como funcionava eu acho que ajudou muito. Eu achei muito bom principalmente os do giroscópio , ajudou muito, porque quando ela chegou e começou a falar eu já estava convencido eu acreditava que a velocidade de precessão aumentava eu tinha isso pra mim. Ela falava e eu não pensava que era mentira.

N43 M: E você prefere o laboratório tradicional, virtual, ou depende de como é proposto?

N44 N: Eu prefiro não fazer, eu odeio laboratório, eu queria que tudo explodisse.

N45 M; Não, não é possível...

N46 N: Não, não tem nada, eu odeio laboratório!

N47 M; Até o virtual?

N48 N: Não, eu não quero falar que eu odeio o seu trabalho. É que eu odeio laboratório, eu odeio fazer medida, é isso, não, é mais ou menos isso porque tem o sigma ah! Eu não quero sigma nem nada, eu quero dois e pronto. Não, to brincando...

N49 M: Mas você não acha que é necessário pra sua formação?

N50 N: eu acho que é necessário mas eu não queria que fosse. Porque eu não gosto, eu faço porque tem que fazer.

N51 M: Mas você não gosta de mexer com a aparelhagem?

N52 N: Eu não sei, pra mim parece que todo experimento que você faz é um experimento super novo e você tem que tirar conhecimento do além. Sabe, eu não consigo fazer isso. E por isso eu odeio laboratório. Mas, se tivesse que escolher.

N53 M: Não é escolher... é ver em que momento é adequado um ou outro.

N54 N: Ah... Pra passar coisas no ensino médio eu acho que esse aí seria melhor.

N55 M: Mas pensando em você ...

N56 N; Na faculdade? Ah, o outro. O virtual é antes das aulas e outro é depois. Porque esse daqui você desperta curiosidade e você não faz uma análise muito profunda , mas serve pra você refletir, ah, funciona assim, ah, estou convencido. O outro é pra você entender as coisas do jeito sigma de 0,2%...

N57 M: mas a gente também fazia incerteza aqui...

N58 N: Fazia mas não é no mesmo nível de maldição do outro.

Aluno 5

- L1** Monaliza: Você lembra dos experimentos virtuais que fizemos esse ano?
- L2** L: Lembro, acho que foram 5 não é?
- L3** M: Quais foram?
- L4** L: Roda de inércia, giroscópio qualitativo, giroscópio quantitativo, giroscópio comparativo, rolamento.
- L5** M: E você consegue diferenciar os dois giroscópios? Qual a diferença dos dois experimentos?
- L6** L: Eu acho que o segundo experimento ele é mais verificar a relação de proporcionalidade que existe entre as duas velocidades angulares de precessão e spin do giroscópio. Enquanto que no qualitativo você faz isso olhando pra imagem de um gráfico
- L7** M: e você lembra o que era o giroscópio?
- L8** L: Eu lembro que pra explicar o movimento do giroscópio precisa levar em consideração apenas a 2ª lei de Newton, de uma forma bastante simples até, não existia um cálculo muito complexo.
- L9** M: Mas comece descrevendo ele, como ele é, como coloca pra funcionar e daí você fala dele.
- L10** L: O giroscópio ele era basicamente uma haste na extremidade da qual existia, uma extremidade pontiaguda na qual existia um furo que você encaixava na parte pontiaguda da primeira haste.
- L11** M: Essa outra haste que você está falando é o apoio?
- L12** L: Isso, apoio, uma palavra melhor do que haste... O apoio então ele é pontiagudo, e nessa ponta dele você encaixa o furinho da haste, no meio da qual você tem uma roda de bicicleta que é posta a girar com a mão mesmo. Então quando você coloca a roda pra girar, se você apoia a haste no suporte e daí automaticamente o giroscópio vai começar a, a roda vai continuar girando, e o giroscópio vai começar a fazer um movimento circular em torno do suporte.
- L13** M: E como chamam esses movimentos?
- L14** L: Da roda em torno do seu próprio eixo que a roda tinha inicialmente é o movimento de spin. E o que a roda faz em torno do suporte é o movimento de precessão.
- L15** M: E você consegue explicar quais são as grandezas físicas que estão envolvidas no movimento desde quando você o coloca pra girar até apoiar? O que acontece?
- L16** L: Tem a velocidade dele quando é colocado pra girar, de spin. Depois que ele é apoiado tem a velocidade de precessão. Tem a força peso atuando no giroscópio, tem o torque que a força peso realiza em relação ao ponto de apoio do suporte. Velocidade, torque, força, e tem o próprio deslocamento que a roda de bicicleta faz em torno do próprio eixo.
- L17** M: E como você relaciona o fato dele começar a girar e realizar a precessão? Porque quando você coloca ele pra girar e apoia ele começa a realizar além do movimento de spin, o movimento de precessão.
- L18** L: Eu lembro que quando você escrevia a 2ª lei de Newton pra rotação aplicado ao giroscópio e o torque da força peso vai ser responsável por alterar o momento angular, que inicialmente era puramente de spin da roda. O torque da força peso vai fazer esse momento angular de spin variar e aí, por conta disso ele começa a fazer uma precessão. E aí soma-se ao momento angular de spin da roda o momento angular de precessão aplicado no suporte saindo do plano do giroscópio, dependendo da direção.
- L19** M: Você lembra qual era o objetivo do experimento qualitativo?

- L20** L: Era verificar a relação que existia entre a velocidade angular de spin e a de precessão. Mas a partir apenas da análise de fotos e do gráfico sem pensar em nenhuma equação que pudesse relacionar as duas.
- L21** M: E você lembra o que era cada grandeza na expressão do movimento de precessão do giroscópio?
- L22** L: No primeiro membro da igualdade está a velocidade angular de precessão, do outro lado a massa da roda de bicicleta, você tem a gravidade, “d” é a distância do ponto que a haste foi apoiado no suporte do centro de massa da roda, tem no denominador, o momento de inércia da roda do giroscópio e a velocidade angular de spin que a roda vai ter enquanto ela estiver se movimentando e vai variando conforme esse experimento mostrou.
- L23** M: todo esse fator no denominador é o que?
- L24** L: é o torque da força peso.
- L25** M: E o que representa o gráfico construído?
- L26** L: Representa como a velocidade angular de precessão variou com o tempo.
- L27** M: e você esperava isso no começo da experiência?
- L28** L: Não, eu lembro que quando eu fiz, olhando para as fotos, sem montar a planilha, eu achava que naquele intervalo de tempo o giroscópio continuava com aquela velocidade constante de precessão.
- L29** M: e quando você viu que acontecia isso você achou estranho?
- L30** L: Um pouco, um pouco, eu não tinha pensado no atrito que podia ter com o suporte, que a haste ou qualquer atrito com o próprio ar... que pudesse atrapalhar esse movimento.
- L31** M: Você acha que ler na foto, você estaria realizando uma medida?
- L32** L: Acho que sim, porque se você estiver no laboratório, fazendo o experimento, você vai ter que estar lendo o seu sistema de referência, que vai ser a mesma coisa de você olhar pra uma fotografia, ela serve de documento também.
- L33** M: E você entende aquele tempo da foto?
- L34** L: Pelo que eu entendi, a câmera que filmava a experiência ela tinha a função de tirar uma foto a cada 3 centésimos de segundo.
- L35** M: E ler as fotos te ajudou em alguma coisa no procedimento experimental?
- L36** L: Não entendi a pergunta...
- L37** M: Ler medidas pela foto, estimar a posição, contribui alguma coisa em medidas experimentais ou é um caso particular esse tipo de medida?
- L38** L; Acho que é uma medida experimental tão boa quanto se você estivesse com um cronômetro na mão. Se você estivesse olhando lá no laboratório você faria também a mesma medida, faria a mesma leitura, do mesmo equipamento, e a câmera só está registrando um momento daquele movimento. Acho que ela serve de documento.
- L39** M: e você acha que fazendo todas as análises tendo que usar o computador, ajudou alguma coisa? Como habilidade com planilha ou você já usava antes?
- L40** L: Eu acho que ajudou no sentido de que esse semestre eu usei muito planilha. Foi bom porque mais pra frente posso ter que usar outros programas mais avançados então já estou familiarizado.
- L41** M: E você prefere o laboratório desse tipo virtual ou tradicional?
- L42** L: Sinceramente eu prefiro o tradicional. Acho que no tradicional a gente consegue controlar mais, a gente consegue pegar a nossa experiência e começar ela desde o início, pensar qual método eu vou aplicar, o que eu vou querer medir, qual método eu vou aplicar pra medir isso que eu quero. Acho que existe uma infinidade de conceitos em física experimental que só no laboratório tradicional eu vou explorar. Pelo menos não foi o caso desse [Laboratório Virtual](#).
- L43** M: E você acha que é viável a aplicação do [Laboratório Virtual](#)?
- L44** L: Eu acho que é.
- L45** M: Onde ele está encaixado na disciplina foi bem útil ou não?

- L46** L: Ah, foi útil. Primeiro porque você ter a oportunidade de colocar um pouco em prática os conceitos que são trabalhados na disciplina e acho que esse é o tipo de trabalho que podia ser aplicado pro pessoal de ensino médio. Porque eu, pelo menos quando fiz meus estágios, eu fui pra sala de aula e acho que é muito ruim o jeito que é ensinado, pelo menos quando eu fiz meu ensino médio.
- L47** M: Mas não seria bom um laboratório tradicional?
- L48** L: Então, seria bom justamente por causa disso. Acho que quando a gente vai pra escola o ensino era muito formulista, muitas formulinhas que não faziam sentido pro aluno, eu acho que o laboratório tradicional pode ajudar o aluno a pensar um pouco mais qualitativamente a física..
- L49** M: Tradicional ou virtual?
- L50** L: O virtual. O tradicional também, mas o virtual é mais simples de ser aplicado talvez até melhor de ser aplicado com o pessoal do ensino médio. Porque você vai para o laboratório tradicional você tem que fazer vários cálculos, várias medições que mesmo pra você na faculdade, as vezes é difícil, as vezes é complicado de fazer, e acho que o pessoal de ensino médio acho que você precisa ajuda eles a pensar a física qualitativamente já é um grande passo. Acho que você consegue incorporar mais a física à cultura da pessoa.
- L51** M: Você já chegou a olhar os outros experimentos da página?
- L52** L: Olhei aquele de energia mecânica. Até tentei montar a planilha pra ver se a energia mecânica conservava. Pensei por conta do laboratório tradicional que tem um trilho de ar que tem energia potencial elástica e cinética. Eu tentei fazer esse experimento específico porque era a época que no laboratório tradicional ia fazer a experiência de forças centrais. Olhei um outro lá em meio viscoso.
- L53** M: e te ajudou em alguma coisa?
- L54** L: ah, não muito. Porque eram diferentes.
- L55** M: Mas você acha que algum desses experimentos daria pra ser aplicado no ensino médio?
- L56** L: Ah dá, tranquilo. Os de translação principalmente. Os de rotação e de fluidos eu acho mais complicado. Os de translação acho que é interessante porque o pessoal do ensino médio passa muito tempo vendo mecânica e acho que esse laboratório traz uma análise mais qualitativa da física. Sai um pouco das mesmas formulinhas de sempre que o pessoal decora e depois esquece quando passa a prova.

Aluno 6

- RC1** Monaliza: Você lembra quais experiências fizemos em MecFlu?
- RC2** R: Mais ou menor..
- RC3** M: ... dos experimentos virtuais..
- RC4** R: Assim, olhando eu lembro...
- RC5** M: O semestre passado o que a gente fez?
- RC6** R: Eu não lembro de todas... Giroscópio..
- RC7** M: Lembra do que a gente estudava e aí...
- RC8** R: Bambolê, .. o que mais a gente estudava? Teve algum de colisões? Eu não lembro,... não não lembro.
- RC9** M: Então você só lembra do giroscópio e do bambolê. E você lembra o que era o giroscópio? Descreve o giroscópio.
- RC10** R: Ah, era um apoio, tinha um ponto de apoio como se fosse uma vareta, e tinha uma roda de bicicleta com um eixo principal que servia de apoio e nesse eixo tinha vários pontos de apoio desde o mais próximo do eixo central até o mais longe . Aí você colocava ele pra girar e apoiava ele na vareta.
- RC11** M: A vareta é o apoio?
- RC12** R: Aí ele começava a girar..
- RC13** M: Mas como você fazia ele girar?
- RC14** R: Alguém segurava nos dois apoios a roda e alguém girava e aí você apoiava.
- RC15** M: E você consegue identificar grandezas físicas em cada parte do movimento? Que grandezas físicas aparecem no movimento do giroscópio?
- RC16** R: Grandezas físicas? Como assim?
- RC17** M: Tipo força, massa, velocidade...
- RC18** R: Hum... não..
- RC19** M: Por exemplo, que velocidade tem se o negócio gira?
- RC20** R: Ah, velocidade angular ...
- RC21** M: E tem só um tipo de velocidade?
- RC22** R: Não, tem várias né.. Ah, eu lembro que girava de vários jeitos, tinha a natação..
- RC23** M: Você lembra o nome dos dois tipos de velocidade?
- RC24** R: Ah, era a velocidade que ele girava.. Não lembro o nome...
- RC25** M: E a outra velocidade qual era?
- RC26** R: Angular.
- RC27** M: Mas as duas são angulares se ele gira...
- RC28** R: Ah sim..Ah, não lembro.
- RC29** M: Mas você diferencia que há duas velocidades... Uma do quê e outra do quê?
- RC30** R: Uma velocidade seria a de giro do eixo. E a outra de giro da roda.
- RC31** M: E nenhuma outra grandeza que você identifique?
- RC32** R: Acho que não.
- RC33** M: Tá bom..
- RC34** R: Mas você fala, assim , das forças também? Tem o apoio então tem uma força normal... Tem um momento, porque ele está apoiado só que ele está em equilíbrio, e tem também uma força resultante que eu também não lembro o que era ...
- RC35** M: Você lembra que a gente fez dois relatórios de giroscópio?
- RC36** R: Ah sei, um era qualitativo e outro quantitativo.
- RC37** M: E desse qualitativo você lembra qual era a ideia?
- RC38** R: Ah, no qualitativo a gente queria identificar quais eram as forças né? Não lembro...
- RC39** M: Leia aqui sua introdução pra ver se você lembra, ou a descrição...
- RC40** (Aluno lê)
- RC41** R: Ah, spin!

- RC42** M: Você lembrou do nome pelo menos ou não?
- RC43** R: Sim.
- RC44** M: Qual era qual?
- RC45** R: Ah, o de spin era o de giro. Precessão e spin. Precessão então é o que gira a roda. E spin é o movimento de giro da roda.
- RC46** M: E você lembra de uma pergunta que era feita antes de ser realizada a análise das fotos?
- RC47** R: Da pergunta não...
- RC48** M: Uma pergunta sobre o movimento do giroscópio que devia ser respondida antes de fazer a análise... Você assistiu ao vídeo?
- RC49** R: Aham..
- RC50** M: Então, era perguntado o que acontece com a velocidade de precessão do giroscópio... Lembra dessa pergunta?
- RC51** R: Não.
- RC52** M: Então eu te pergunto agora. O que acontece com essa velocidade ao longo do tempo?
- RC53** R: Agora eu não lembro se aumentava ou diminuía...
- RC54** M: Mas o que você acha?
- RC55** R: A velocidade de precessão? Ao longo do tempo? Hum.... ela aumenta?
- RC56** M: Você achava isso?
- RC57** R: Eu não lembro o que eu achava.
- RC58** M: E porque ela aumentava? Você lembra desse gráfico? Esse gráfico tá falando que ela aumenta?
- RC59** R: Não.
- RC60** M: Não?? Não aumenta em módulo?
- RC61** R: O que?
- RC62** M: Ela não está aumentando?
- RC63** R: É....?
- RC64** M: E você lembra dessa expressão? Você consegue identificar o que seria cada grandeza aqui?
- RC65** R: velocidade de precessão, o g é a gravidade, $M... d$ é a distância do eixo até o ponto de apoio. I é o momento de inércia e a velocidade angular de spin.
- RC66** M: E olhando pra expressão você consegue relacionar as duas velocidades?
- RC67** R: Conforme a de spin aumenta, a de precessão diminui.
- RC68** M: E é isso que realmente acontece no giroscópio? A precessão está aumentando, é coerente isso?
- RC69** R: Sim.
- RC70** M: Mas o que acontece com a velocidade de spin?
- RC71** R: Ela diminui...
- RC72** M: Mas por que ela diminui?
- RC73** R: Porque vai passando o tempo e ela vai diminuindo...
- RC74** M: Então é ela que diminui? Você lembra de onde veio essa relação?
- RC75** R: Não.
- RC76** M: Você acha que olhar pra uma foto você está fazendo uma medida?
- RC77** R: Eu acho que é diferente, porque é uma foto, estava em movimento ...
- RC78** M: Se eu colocar uma régua e medir uma coisa e tirar uma foto disso, é o mesmo que eu ler diretamente?
- RC79** R: Não, não é a mesma coisa porque tem imprecisão de você medindo, sua mão tremendo, do equipamento, do seu emocional...
- RC80** M: Quando foram propostos os experimentos virtuais, você acha que eles estavam deslocados do assunto?
- RC81** R: Não lembro qual era o assunto.
- RC82** M: Por exemplo, você fez o experimento do giroscópio, a professora estava falando de giroscópio?
- RC83** R: Sim... é tinha a ver.

- RC84** M: Pra proposta do curso vale fazer isso ou você acha desnecessário?
- RC85** R: Acho que vale. É como tem que fazer outras matérias as vezes acabava ficando em cima da hora. Mas eu achei que era muito bom.
- RC86** M: Dava pra entender alguma coisa na época?
- RC87** R: Sim, na época eu gostei bastante. É que as fotos nesse experimento eu achei meio confuso.
- RC88** M: Dos angulares?
- RC89** R: Eu não lembro, eu lembro que eu tive uma dificuldade.
- RC90** M: Pra ler os ângulos?
- RC91** R: Sim.
- RC92** M: E você já mexia no Excel antes? E é necessário o computador pra fazer essas análises?
- RC1** R: Sim, mas eu fui aprendendo em outras disciplinas também.
- RC2** M: Você já chegou a olhar a página do laboratório por curiosidade?
- RC3** R: Sim...
- RC4** M: E você acha que essa metodologia do [Laboratório Virtual](#) daria pra ser usada no ensino médio?
- RC5** R: Acho que sim, daria. Mas precisa ser feito tudo junto com o aluno, pra ele acompanhar e entender porque esta sendo feito aquilo. Teria que mostrar o equipamento, funcionando, e tirando a foto também.
- RC6** M: E em que momento você acha mais adequado um [Laboratório Virtual](#) e um presencial?
- RC7** R: Acho que eu sou indiferente porque eu gosto também do laboratório normal. Porque no virtual a gente não faz o experimento. Só vê os dados prontos.
- RC8** M: E tem alguma vantagem?
- RC9** R: Acho que o tempo da aula. Você não gasta tempo fazendo o experimento, gasta tempo tirando as conclusões.
- RC10** M: Você acha válido, acha que pensa mais que no presencial?
- RC11** R: Não que eu penso mais...
- RC12** M: E qual a vantagem do laboratório presencial?
- RC13** R: Você fazer o experimento.
- RC14** M: E no virtual?
- RC15** R: Você vê que pode tirar os dados de um experimento que foi realizado por outra pessoa.
- RC16** M: E você acha que pra proposta da disciplina de MecFlu é mais válido fazer o virtual ou acha que tinha que ter ido no laboratório fazer as experiências?
- RC17** R: Pra MecFlu foi melhor ter feito virtual. Foi mais prático.

Aluno 7

- G1** Monaliza: Você lembra dos experimentos virtuais que a gente fez esse ano?
- G2** G: A gente fez do Rolamento, foi o do giroscópio... e só esses na verdade.
- G3** M: E você lembra do giroscópio, já conhecia?
- G4** G: Não.
- G5** M: Você nunca tinha visto?
- G6** G: Não.
- G7** M: E quando você viu achou o quê?
- G8** G: Achei bem legal.
- G9** M: Ficou impressionado?
- G10** G: Sim, porque eu não sabia como ficava em pé.
- G11** M: E você consegue descrever o giroscópio?
- G12** G: Ele gira num eixo central dele e ele também gira em outro eixo que é fixo com a barra do... não sei como chama. E até a gente chama de giro de spin dele e o de precessão. O de precessão é em cima de um outro eixo.
- G13** M: E que grandezas você consegue associar a cada parte dele? Esse spin seria o que?
- G14** G: Ah, seria um torque que faz um momento angular. Tem o torque que você faz quando gira ele, e o movimento de precessão é por causa do torque do peso não é?
- G15** M: E você consegue explicar como surge aquele movimento dele?
- G16** G: O torque que o peso faz, como é um vetor, vai somar com o momento angular de spin. Aí eles vão se somar e vai dar um outro vetor, pra direita ou pra esquerda, que mostra que ele gira.
- G17** M: E você lembra dessa expressão que você colocou no seu relatório? Consegue identificar as grandezas?
- G18** G: A velocidade angular de precessão que ele faz em torno do eixo que você coloca ele, o apoio. O m seria a massa, o g a gravidade o d é a distância que ele está do apoio até onde ele gira, I é o momento de inércia e a velocidade de spin em torno do eixo dele.
- G19** M: E você lembra no começo do relatório uma pergunta que era pra ser respondida antes de fazer análises?
- G20** G: De qual era a pergunta, não.
- G21** M: Pedia para registrar no relatório o que você achava que aconteceria com a velocidade angular de precessão, se aumentava ou diminuía. Lembra dessa pergunta?
- G22** G: Lembro...
- G23** M: E lembra o que respondeu?
- G24** G: É que eu vi a fórmula antes, então eu tive uma ideia. Como você só faz força na roda, que seria a de spin, ela tenderia a diminuir, por conta do atrito, então se ela diminui a precessão aumentaria. Conforme passa ia girando mais rápido. Acho que foi isso que eu coloquei.
- G25** M: Pensando na expressão, você não pensou por conta própria?
- G26** G: É, fui influenciado...
- G27** M: Então quando você construiu o gráfico lá no seu relatório você não ficou surpreso?
- G28** G: Não, acabei não ficando surpreso. Mas por conta da fórmula. Senão eu não fazia ideia do que ia acontecer.
- G29** M: E você entende de onde chegou aquela expressão?
- G30** G: Da dedução? Foi o que eu descrevi antes...
- G31** M: Isso, tudo bem. Vamos para questões mais gerais do laboratório. Na foto, você acha que fazer a leitura pela foto é equivalente a pegar uma fita métrica e medir certo comprimento?

- G32** G: Eu acho que tem diferença porque na foto você tem incerteza, mas quando você está com a régua na mão você procura posicionar onde começa onde termina, as casas que têm. Pra mim tanto faz o tipo de medida.
- G33** M: E você já mexia antes com planilha essas coisas? Você acha útil?
- G34** G: Não mexia e é útil. Aprendi por exemplo, você pegava tempo e distância, montar a própria fórmula no Excel e já ter todas as velocidades.
- G35** M: E você já olhou outras experiências que tem na página?
- G36** G: Eu já dei uma fuçada...
- G37** M: E você acha o método de laboratório assim daria pra ser usado no ensino médio? Você acha que elas iam entender?
- G38** G: Acho que precisaria adaptar pra uma linguagem não tão formal... Vetor acho que é bem precário no ensino médio
- G39** M: E você acha que o [Laboratório Virtual](#) e presencial são equivalentes? Ou um é melhor que o outro, ou em que momento seria melhor aplicar um ou outro? Como você vê esses dois laboratórios?
- G40** G: Bom, no curso eu acho legal a gente ir lá ver e fazer mesmo. Mas antes é legal ver um vídeo porque muitos não vão acreditar. Então eu acho que primeiramente o virtual seria legal e depois ele ir lá e fazer tudo.
- G41** M: E pensando em qualquer experimento, como você vê um laboratório presencial e um virtual? Como você diferenciaria cada um, você acha que eles são equivalentes? Tanto faz um como o outro?
- G42** G: Eu acho que o presencial é mais essencial. Isso de você ter relação com o experimento, de medidas...
- G43** M: E que habilidades um aluno desenvolveria mais num laboratório presencial e num [Laboratório Virtual](#)? Habilidades que eu falo pode ser prática, experimental...
- G44** G: Acho que de habilidade prática mesmo ele ia pegar de fazer mesmo uma medida. No virtual também não deixa de ser uma medida, você aprende também a medir. Mas eu acho que estar lá e ver com os seus olhos...
- G45** M: Mas e pensando em entender a lei física, os dois dão conta disso? Interpretação de resultados.. essas coisas.
- G46** G: eu acredito que no prático você pode também usar o Excel. Acho que nos dois.
- G47** M: E você acha que esses experimentos virtuais, da maneira que eles foram propostos no curso, foi adequado ou você acha que fugiu um pouco?
- G48** G: Eu acho que foi na hora... Achei bem legal, no período que ele foi proposto. Foi proposto o giroscópio antes da gente ver e eu achei legal isso, porque era um negócio tão surpreendente e então a gente via o que acontecia e depois a professora foi e explicou. A gente fez a experiência antes de ver o que acontecia. Até que tinha as perguntas no relatório o que você acha que acontece e a gente não tinha ideia.

Aluno 8

| | |
|------------|---|
| F1 | Monaliza: Você lembra dos experimentos virtuais? |
| F2 | F: Desde a primeira? |
| F3 | M: Os que vocês fizeram em MecFlu... |
| F4 | F: Os giroscópios, que foram 2, teve o do rolamento teve outros dois... mas não lembro. |
| F5 | M: Tudo bem. Pensando no giroscópio, você lembra o que era o aparato? Consegue descrever? |
| F6 | F: Era uma roda de bicicleta. Ela girava ao redor do seu próprio eixo e ao redor de um eixo que não era dela. |
| F7 | M: Mas ficava solto, como ficava? |
| F8 | F: Ela ficava apoiada em cima de uma mesa. |
| F9 | M: E o que estava apoiado? |
| F10 | F: Era só uma barra de metal, que passava pelo centro do outro eixo que estava rodando. |
| F11 | M: E pensando no movimento do giroscópio, você consegue associar as grandezas físicas? Pensa desde o momento em que você coloca ele pra girar... |
| F12 | F: Tinha velocidade de rotação, momento de inércia, a própria massa do giroscópio, o próprio tamanho do eixo, |
| F13 | M: Vamos olhar agora o seu relatório, eu escolhi o qualitativo. Você lembra o que a gente fazia no qualitativo? |
| F14 | F: No qualitativo era só pra ver se a velocidade aumentava... |
| F15 | M: Qual velocidade? |
| F16 | F: A velocidade angular de rotação quando está apoiado na mesa. |
| F17 | M: E ele gira de um jeito só ou como? |
| F18 | F: Ele gira ao redor dele mesmo, a própria roda de bicicleta... |
| F19 | M: Você lembra o nome dessa velocidade? |
| F20 | F: A precessão é em torno do eixo da mesa. E em torno dele mesmo é... acho que é normal. |
| F21 | M: Olhando pra expressão que tem no seu relatório, você consegue identificar o que é cada grandeza? Ou você consegue descrever como se chegava nessa expressão? |
| F22 | F: Tem a ver com o torque... as grandezas são essas que eu já falei, agora como chegava eu não lembro. |
| F23 | M: Mas pensa, você descreveu as grandezas... como elas se relacionam? |
| F24 | F: Tem a ver com a variação do momento angular, não? |
| F25 | M: Qual? |
| F26 | F: Do sistema... |
| F27 | M: O momento angular é associado a que grandeza? O que vai variar pra que o momento angular varie? |
| F28 | F: A velocidade. |
| F29 | M: Mas qual? |
| F30 | F: Aquela que eu acabei de lembrar o nome, a velocidade de spin. Ela muda e aí muda a velocidade de precessão também. |
| F31 | M: Você lembra que no começo do relatório tinha uma pergunta? |
| F32 | F: Que era pra responder o que eu achava? |
| F33 | M: Sim... |
| F34 | F: Se a velocidade de precessão aumentava ou diminuía. |
| F35 | M: E o que você respondeu? |
| F36 | F: Com a mesma mentalidade que eu tinha eu achava que ia diminuir. |
| F37 | M: E por que você achava isso? |

- F38** F: Porque é meio intuitivo pensar que uma coisa tem uma velocidade e que ela vai caindo com o passar do tempo.
- F39** M: Ah, uma coisa que eu esqueci de perguntar no começo, você já tinha visto o giroscópio antes?
- F40** F: Já, mas não entendi muito bem o que acontecia.
- F41** M: Mas você acha normal o movimento dele?
- F42** F: Não, nada intuitivo.
- F43** M: E você se interessou em fazer a experiência?
- F44** F: Sim.
- F45** M: E você lembra do gráfico que a gente fez? Desse aqui no seu relatório?
- F46** F: Mais ou menos, da velocidade angular de precessão.
- F47** M: Mas você lembra porque a gente fez isso?
- F48** F: Acho que era pra demonstrar que a velocidade de precessão não diminuía, mas aumentava.
- F49** M: Contrário ao que você pensava, mas quando você viu isso achou estranho?
- F50** F: Bastante estranho. Achei que estava errado, eu não sei se foi sobre isso que eu cheguei até a te mandar email. Mas eu conferi as contas...
- F51** M: Você chegou a deduzir a expressão?
- F52** F: A professora fez na aula.
- F53** M: Mas você se convenceu com a dedução?
- F54** F: Achar estranho eu acho, mas me convenci de que é o que acontece.
- F55** M: E você saberia dar o caminho de como chegamos na relação?
- F56** F: Não...
- F57** M: Você acha que o tipo de medida feito a partir da foto é o mesmo se você usar uma régua?
- F58** F: Acho que são similares, mas não iguais. No fundo é a mesma coisa, quando você usa a fita, você posiciona vira, na foto não tem isso.
- F59** M: Você acha que a foto engana?
- F60** F: No primeiro experimento eu fiquei um pouco confuso...mas depois eu me acostumei.
- F61** M: Você acha que usar as planilhas desenvolve alguma habilidade nos alunos?
- F62** F: Sim, os alunos podem usar esse recurso não só nos experimentos mas também em outras coisas no curso.
- F63** M: Você já olhou outros experimentos no site? Acha que alguma coisa do tipo poderia ser usada no ensino médio?
- F64** F: Dá, modificando roteiro, essas coisas de velocidade instantânea, acho que com uma boa orientação para o ensino médio dá pra passar.
- F65** M: Pensando nos experimentos num laboratório presencial e virtual você acha que o intuito dos dois, ou cada um dá um foco em uma coisa ou outra. Você consegue diferenciar os dois? Ou qual seria mais adequado que o outro?
- F66** F: Não tenho preferência, mas acho que o laboratório físico quer te mostrar mais como você realiza o experimento além do virtual mostrar como é realizado foca mais na análise dos dados. Essa é a minha visão.
- F67** M: Pra você tanto faz um ou outro? Mas se não faz o presencial não desenvolve algumas habilidades? Pra você tudo bem?
- F68** F: Mas eu acho que mesmo assim, quando você está fazendo um experimento virtual você consegue desenvolver, entender como é montado um experimento. Pode ser difícil nos primeiros...
- F69** M: Mas você faria experimentos virtuais e nunca iria em um laboratório?
- F70** F: Por exemplo no Lab. Eletromagnetismo é necessário montar os circuitos, se fosse um [Laboratório Virtual](#) não daria muito certo...
- F71** M: Então são necessários os dois?
- F72** F: Sim, eles devem coexistir.

Aluno 9

- V1** Monaliza: Você lembra quais experimentos nós fizemos esse semestre?
- V2** V: Os dois giroscópios, o qualitativo e quantitativo, Rolamento, Roda de Inércia...
- V3** M: E você lembra o que era o giroscópio? Consegue descrever o aparelho?
- V4** V: Tinha uma haste com uma placa circular dentro com esse eixo preso com uma outra coisa também. E aí quando virava ele tinha tanto o movimento nele próprio de rotação, quanto a de precessão.
- V5** M: Ah, e você já tinha visto o giroscópio antes?
- V6** V: Já, mas eu não entendia como funcionava. Eu achava que ele era como um pião diferente.
- V7** M: Mas você ficou curioso pra entender ou não?
- V8** V: Sim, na verdade eu nem sabia que a gente ia discutir isso no curso, foi surpresa.
- V9** M: E você consegue associar alguma grandeza a esse movimento que você descreveu.
- V10** V: Bom, teria a massa, o diâmetro do disco acho que influenciaria também, a velocidade de spin que seria dele próprio, em torno do próprio eixo, e teria um segundo eixo onde ocorre a precessão. Teria o momento de inércia também.
- V11** M: E você lembra dessa expressão? Conseguiria identificar as grandezas aqui? Ou antes, você lembra como a gente chegava nessa expressão?
- V12** V: Vagamente...
- V13** M: O que teria que pensar pra começar a desenvolver?
- V14** V: Momento de inércia...
- V15** M: Como momento de inércia?
- V16** V: Momento de inércia não, momento angular na verdade.
- V17** M: O que acontece com o momento angular?
- V18** V: Não vou lembrar...
- V19** M: Você lembra de uma pergunta que era feita no início do roteiro? Era pra ser respondida antes de realizar as análises...
- V20** V: Não...
- V21** M: Vou abrir aqui o roteiro pra gente lembrar... O que acontecia com a velocidade de precessão ao longo do tempo. Você lembra de ter respondido isso?
- V22** V: Lembro. Eu coloquei que pra mim diminuiria.
- V23** M: E por que você tinha falado isso?
- V24** V: Ah, intuição, algo indutivo. Não sei, se você arremessa alguma coisa ela tende a diminuir a velocidade; se faz força em um bloquinho ele vai tender a diminuir a velocidade, atrito e tal.
- V25** M: E você lembra do gráfico que foi construído?
- V26** V: Eu lembro que tinha um gráfico mas não lembro qual era.
- V27** M: O que ele está representando?
- V28** V: A velocidade de precessão aumentando.
- V29** M: E quando você respondeu a pergunta e fez o gráfico, bateu ou não?
- V30** V: Não...
- V31** M: E o que você pensou?
- V32** V: Te mandei um email!
- V33** M: Mas como você se convenceu, ou não convenceu?
- V34** V: Convencer, convencer não, mas eu aceitei.
- V35** M: Mas a partir do que?
- V36** V: Por questões matemáticas, a partir da expressão. Talvez hoje se eu voltar a estudar talvez eu me convença fisicamente.
- V37** M: Você acha que está realizando uma medida a partir de uma foto? Ou usar uma régua são medidas diferentes?

- V38** V: São diferentes. Acho que você está realizando o experimento aqui depende da posição que você está colocando a régua pode fazer uma medida diferente. No computador por exemplo se você vai medir um traço o tamanho pode ser diferente do que é de verdade.
- V39** M: Você acha menos confiável a leitura da foto?
- V40** V: Não necessariamente. As duas vão induzir para resultados similares.
- V41** M: E você já usava planilhas antes?
- V42** V: Eu já sabia, mas aprendi algumas coisas como organização da planilha.. não sei, mas acredito que tenha ajudado.
- V43** M: Você já olhou outros experimentos da página? Acha que daria pra usar no ensino médio?
- V44** V: Sim. Claro que vai depender da turma, acho que inicialmente daria.
- V45** M: Teria que adaptar?
- V46** V: Acho que sim, tem alguns termos como derivada e integral que não são tão interessantes assim no ensino médio... Não sei se agradaria, mas pelo menos a questão teórica, como funciona, acho que funcionaria muito bem.
- V47** M: E você acha que o experimento virtual e presencial são adequados em um momento e outro, como você diferenciaria?
- V48** V: Eu acho que o virtual traz certa facilidade. As vezes você quer respostas rápidas, acho que o virtual ajuda.
- V49** M: Respostas de que tipo?
- V50** V: Por exemplo o giroscópio, se você quer apresentar o tema pra sala de aula, o que é o giroscópio, você fala, vai no laboratório e faça isso, descubra, pense o que é, acho que é mais complicado ele montar visualizar e entender. A partir do virtual ajuda bastante. Você faz, consegue entender, ajuda bastante. Preferência de modo geral eu não tenho.
- V51** M: Você acha que o virtual e o real focam em coisas diferentes?
- V52** V: Ah, depende da área da física também.
- V53** M: Por exemplo, no virtual você não coloca a mão em nada.
- V54** V: Sim, eu acho que tem diferença. O fim dos dois que é o conhecimento d conteúdo é o mesmo. Mas eu acho que o laboratório te ensina mais. O presencial. Tanto a questão de você saber manipular as coisas.
- V55** M: Quando você acha que é mais adequado usar um [Laboratório Virtual](#) e um real. Quando você quer desenvolver que habilidades?
- V56** V: Não entendi...
- V57** M: No virtual, você não coloca as mãos no equipamento. Isso é um problema?
- V58** V: Pode ser que não seja o intuito...
- V59** M: Então, quando você pode usar um ou outro que não traria problemas...
- V60** V: Eu acho que os dois pra você aprender, você vai conseguir de um jeito ou de outro. Mas agora, quando você vê facilidade, o virtual é mais fácil. Mas o presencial te ensina algumas coisas. Acho que as diferenças são essas, o virtual é mais fácil enquanto o presencial é mais difícil mas você acaba aprendendo mais coisas.
- V61** M: Você não tiraria um ou outro? Você acha que na proposta do curso foi adequada?
- V62** V: Foi adequado, mas eu acho que poderia ser levado o aparato na sala de aula assim como foi levado o giroscópio.

Aluno 10

- S1** Monaliza: Quais experimentos você lembra de ter feito em MecFlu? Que ano foi mesmo?
- S2** S: Em 2009. Eu lembro do Cinemática Rotacional, não posso entrar na página pra lembrar?
- S3** M: Era melhor não...
- S4** S: Giroscópio qualitativo, giroscópio quantitativo. Eu não fiz Roda de inércia... não fiz Rolamento... é foram só esses...
- S5** M: E você lembra o que era o giroscópio?
- S6** S: Claro que eu lembro!
- S7** M: Você consegue descrever ele pra mim?
- S8** S: O maior tinha um suporte, aí uma haste e tinha uma roda onde ele ficava. A gente colocava ele pra rodar em torno do eixo dele mesmo, apoiava nessa haste e ele rodava além de em torno dele mesmo em torno do suporte.
- S9** M: E quais eram as grandezas físicas envolvidas no movimento?
- S10** S: A velocidade de spin, a velocidade de precessão, torque, momento angular...
- S11** M: torque do quê?
- S12** S: Torque do peso... Então, você tem o giroscópio rodando, aí tem um torque exercido pelo peso, tem uma variação do momento angular, e isso está relacionado com as velocidades de spin e precessão.
- S13** M: Você lembra da expressão?
- S14** S: Que relacionava as velocidades de spin e precessão? Eu só lembro que eram inversamente proporcionais. As constantes eram o comprimento da haste...
- S15** M: Eu vou abrir a expressão aqui... Pra gente reconhecer as grandezas..
- S16** S: As grandezas que entram? O comprimento da haste... Olhando a expressão, g é a gravidade, d é o comprimento dessa haste, a distância do ponto de apoio até o giroscópio, M é a massa, I é o momento de inércia, a velocidade de spin e a de precessão.
- S17** M: E você lembra do gráfico que foi construído no experimento do qualitativo?
- S18** S: Não... Da velocidade de spin em relação a de precessão ou de spin em relação ao tempo?
- S19** M: Se spin? A gente olhava as fotos... e....
- S20** S: Posição, não era? Posição angular por tempo?
- S21** M: Você lembra de uma pergunta que devia ser respondida antes de analisar os dados?
- S22** S: Não, não lembro.
- S23** M: A pergunta era sobre o que você achava que aconteceria com a velocidade de precessão ao longo do tempo...
- S24** S: Ah, agora eu lembro.
- S25** M: E você lembra o que você pensava?
- S26** S: Eu fui baseada na expressão.
- S27** M: Mas antes, sem ter olhado a expressão, o que você achava que aconteceria?
- S28** S: Então, falando da precessão?
- S29** M: Sim, porque é ela que estudamos no gráfico.
- S30** S: A de precessão diminui. Por causa da resistência com a haste, sem pensar em nenhum tipo de teoria nem nada ...
- S31** M: E se você pensasse?
- S32** S: A de spin diminui e a de precessão aumenta.
- S33** M: E isso é claro pra você?
- S34** S: Não! Se você pensar nas concepções espontâneas, não é intuitivo.

- S35** M: E você conseguiria descrever o que acontece e por que acontece o movimento?
- S36** S: Tem a roda, o peso. O peso exerce um torque que leva a variação do momento angular...
- S37** M: Qual momento angular?
- S38** S: O momento angular da precessão.
- S39** M: Da precessão? E o que vai acontecer com esse momento?
- S40** S: Eu preciso de uma caneta! Tem um peso aqui, tem um L1, tem um L2... Esse L é o momento angular do movimento de precessão.
- S41** M: Nessa direção é a precessão?
- S42** S: Não, esse é o do spin.
- S43** M: Ah tá, e qual interessa pra você explicar o movimento?
- S44** S: O do spin.
- S45** M: É que não tinha sido isso que você tinha falado no começo...
- S46** S: Hum... é verdade. Então, a variação do momento angular do spin, vai gerar uma variação da velocidade angular de spin no tempo... Então, esse vetor momento variou um certo ângulo, essa variação angular no tempo vai dar a velocidade de precessão. Então, a variação do momento angular está diretamente relacionado com a velocidade de precessão.
- S47** M: E o que tinha a ver o torque que você começou falando?
- S48** S: O torque é o que causa a variação do momento angular de spin.
- S49** M: Por que então a velocidade de precessão aumenta?
- S50** S: Porque a velocidade de spin está diminuindo...
- S51** M: Agora umas perguntas sobre o laboratório. Por exemplo, quando você olha as fotos do [Laboratório Virtual](#)... quer dizer, realizar os experimentos virtuais, permitiu que você desenvolvesse alguma habilidade no caso de experimentação, realização de medidas ou foi indiferente pra você?
- S52** S: Então, se você pensa num laboratório didático presencial que a gente faz por exemplo no primeiro ano da licenciatura sim, por que, por exemplo, tem aquele experimento do ovo caindo que você faz lá a fita com as posições do ovo e com uma régua medir, o cuidado que você tem para medir lá na fita com a régua é o mesmo tipo de cuidado que a gente tem que ter quando vai fazer essas medidas com a foto.
- S53** M: Você acha que quando você está lendo uma medida pela foto, é o mesmo caso de você estar lendo a medida com a régua? É o mesmo tipo de medida?
- S54** S: Claro que com a foto você tem uma dificuldade adicional que é colocar um sistema de referência se for ler quadradinhos, agora se for a régua é meio que de graça. Mas o cuidado que você tem que ter quando cai a medida entre dois pontos, arredondar pra mais ou pra menos é a mesma coisa.
- S55** M: O uso das planilhas computacionais foram úteis pra você?
- S56** S: Foram! Eu aprendi a usar o Excel com esses experimentos!
- S57** M: E você acha que esses experimentos poderiam ser usados no ensino médio?
- S58** S: Sim, talvez não todos. Daria pra usar todos desde que o conteúdo fosse adaptado pro nível do ensino médio. Mas os de trilho de ar e atrito podem ser usados integralmente.
- S59** M: E se você fosse olhar pro laboratório presencial e o virtual, você acha que eles são adequados em momentos diferentes, a proposta do [Laboratório Virtual](#) foi adequada, o que você acha?
- S60** S: Acho que pode usar os dois juntos...
- S61** M: Os dois são necessários?
- S62** S: Sim, daria que usar o presencial e o virtual. Um pra dar foco na questão instrumental e outro na questão da análise. Na aula teórica daria pra usar tanto o presencial ou o virtual, e até numa aula de estatística daria pra usar o virtual.

- S63** M: Que habilidades você acha que são desenvolvidas em cada laboratório?
Por exemplo no virtual, que habilidade você acha que o aluno desenvolve.
- S64** S: A questão computacional, a questão da tomada de dados, leitura das fotos, questão estatística, no presencial além da tomada de dados tem a construção do aparato que o virtual não aborda.
- S65** M: E a questão de entender a teoria, a lei e tudo mais?
- S66** S: Tanto um ou outro podem contribuir ou não. Os dois são iguais nesse sentido.

Aluno 11

- MC1** Monaliza: Você lembra dos experimentos que a gente fez em MEcFlu?
- MC2** MC: De todos eu não sei ... Roda de Inércia, que foi o que mais deu trabalho, os outros depois eu já fui na onda. Eu lembro dos dois giroscópios, quantitativo e qualitativo, do Rolamento com Escorregamento, eu só lembro dos que eu achei legais... mas deve ter tido mais algum...
- MC3** M: E você lembra o que era o giroscópio, consegue descrever?
- MC4** MC: O giroscópio eu sempre lembro do pião. Ele tinha um suporte vertical e você girava uma roda de bicicleta e pendurava no giroscópio, aí ela tinha esse movimento de...
- MC5** M: Pendurava?
- MC6** MC: É você colocava, apoiava. Apoiava essa roda de bicicleta girando nesse suporte vertical e ele ia adquirindo esse movimento de precessão.
- MC7** M: E ele só tinha esse movimento de precessão?
- MC8** MC: Ele tinha umas balançadinhas de vez em quando... A roda tinha seu movimento de rotação próprio. E a velocidade ia diminuindo pelo atrito.
- MC9** M: E como chamava esse movimento, você lembra?
- MC10** MC: Rotação. Eu chamava esse movimento de rotação da roda e o outro de precessão.
- MC11** M: E você já tinha visto o giroscópio antes?
- MC12** MC: Já mas eu não entendia.
- MC13** M: Mas você achava normal?
- MC14** MC: Não, eu não entendia nada. Achava mágica da primeira vez, depois ah, conservação do momento angular... eu sei que conservava alguma coisa mas eu só aceitava e não entendia... Mas eu já tinha visto na escola. Mas na escola me colocaram em cima de uma plataforma girante com a roda... foi legal. Eu vi que funciona mas eu não entendi direito. Porque eu não tinha noção de produto vetorial.
- MC15** M: E pensando nessa descrição que você fez do movimento, você consegue associar alguma grandeza mais ao movimento do giroscópio? Você falou movimento de rotação, que outra grandeza física teria se você pensasse em todo o movimento do giroscópio?
- MC16** MC: Eu só penso no momento angular... A gente trabalhou muito com as velocidades angulares. Bom, a roda tem momento de inércia pra girar em torno do próprio eixo...
- MC17** M: Vamos ver seu relatório... Olhando pra expressão que você escreveu, consegue reconhecer essas grandezas?
- MC18** MC: Velocidade angular de precessão é igual a massa da roda vezes a gravidade vezes o d , que eu não lembro o que é, aí o momento de inércia dividido pela velocidade angular de rotação da roda. Uma é inversamente proporcional à outra. Mas eu não lembro o d exatamente, que distância que é essa.
- MC19** M: E você reconhece esse termo aqui de cima de algum outro jeito?
- MC20** MC: $M g d$? Força vezes distância? Tem dimensão de energia... Torque?
- MC21** M: Torque do que?
- MC22** MC: Mg vezes d ? Torque do peso...
- MC23** M: Então quem é o d ?
- MC24** MC: Hum... é a distância do centro da roda ao eixo vertical, onde eu falei que a roda foi apoiada.
- MC25** M: Você lembra que tinha uma pergunta pra ser respondida antes de fazer a análise das fotos?
- MC26** MC: Hum... não.

- MC27** M: Pedia pra registrar no relatório o que você achava que acontecia com a velocidade de precessão do giroscópio ao longo do tempo.
- MC28** MC: Ah, tinha essa pergunta mas eu não lembro o que eu respondi.
- MC29** M: Mas se você se colocar na posição de antes... o que você responderia.
- MC30** MC: Eu não saberia dizer, eu ia chutar, sinceramente. Não saberia julgar o comportamento dela, sem antes fazer um estudo mais analítico. É que eu fiz o experimento pra depois dar a resposta.
- MC31** M: Então quando você viu que a velocidade aumentava você não se surpreendeu?
- MC32** MC: Me surpreendi mas não me surpreendi...
- MC33** M: Esse gráfico, você lembra?
- MC34** MC: Sim, a velocidade de precessão aumenta com o tempo.
- MC35** M: Mas você não achou estranho?
- MC36** MC: Achei e não achei. Achei estranho porque não era um comportamento que eu esperava e não achei estranho porque concorda com a expressão teórica. Se uma diminui com o tempo por causa das forças de dissipação a outra tem que aumentar por elas serem inversamente proporcionais.
- MC37** M: E você lembra como que chegava nessa expressão?
- MC38** MC: A demonstração dessa fórmula?
- MC39** M: Não precisa ser a dedução, mas que associações você faz pra chegar nela? O que você começa pensando?
- MC40** MC: Bom, a primeira coisa que tem que existir é o movimento de rotação da própria roda. .. Não lembro das passagens matemáticas, mas como ele precessiona a gente analisa a conservação do momento angular...
- MC41** M: Mas qual momento angular? De que?
- MC42** MC: A conservação do momento angular total...
- MC43** M: Eles têm a mesma direção?
- MC44** MC: Não...Deixa eu pensar... não lembro da soma vetorial...
- MC45** M: Pensa na direção dos vetores...
- MC46** MC: Eu lembro que na aula eu discuti com a professora porque eu não entendia... Ah, mas os torques externos não são nulos. Como eu posso falar que o momento angular conserva? Daí ela falou, eles não são nulos, mas esse torque que eu tenho ele não está contribuindo pra variar o momento angular. Aí no caso o torque do peso, pelo que eu tinha entendido é o que dá uma variação do momento angular de precessão...
- MC47** M: Precessão?
- MC48** MC: É... na verdade eu estou um pouco confuso, bastante confuso na verdade.
- MC49** M: Eu perguntei sobre o porquê de ter construído o gráfico?
- MC50** MC: Ah, o gráfico a gente sempre constrói pra verificar o comportamento real da grandeza. Só confirmou que ela aumenta com o tempo.
- MC51** M: Vamos então pra questões mais gerais sobre o [Laboratório Virtual](#). Você acha que ler uma grandeza pela foto, você está realizando uma medida? É equivalente a eu pegar uma fita e medir?
- MC52** MC: Não isso, não. Tem a vantagem do laboratório de você ter um poder de medida maior. Você consegue analisar coisas em instantes de tempo que seu olho não permitiria, no virtual. Só que em contrapartida, no real você está ali mexendo com a coisa, a coisa é real. Então, sei lá, eu vejo um pro e vejo um contra. Por mais que isso facilite a resolução do problema que a gente resolveria num laboratório real, eu acho que perde um pouco o fato do aluno não estar manuseando as coisas.
- MC53** M: E se eu pego uma fita, e meço alguma coisa e tiro uma foto disso e aí eu venho aqui com a fita e meço. A leitura que eu faço das duas situações, é a mesma?

- MC54** MC: É que eu acho que é uma questão de bom senso. Quando eu estou com uma foto e eu quero medir, eu amplio a foto e tento ter a maior precisão possível do que a foto me dá. Agora se eu estou com uma fita, eu olho, ah, está entre tanto e tanto. A foto parece te obrigar a fazer uma leitura mais cuidadosa.
- MC55** M: E você já mexia com o Excel antes dos experimentos virtuais, você acha que contribui com alguma coisa?
- MC56** MC: Eu acho que ajuda, tem muitas fórmulas que eu não conhecia e tive que pesquisar pra usar. Também como eu sempre tive o costume de separar as coisas em várias planilhas aprendi a usar outros recursos do Excel.
- MC57** M: E você já viu outras experiências que tem no site? Acha que alguma poderia ser usada no ensino médio?
- MC58** MC: Acho que dá totalmente pra ser aplicada no ensino médio. Mas acredito que os roteiros devem ser adaptados. Acho que eles vão entender porque é nisso que muitos ensinamentos médios de hoje ficam devendo. A gente não tem experimentação em nenhum âmbito. Pelo menos o [Laboratório Virtual](#) daria um pouco de vazão a isso. Por mais que eles não tenham contato. Porque você vê um vídeo, você vê que aquilo aconteceu, você não se convence como quando você lê um livro, você aceita a fórmula, você vê que aquilo acontece na realidade.
- MC59** M: E em que momentos você acha mais adequado um ou outro.
- MC60** MC: Acho que depende do experimento que você quer dar. Por exemplo, experimentos de mecânica que a base é você analisar posições e tempo, dependendo do arranjo que você tem o virtual é bem mais prático. Por ser mais prático eu acredito que seja adequado. Mas os experimentos de eletromagnetismo que envolvem por exemplo você montar um circuito, seria muito mais vantajoso o aluno colocar a mão na massa. Acho que depende então do conteúdo que você trata. E claro, da praticidade, nem sempre vai ser fácil você montar um laboratório de eletromagnetismo.
- MC61** M: Mas você acha que eles desenvolvem as mesmas habilidades nos alunos?
- MC62** MC: No meu caso eu acho que foi a mesma coisa. Porque eu acho que o virtual foi mais fácil. Eu tinha muito menos trabalho, pelo menos na coleta de dados.
- MC63** M: Habilidades que eu digo é na questão da medida, interpretação dos dados...
- MC64** MC: Nesse sentido eu acho os dois equivalentes. É difícil ter um só, no caso do virtual é difícil ele cobrir todos os assuntos. Mas acho que no real é possível. Agora os dois seriam adequados no caso da praticidade que eu falei.
- MC65** M: E você acha que os experimentos que você fez no curso foram adequados?
- MC66** MC: Eu acho que foram adequados porque coincidiram com assuntos que a gente estava vendo na disciplina teórica.
- MC67** M: Ou você acha que eles deveriam ter sido feitos no laboratório presencial?
- MC68** MC: É que acho que o Rolamento não teria como ter sido feito no presencial.
- MC69** M: Porque a disciplina é teórica, daí tem esses experimentos, você acha adequada pro caráter da disciplina?
- MC70** MC: Está adequado não só por contemplar os assuntos da disciplina, como apresenta para um cara que vai ser professor ou outro tipo de laboratório.

Aluno 12

- MT1** Monaliza: Que ano você cursou MecFlu?
- MT2** M: Vixi, em 2009.
- MT3** M: E você lembra dos experimentos que fez na disciplina?
- MT4** MT: Lembro, tinha dois tipos de trabalho, um com caráter qualitativo e outro quantitativo.
- MT5** M: Mas dos experimentos em geral que você fez, só teve o giroscópio?
- MT6** MT: Nossa, eu não lembro...
- MT7** M: Mas do giroscópio você lembra?
- MT8** MT: Lembro, porque era o mais difícil assim...
- MT9** M: E você consegue descrever as partes do giroscópio?
- MT10** MT: Bom, eu lembro que tinha um apoio que seria o eixo principal, na vertical. Um segundo apoio também, suporte, cilíndrico, que ficaria no plano horizontal e a roda em si. Então, um suporte pra definir o eixo vertical...
- MT11** M: Mas isso era tudo grudado?
- MT12** MT: Não, não eram grudados... E a roda em si, que tinha um apoio direitinho pra ela. Bom, é isso, da minha recordação eram essas três partes.
- MT13** M: E como ele funcionava?
- MT14** MT: Inicialmente tinha a questão de achar o ponto de equilíbrio, de como fazer o experimento acontecer de fato. Então depois que ele estava acontecendo a gente observava ...
- MT15** M: E como você fazia ele girar?
- MT16** MT: A roda precisava ter uma velocidade de spin. E a roda vai ficar inclinada em relação a um plano na vertical... mas ela vai girar na horizontal
- MT17** M: E você lembra como chamava esse movimento na horizontal?
- MT18** MT: Precessão? É mesmo? Puxa que sorte lembrar! Bom, da minha recordação eu lembro que precisava ter um movimento de spin pra depois de alguma forma encaixar o apoio pra então começar o movimento de precessão.
- MT19** M: E você consegue associar alguma outra grandeza física a esse movimento? Você falou velocidade de spin, falou precessão...
- MT20** MT: Eu diria raio, mas agora estou em dúvida sobre quais raios. Se o raio seria a distância do eixo vertical até o ponto em que a roda está. Ou o raio em si da roda, a massa do giroscópio.
- MT21** M: Bom, vamos olhar o seu relatório. Você lembra dessa expressão?
- MT22** MT: Não, não me recordo.
- MT23** M: E você consegue reconhecer as grandezas nessa expressão?
- MT24** MT: Sim, com uma dúvida. Olhando a expressão em si eu ficaria em dúvida o que seria o d . que eu falei que realmente eu tinha ficado em dúvida. Bom, seria a velocidade angular de precessão, massa, gravidade, essa distância não sei se seria em relação ao eixo de precessão, o eixo vertical. Mas se fosse pra responder é isso, I o momento de inércia da roda e a velocidade angular de spin.
- MT25** M: E você consegue reconhecer esse termo de algum outro jeito? $M g d$.
- MT26** MT: Não. Nesse instante não.
- MT27** M: Mas vamos ver seu relatório. Você lembra que tinha uma pergunta pra ser respondida antes de fazer a análise?
- MT28** MT: Não.
- MT29** M: Deixa eu mostrar a pergunta. Era pra registrar no relatório o que você achava que aconteceria com a velocidade angular de precessão, se aumentava ou diminuía. Lembra dessa pergunta?
- MT30** MT: Não.
- MT31** M: E se você fosse responder agora?

- MT32** MT: Olha, eu fico entre diminui e permanece a mesma... Não sei, considerando diminuição seria um palpite por um processo em relação ao atrito, que a gente sabe que o movimento não permanece.
- MT33** M: Então você fez um gráfico, lembra de ter feito esse gráfico?
- MT34** MT: Lembro. Era o perfil da atividade...
- MT35** M: E o que acontece com a velocidade de precessão?
- MT36** MT: Ela aumenta...
- MT37** M: E você lembrava disso?
- MT38** MT: Não.
- MT39** M: Mas é estranho você ver que aumenta?
- MT40** MT: É. Talvez considerando o conteúdo que a gente estava estudando o contexto que eu estava estudando, não saberia dizer se naquela época seria algo razoável. Hoje que é um conteúdo que eu só tenho familiaridade em relação a termos, que foi um conteúdo que eu não vi em outras disciplinas e nem fui fazer nenhuma atividade específica que trabalhava com ele, então não consegui intuir quais as grandezas eu deveria pensar...
- MT41** M: Mas pra você é estranho ou você não tem nenhuma reação?
- MT42** MT: Não, seria estranho porque justamente eu respondi o contrário. Eu ia imaginar diminuir... agora, se você me perguntar se eu saberia explicar, claro que não!
- MT43** M: Eu ia perguntar... Bom, mas e olhando a expressão, você saberia relacionar alguma coisa do porquê ela aumenta. Você lembra como surgiu essa fórmula?
- MT44** MT: Não. De onde vem o movimento de precessão? Olha, por você ter um torque e uma velocidade de spin... Vai ter um torque aplicado num ponto a certa distância... não sei.
- MT45** M: Mas voltando à expressão, você consegue fazer alguma relação do aumento da velocidade de precessão? Ou imaginar alguma coisa?
- MT46** MT: Se o d é o raio em relação ao eixo da velocidade de precessão se essa distância vai aumentando seria uma justificativa ou outra possibilidade seria a velocidade de spin diminuir, que provocaria também o aumento.
- MT47** M: Qual é mais razoável?
- MT48** MT: Acho que a velocidade de spin diminuir. Mas não acharia absurdo também aumentar a distância. Considerando a ilustração e que ele é apoiado com uma certa inclinação pra cima, a distância aumenta...
- MT49** M: Ah sim, é que geralmente estudamos no plano. Desconsideramos esse movimento dele de nutação.
- MT50** MT: Ah sim, então poderia descartar essa possibilidade.
- MT51** M: Mas só pra nossa simplificação.
- MT52** MT: Tanto é que eu comentei que eu estava em dúvida sobre o que era o d . Porque olhando a imagem se ele é essa distância tenho a impressão de que ela varia.
- MT53** M: Bom, agora pensando no estilo dos experimentos virtuais. Você acha que quando você olha Ra uma foto que tem um instrumento de medida, você acha que fazer a leitura é equivalente a você pegar uma fita e medir ou você acha que tem diferença?
- MT54** MT: Equivalente não é porque quando a gente trabalha com os dados, com a fotografia, a gente subtrai, não tem acesso ao processo de construção daquilo. Tanto é que eu tinha alguma dificuldade pra entender algumas das medidas porque a gente só tem acesso a um recorte que é a imagem. Um recorte do processo. Então eu acho que tem diferença sim. A fotografia é uma interpretação.
- MT55** M: Mas lembra, lá em 2009, você já mexia com planilha de computador?
- MT56** MT: Olha, considerando a estrutura do curso de licenciatura, existem outras disciplinas que já exigem que se faça alguns cálculos básicos na parte de planilhas.

- MT57** M: Você aprendeu a fazer alguma coisa com planilhas fazendo os experimentos virtuais?
- MT58** MT: Sim, por exemplo era você intuir onde era o ponto médio, o meio termo entre duas situações. Não tem tanto a ver fazer a conta, mas sim utilizar uma determinada estratégia pra realizar uma medida. Isso eu me lembro bem porque é algo que depois a gente vai ver em outras disciplinas ou pode até usar em outra disciplina esse mesmo raciocínio.
- MT59** M: E você acha que o estilo do [Laboratório Virtual](#) pode ser usado em escolas? Ou você acha muito abstrato?
- MT60** MT: Eu acho que tem um grau de abstração mas depende do tipo de proposta do professor. Se de repente o professor dá conta de contextualizar o experimento para os estudantes e embora eles não façam o experimento em si se eles conseguem entender o processo que gerou aquele resultado que são as fotos eu acho que chega-se numa situação interessante. Porque ele vai ter a vantagem de estar na casa dele fazendo as contas de ter as imagens então vai sentir que aquilo é abstrato demais por ele não ter participado do processo. É possível utilizar dependendo da proposta.
- MT61** M: E em que momentos você acha que é mais adequado um laboratório presencial e um virtual?
- MT62** MT: Eu acho que considerando o ensino médio como um todo, na graduação, eu acho que atividades virtuais podem ser colocadas depois que já tiveram uma experiência com o presencial. Pra mim seria um pouco mais difícil começar um curso que você quer fazer alguma atividade experimental por um [Laboratório Virtual](#) então acho que seria o único tipo de restrição. Talvez se já tenha uma certa prática ou vivência com algo que os estudantes já tiveram contato, enfim, poder fazer todo o processo de montagem, tomada de dados, pra depois a análise dos resultados e tal. E aí quando ele já tem familiaridade com esse processo de fazer esse recorte eu acho que está bom.
- MT63** M: E você acha que no [Laboratório Virtual](#) e no presencial, que habilidades o aluno desenvolveria?
- MT64** MT: Eu acho que são bem diferentes. O fato de você não precisar montar nada já elimina a instrumentação, seria uma perda ao utilizar apenas o virtual. Essa questão de analisar um tipo de dado é um ganho. É um tipo de dado que não necessariamente ele toma estando em um laboratório fazendo todo o processo, prioriza talvez uma capacidade diferente. Em termos de uso do Excel acho que o laboratório presencial pode também utilizar não sei se teria um diferencial a mais...
- MT65** M: E na parte de interpretação da lei física? De entender o que está acontecendo... você acha que os dois são equivalentes?
- MT66** MT: É assim, se o [Laboratório Virtual](#) é contextualizado e o estudante consegue entender aquelas imagens, eu tendo a achar que é bem equivalente agora se esse processo não é uma preocupação e o trabalho está mais no tratamento dos dados, daí pode ser que essa vivência da instrumentalização do processo e tal do experimento possa ter um ganho na hora de interpretar o todo, fazer a discussão, olhar para os resultados. Mas de novo, se esse processo for contextualizado, os dois são equivalentes.
- MT67** M: Mas quando foi proposto o experimento do giroscópio você achou adequado ou achou fora do contexto da aula?
- MT68** MT: Não, em termos do contexto da aula achei que era adequado. Foi um conteúdo que eu tive dificuldade, tanto que eu não achei simples fazer o relatório entender o experimento em si, me lembro de ter achado aquela complexidade, mas é assim, foi um conteúdo que você não conseguiu estudar direito, uma aula que você não aproveitou, são essas variáveis que você não consegue ter tanto controle. Mas eu lembro que ele era bem contextualizado. Tinha a aula teórica, era bem articulado, não era isolado.

MT69 M: Ah, eu não te perguntei se você conhecia o giroscópio antes de ter feito.

MT70 MT: Não mas eu não conhecia.

MT71 M: E você ficou impressionada quando viu? Achou estranho?

MT72 MT: Eu acho que causa uma certa impressão porque não dá pra imaginar, depois que você viu o movimento da roda, que vai ter um movimento no plano. Sei lá, pode cair, pode ter alguma coisa que impeça o movimento, acho que é surpreendente sim, não sei qual foi a minha reação no momento, mas hoje se eu fosse apresentada ao experimento não seria indiferente.