



Macroprojeto *Bio-Tanato-Educação: Interfaces Formativas*
Projeto de Criação e Editoração do Periódico Científico Revista Metáfora Educacional (ISSN 1809-2705) – versão *on-line*, de autoria da Prof.^a Dra. Valdeci dos Santos

<http://www.valdeci.bio.br/revista.html>

Revista indexada em:

NACIONAL

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES / Ministério de Educação (Brasil) - **Qualis 2013** (atualizado em 27/set./2015): Ciências Biológicas: Ciências Biológicas II (**C**), Ciências Humanas: História (**B4**), Ciências Humanas: Psicologia (**B4**), Ciências Humanas: Educação (**B4**), Linguística, Letras e Artes: Letras/Linguística (**C**), Multidisciplinar: Ensino (**B2**) - <https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/veiculoPublicacaoQualis/listaConsultaGeralPeriodicos.jsf>
GeoDados - <http://geodados.pg.utfpr.edu.br>

INTERNACIONAL

CREFAL (Centro de Cooperación Regional para la Educación de los Adultos en América Latina y el Caribe) - <http://www.crefal.edu.mx>
DIALNET (Universidad de La Rioja) - <http://dialnet.unirioja.es>
GOOGLE SCHOLAR – <http://scholar.google.com.br>
IRESIE (Índice de Revistas de Educación Superior e Investigación Educativa. Base de Datos sobre Educación Iberoamericana) - <http://iresie.unam.mx>
LATINDEX (Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal) - <http://www.latindex.unam.mx>
REBIUN (Red de Bibliotecas Universitarias Españolas) - <http://www.rebiun.org>

n. 19 (jul. - dez. 2015), dez./2015 – Movimento Epistemológico

Artigo recebido em 31/ago./2015. Aceito para publicação em 4/out./2015. Publicado em 20/dez./2015.

Como citar o artigo:

CAMPOS, Luís da Silva; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de. Articulação do ensino de física com o ensino de matemática através da modelagem matemática e das atividades experimentais. **Revista Metáfora Educacional** (ISSN 1809-2705) – versão *on-line*. Editora Dra. Valdeci dos Santos. Feira de Santana – Bahia (Brasil), n. 19 (jul. – dez. 2015), 20 dez. 2015, p. 21-52. Disponível em: <<http://www.valdeci.bio.br/revista.html>>. Acesso em: DIA mês ANO.



n. 19 (jul. – dez. 2015), dez./2015 – Movimento Epistemológico

**ARTICULAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA COM O ENSINO DE MATEMÁTICA
ATRAVÉS DA MODELAGEM MATEMÁTICA E DAS ATIVIDADES**

EXPERIMENTAIS

**ARTICULATION OF PHYSICS TEACHING WITH TEACHING MATHEMATICS
THROUGH MATHEMATICAL MODELING AND EXPERIMENTAL ACTIVITIES**

Luís da Silva Campos

Doutorando em Ensino de Ciências e Matemática pela Universidade Cruzeiro do Sul – SP 

Mestre em Ensino de Ciências e Matemática pela Universidade Cruzeiro do Sul – SP 

Licenciado em Física pela Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG – MG 

Professor de Física do Instituto Mauá de Tecnologia – IMT – SP 

Professor de Física Universidade Guarulhos – Grupo SER Educacional – UnG – SP 

E-mail: proflula@ig.com.br e lcampos@maua.br

Mauro Sérgio Teixeira de Araújo

Bacharel, Licenciado, Mestre e Doutor em Física pela Universidade de São Paulo – USP 

Professor e Pesquisador da Universidade Cruzeiro do Sul – SP 

E-mail: mstaraujo@uol.com.br

22

RESUMO

Esse trabalho foi desenvolvido com objetivo de investigar a viabilidade e as contribuições educacionais da associação de duas abordagens pedagógicas: A Modelagem Matemática e a Experimentação em Ensino de Física. As atividades Experimentais de Física foram realizadas com diferentes níveis de estruturação. Como parte da metodologia empregada, analisamos os relatórios de quatro atividades experimentais e as respostas apresentadas pelos alunos na entrevista realizada no final das intervenções. Constatamos nítidos avanços na capacidade dos estudantes de realizar medidas adequadamente, escolher os instrumentos corretos para realizar as atividades e analisar os dados obtidos à luz de teorias científicas.

Palavras-chave: Modelagem matemática. Ensino de Física. Atividades experimentais. Laboratório didático. Método científico.

ABSTRACT

The aim of this paper was to investigate the feasibility and educational contributions of association of two pedagogical approaches: Mathematical Modeling and Experimentation in Physics Teaching. The Experimental Activities of Physics done in different levels of structuration. Integrating the used methodologies, we analyze the reports of four experimental activities and responses presented by the students during interview conducted at the end of the interventions. We found clear improvements in students' ability to perform properly measured, CAMPOS, Luís da Silva; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de. Articulação do ensino de física com o ensino de matemática através da modelagem matemática e das atividades experimentais.



n. 19 (jul. – dez. 2015), dez./2015 – Movimento Epistemológico

choosing the right tools to carry out activities and analyze the data in the light of scientific theories.

Key-words: Mathematical modeling. Physics teaching. Experimental activities. Didactic laboratory. Scientific method.

INTRODUÇÃO

Como áreas do conhecimento humano, a Física e a Matemática estão intimamente relacionadas. Talvez por isso, a Física foi uma das primeiras Ciências a estruturar seu pensamento em modelos matemáticos conforme nos mostra Pietrocola (2002). Quando se trata do Ensino essas duas áreas são tratadas de maneiras muito diferentes. Conteúdos comuns das duas disciplinas são propostos em momentos escolares diferentes, havendo certo distanciamento na linguagem empregada, de forma que muitas vezes os alunos apresentam dificuldades para perceber as relações existentes entre elas. Quando as atividades experimentais são introduzidas no ensino, em geral se limitam às demonstrações conduzidas pelos professores, sem pretensão de que sejam feitas medidas ou estabelecidas relações entre as grandezas.

Existem ainda situações em que essas atividades são desenvolvidas segundo o que se denomina “ensino de laboratório programado” indicado por Ribeiro *et al.* (1997). Nesta modalidade de experimentação, geralmente não são realizadas discussões acerca dos fundamentos epistemológicos relacionados ao uso do Método Científico e da relação existente entre teoria e prática como nos mostram os trabalhos de Moreira e Ostermann (1993), Medeiros e Bezerra Filho (2000) e Arruda e Laburú (2002). Desse modo, o estímulo à criatividade dos alunos no processo de tomada de decisões em diversas situações e até mesmo a possibilidade de utilizar os erros com oportunidade para uma eventual mudança de estratégia são descartados. Essas atividades não propiciam uma aprendizagem crítica decorrente da colocação dos alunos no centro das abordagens, o que poderia auxiliá-los a atuar como sujeitos ativos e responsáveis na condução das atividades educacionais.

Atuando como professor de Física da Instituição em que essa pesquisa foi realizada, percebemos a dificuldade que os alunos enfrentavam no momento de utilizar os conceitos teóricos da Física e da Matemática para resolverem problemas práticos derivados das atividades experimentais que eles realizavam nos laboratórios didáticos. Apesar das diversas disciplinas que

CAMPOS, Luís da Silva; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de. Articulação do ensino de física com o ensino de matemática através da modelagem matemática e das atividades experimentais.



n. 19 (jul. – dez. 2015), dez./2015 – Movimento Epistemológico

os alunos já haviam cursado antes das atividades experimentais, eles não conseguiram mobilizar os conteúdos estudados anteriormente para construir seus relatórios e apresentarem soluções para os problemas enfrentados, que estivessem fundamentados nos conhecimentos de Física e Matemática.

Para investigar com mais detalhes esse fenômeno, resolvemos desenvolver algumas atividades educacionais que envolviam a realização de experimentos, a discussão dos resultados obtidos pelos diferentes grupos, a construção dos relatórios desses experimentos e entrevistas com cada grupo, para entendermos as dificuldades dos alunos em associar os conhecimentos teóricos com as atividades práticas. Nesse sentido, os relatos das experiências realizadas pelos alunos são importantíssimos para a nossa análise. No entanto, não podemos confundir-lo como a pesquisa propriamente dita, como nos indica Bicudo (1993). Assim, buscamos a compreensão de um fenômeno educacional através da observação de como as atividades pedagógicas são desenvolvidas por nossos estudantes e qual o sentido que eles atribuem a relação entre os modelos teóricos e os dados experimentais.

Para a realização desse trabalho, selecionamos uma turma de Licenciatura em Matemática em uma universidade particular localizada na grande São Paulo. No que diz respeito à turma escolhida para nossa intervenção, acreditamos que como futuros Educadores em Matemática, esses alunos poderão diminuir a distância entre as duas áreas do conhecimento anteriormente mencionadas. Alguns se tornarão Educadores em Física e, nesse caso, sua formação acadêmica será essencial para que suas intervenções, junto aos seus futuros alunos, possam ser realizadas de forma a permitir uma conexão mais ampla entre a Física e a Matemática. Deste modo, pensando em contribuir para a minimização desses problemas, nosso trabalho visa propor mecanismos para a aproximação do Ensino de Física e de Matemática, associando o conteúdo com a vivência dos alunos, facilitando que consigam atribuir sentido ao formalismo matemático necessário para a solução de problemas experimentais, que talvez venham a integrar as ações realizadas por esses futuros professores.

Sendo assim, entendemos que as atividades experimentais podem e devem ser utilizadas como problemas reais que demandam em sua resolução a associação de conceitos teóricos e atividades práticas. Defendemos a ideia de que o trabalho no laboratório pode auxiliar a desenvolver habilidades práticas e promover interações entre os alunos, além de aproximar os

CAMPOS, Luís da Silva; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de. Articulação do ensino de física com o ensino de matemática através da modelagem matemática e das atividades experimentais.



n. 19 (jul. – dez. 2015), dez./2015 – Movimento Epistemológico

estudantes dos professores. Dado o panorama acima descrito, onde destacamos a problemática de pesquisa, apresentamos a seguir a questão de pesquisa que norteou as nossas investigações: *como os alunos do curso de Licenciatura em Matemática analisam alguns fenômenos físicos, em um ambiente onde se articula a Modelagem Matemática e a Experimentação em Ensino de Física?*

25

A ESCOLHA DA CONCEPÇÃO DE MODELAGEM MATEMÁTICA

Ao fundamentarmos a pesquisa, tivemos como propósito utilizar a concepção de Modelagem Matemática que julgamos mais adequada para a realização das atividades, tendo em vista a construção da independência intelectual dos alunos. Nessa pesquisa, propusemos atividades de Modelagem Matemática para serem realizadas nos três casos. Segundo Barbosa (2004a), podemos encontrar as seguintes características para esses casos:

No caso 1, o professor apresenta um problema, devidamente relatado, com os dados qualitativos e quantitativos, cabendo aos alunos a investigação. Já no caso 2, os alunos deparam-se apenas com o problema para investigar, mas tem que sair da sala de aula para coletar dados. Ao professor, cabe apenas a tarefa de formular o problema inicial. E, por fim, no caso 3, trata-se de projetos desenvolvidos a partir de temas ‘não-matemáticos’, que podem ser escolhidos pelo professor ou pelos alunos. Aqui, a formulação do problema, a coleta dos dados e a resolução são tarefas dos alunos (BARBOSA, 2004a, p. 5-6).

Nossa proposta está pautada na compreensão da Modelagem Matemática como *um ambiente de aprendizagem no qual os alunos são convidados a indagar/ou investigar, por meio da matemática, situações oriundas de outras áreas da realidade* (BARBOSA, 2001, p. 6). Nesse sentido a Modelagem Matemática aborda problemas reais existentes em outras áreas do conhecimento e utiliza os conceitos matemáticos na sua investigação e solução. Em seus trabalhos, Barbosa (2001, 2004a, 2004b) apenas descreve os três casos de Modelagem Matemática sem propor que as atividades pedagógicas se desenvolvam partindo do primeiro para chegar ao terceiro caso. Porém, entendemos que seria importante associar os casos de Modelagem Matemática aos tipos de Laboratório Didático mostrado por Ribeiro *et al.* (1997), com o intuito de aproximar as atividades experimentais de Física dos conceitos de Modelagem apresentados pelos pesquisadores da Educação Matemática.

CAMPOS, Luís da Silva; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de. Articulação do ensino de física com o ensino de matemática através da modelagem matemática e das atividades experimentais.



n. 19 (jul. – dez. 2015), dez./2015 – Movimento Epistemológico

O PAPEL DO EXPERIMENTO NO ENSINO DE FÍSICA

Quando elaboramos as atividades experimentais, almejávamos avançar entre os três casos da Modelagem Matemática abordados por Barbosa (2001, 2004a e 2004b), o que nos sinalizava a necessidade de caminharmos no sentido das atividades menos estruturadas. Identificamos relações entre as propostas de Modelagem Matemática apresentadas por Barbosa (2001, 2004a e 2004b) e de Experimentação em Ensino de Física defendida por Ribeiro *et al.* (1997), na medida em que ambas desejam que os alunos alcancem maior autonomia em seus processos de construção do conhecimento.

Cabe ressaltar que os três tipos de Laboratório de Ensino de Física não constituem situações estanques. A transição entre os tipos de laboratório deve ser feita de forma gradativa de modo a começarmos com atividades estruturadas cujos roteiros são detalhados, caminhando para as atividades semiestruturadas com roteiros que fornecem informações sobre os experimentos, porém com mais liberdade de ação e de decisão dos alunos do que um roteiro estruturado discutido por Ribeiro *et al.* (1997).

A utilização dos experimentos quantitativos permite que os alunos trabalhem com tratamento de dados, verifiquem o limite de validade de leis científicas, aprendam a usar adequadamente diferentes instrumentos de medidas e desenvolvam os modelos matemáticos dos fenômenos estudados, conforme assevera Araújo e Abib (2003). Entretanto, é preciso deixar claro que não pretendemos disseminar a ideia de que o Método Científico segue uma rígida rotina de observação, formulação de hipóteses, experimentação, medição, conclusões e estabelecimento de relações e de leis e teorias científicas, concepção que discordamos e que é fortemente criticada por Moreira e Ostermann (1993), entre outros pesquisadores. Ao contrário, pretendemos mostrar que a Ciência se constrói em uma articulação dos conceitos teóricos com os dados experimentais, onde as concepções de mundo dos cientistas, o momento histórico, político e social são de fundamental importância nessa construção, em linha com o que estabelecem as atuais orientações curriculares nacionais (BRASIL, 1999, 2002 e 2006) e com a defesa que alguns pesquisadores fazem do papel da experimentação para a consolidação dos modelos

CAMPOS, Luís da Silva; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de. Articulação do ensino de física com o ensino de matemática através da modelagem matemática e das atividades experimentais.



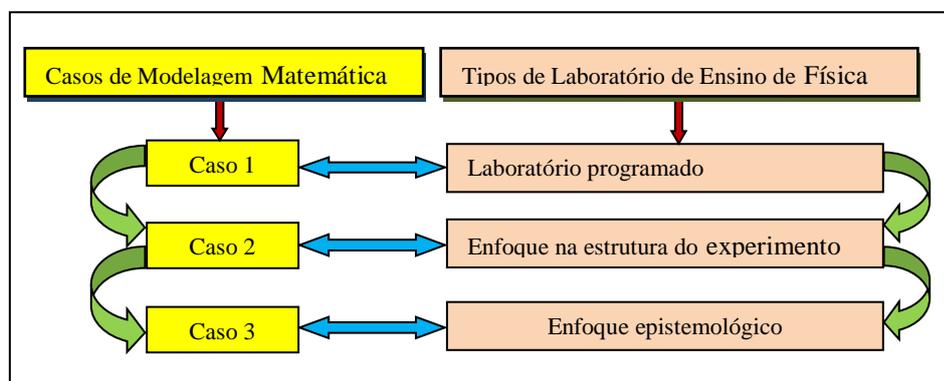
n. 19 (jul. – dez. 2015), dez./2015 – Movimento Epistemológico

teóricos e dos paradigmas científicos como Moreira e Ostermann (1993); Medeiros e Bezerra Filho (2000) e Arruda e Laburú (2002).

Uma possibilidade de associação da Modelagem Matemática com a Experimentação em Ensino de Física é ilustrada na figura seguinte. Entendemos que existem semelhanças e diferenças entre os casos de Modelagem Matemática e os tipos de Laboratório de Ensino de Física. No caso 1 os alunos recebem todas as informações do problema, enquanto que no laboratório programado o aluno precisa coletar os dados. No entanto, nessas duas modalidades os alunos são direcionados a resolver um problema escolhido pelo professor cuja análise dos dados também é direcionada pelo educador. O caso 2 é bastante semelhante ao Laboratório com Enfoque na estrutura do experimento. Nas duas modalidades os alunos precisam coletar os dados de um problema formulado pelo professor. No entanto, para a Modelagem Matemática esse problema pode ter origem diferente de um problema experimental, enquanto que para o Laboratório com enfoque na estrutura do experimento, devemos necessariamente ter uma situação experimental envolvida, com um roteiro semiestruturado que aponta as grandezas a serem medidas, cabendo aos alunos à tarefa de escolher os procedimentos adotados para a efetivação dessas medidas. O caso 3 e o Laboratório com enfoque epistemológico também são semelhantes, visto que nas duas propostas os alunos precisam planejar e executar grande parte das atividades. Cabe ao professor intermediar a realização das atividades e a discussão dos resultados, formulando questões que auxiliem os alunos a encontrar respostas para suas dúvidas.

Vale a pena ressaltar que para a Modelagem Matemática as atividades devem partir de temas ‘não matemáticos’, eventualmente relacionados a contextos sociais, econômicos ou científicos, entre outros, em que os conceitos matemáticos são utilizados para dar sentido aos fenômenos observados. Portanto, percebemos que existem possibilidades de articular o Ensino de Física com o Ensino de Matemática. A nossa investigação buscou estabelecer uma possível aproximação entre essas duas áreas do conhecimento. Entendemos que esta não é a única possibilidade de articular esses conhecimentos, constituindo apenas uma entre tantas outras alternativas.

Figura 1: Relações entre casos de Modelagem Matemática e tipos de laboratório de Ensino de Física



Propomos que as primeiras atividades educacionais sejam estruturadas envolvendo o caso 1 de Modelagem Matemática associado ao Laboratório programado. Essas atividades devem evoluir para situações menos estruturadas, uma vez que defendemos a ideia de que a autonomia dos alunos deva ser gradualmente construída. Simultaneamente é necessário que o professor desenvolva familiaridade e segurança no processo de condução de atividades educacionais de caráter aberto, normalmente relacionadas com projetos, em que o aluno deve atuar como um sujeito ativo na construção do seu conhecimento.

A METODOLOGIA DA PESQUISA

Esse trabalho envolveu uma turma de 23 alunos do curso noturno de Licenciatura em Matemática de uma Universidade particular localizada na grande São Paulo, nas disciplinas de Laboratório de Ensino de Física I e II. No início das atividades os alunos já tinham cursado Cálculo I e II, Física I, Geometria Euclidiana, Geometria Analítica entre outras disciplinas. Portanto, os conceitos de função, limites, derivadas, cinemática linear, força e leis de Newton já haviam sido estudados nos semestres anteriores.

Paralelamente às disciplinas Experimentais, os alunos estudavam os processos de integração e equações diferenciais em Cálculo III e IV, aplicações das leis de Newton, energia mecânica, quantidade de movimento e as leis da conservação da energia e da quantidade de movimento, hidrostática, eletrostática e eletrodinâmica em Física II e III. Nas disciplinas

CAMPOS, Luís da Silva; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de. Articulação do ensino de física com o ensino de matemática através da modelagem matemática e das atividades experimentais.



n. 19 (jul. – dez. 2015), dez./2015 – Movimento Epistemológico

experimentais os alunos tinham duas aulas semanais que eram independentes das aulas teóricas. Ao planejarmos este trabalho, procuramos definir quais os experimentos seriam utilizados, como os alunos deveriam desenvolver suas atividades e quais os instrumentos seriam empregados nas nossas avaliações da pesquisa. Como recorte para este artigo, utilizaremos como instrumentos de análise os relatórios elaborados após as atividades experimentais e as respostas apresentadas pelos alunos durante as entrevistas realizadas no final das intervenções. Analisaremos apenas as quatro atividades iniciais realizadas ao longo de um semestre letivo.

29

OS EXPERIMENTOS REALIZADOS

Ao longo dessa pesquisa, os alunos realizaram atividades experimentais que apresentaram diferentes níveis de estruturação em seus roteiros. Embora originalmente tenham sido realizadas sete atividades experimentais (CAMPOS, 2010), para efeitos deste trabalho apenas quatro dessas atividades foram analisadas. Queremos entender como os alunos utilizam os dados experimentais e os conceitos teóricos para elaborarem os modelos matemáticos dos fenômenos presentes nos experimentos e a importância dessas atividades para a construção da autonomia dos alunos e do conhecimento produzido por esta abordagem, que busca associar os casos de Modelagem Matemática aos tipos de Laboratório de Ensino de Física.

PRIMEIRO EXPERIMENTO: MOVIMENTO RETILÍNEO UNIFORME

Em uma experiência envolvendo movimento retilíneo uniforme, existe a possibilidade de abordar conceitos importantes como orientação da trajetória, origem dos espaços e o fato da relação entre duas grandezas físicas proporcionais ter um significado físico importante conforme nos mostra Gaspar (2014). Atividades experimentais similares a essa que desenvolvemos são apresentadas por Peruzzo (2012) para abordar experimentalmente o movimento retilíneo de uma partícula que se desloca com velocidade constante.

Essa atividade foi realizada com o objetivo pedagógico de se estudar o movimento de uma esfera metálica colocada no interior de um tubo de acrílico contendo óleo para lubrificar motores de automóveis. O tubo foi inclinado em relação à horizontal para que a velocidade CAMPOS, Luís da Silva; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de. Articulação do ensino de física com o ensino de matemática através da modelagem matemática e das atividades experimentais.



n. 19 (jul. – dez. 2015), dez./2015 – Movimento Epistemológico

terminal da esfera fosse baixa o suficiente que permitisse medir o tempo do seu deslocamento a cada 5,0 cm. Para o melhor entendimento da orientação da trajetória, do conceito de velocidade média negativa e da adoção da origem da trajetória, sugerimos que os alunos escolhessem outro ponto para ser utilizado como origem e orientassem a trajetória de maneira diferente daquela já utilizada. As fotos da figura seguinte mostram uma possibilidade de orientação das trajetórias, os pontos tomados como origens e um grupo de alunos realizando essa atividade.

30

Figura 2: Fotos das duas orientações das trajetórias e dos alunos realizando o experimento.



Com os deslocamentos realizados pela esfera e os intervalos de tempo gastos para cada deslocamento, os alunos deveriam: calcular os valores das velocidades médias; construir os gráficos do espaço em função do tempo e da velocidade média em função do tempo; verificar o tipo de movimento da esfera ao longo do tubo e apresentar a função horária que relacionava os espaços ocupados pela esfera ao longo do tubo. Os alunos realizaram essa atividade experimental com um roteiro estruturado Ribeiro *et al.* (1997), no qual apresentamos um modelo de relatório constituído de título do experimento, materiais utilizados, objetivos do experimento, fundamentação teórica, descrição do experimento, apresentação das tabelas de dados, cálculo das grandezas físicas que não foram medidas diretamente, construções dos gráficos e da função horária do espaço ocupado com o tempo de movimento, análise dos resultados encontrados, conclusões e bibliografia.



n. 19 (jul. – dez. 2015), dez./2015 – Movimento Epistemológico

SEGUNDO EXPERIMENTO: PLANO INCLINADO COM ÂNGULO FIXO

Essa atividade experimental pode possibilitar uma discussão rica envolvendo conceitos importantes da física como a diferença entre velocidade e aceleração. O conceito de velocidade é mais fácil de ser assimilado pelos alunos, pois visualmente é perceptível quando um objeto se move mais rapidamente. Entretanto, experiências em que a velocidade aumenta, os alunos calculam a aceleração e encontram valores aproximadamente iguais podem abrir possibilidades de discussões envolvendo essas duas grandezas. Essa atividade também é proposta por Peruzzo (2012).

Esse experimento teve como objetivo pedagógico estudar as características do movimento de uma esfera que descia um plano inclinado como mostrado na figura 3. Nessa aula fornecemos um roteiro com informações do objetivo do experimento, informações sobre movimentos uniformemente acelerados e situações típicas que poderíamos encontrar esses movimentos no dia a dia. Nesse texto, informamos sobre movimento dos objetos em um plano inclinado liso e em um plano inclinado com atrito e que as estratégias utilizadas para a realização do experimento, a utilização dos instrumentos, a coleta de dados, sua análise, a construção dos gráficos e todo o relatório deveria ser feita em conjunto sem a nossa interferência. Este procedimento se justifica na medida em que procurávamos estimular a autonomia dos estudantes na realização do experimento, na coleta dos dados e suas análises, bem como na elaboração e apresentação dos relatórios.

Figura 3: Plano inclinado com os alunos realizando o experimento.





n. 19 (jul. – dez. 2015), dez./2015 – Movimento Epistemológico

Nosso intuito foi diminuir a estruturação dos roteiros com o objetivo de deixar os alunos com a responsabilidade de conduzir todo o processo realizado dentro do laboratório de Física como discutido por Ribeiro *et al.* (1997). Acreditamos que a independência intelectual se consegue através de um processo lento e gradual e que as decisões de como se deve proceder para a realização das atividades faz parte de sua construção. Informamos também que os alunos deveriam realizar no mínimo dez medidas do tempo de movimento para cada deslocamento do objeto e que na aula seguinte seriam construídos os gráficos, efetuada a análise dos dados e finalizado o relatório.

Na aula seguinte os alunos não conseguiam associar os valores medidos com os dados necessários para a determinação da aceleração que a esfera descia o plano inclinado. Pedimos aos alunos que consultassem nos materiais didáticos, os detalhes do movimento uniformemente acelerado, suas funções horárias e os relacionassem com a atividade experimental que eles tinham desenvolvido. Após longo período de discussões eles conseguiram associar os resultados das medidas com as grandezas teóricas envolvidas nas funções horárias necessárias para calcular os valores da aceleração. Eles determinaram a aceleração média e os valores da velocidade para cada instante de movimento.

TERCEIRA EXPERIÊNCIA: PLANO INCLINADO COM ÂNGULO VARIÁVEL

Os alunos realizaram esse experimento tendo como objetivo pedagógico a verificação da dependência da aceleração de um corpo que desce um plano inclinado com o ângulo de inclinação desse plano. O dispositivo utilizado nesse experimento possibilitava determinar a aceleração para diferentes ângulos de inclinação do plano, mostrado na figura 4. Fornecemos um roteiro com informações sobre planos inclinados com atrito e sem atrito e da variação da aceleração com o ângulo de inclinação. Nesse roteiro não apresentamos as relações matemáticas da aceleração no plano inclinado com as outras grandezas envolvidas. Também não mencionamos a decomposição do peso do corpo nas direções paralela e perpendicular ao plano nem associamos a segunda lei de Newton ao movimento do corpo que desce o plano. Esse roteiro ainda pode ser considerado estruturado como nos indica Ribeiro *et al.* (1997).

CAMPOS, Luís da Silva; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de. Articulação do ensino de física com o ensino de matemática através da modelagem matemática e das atividades experimentais.



n. 19 (jul. – dez. 2015), dez./2015 – Movimento Epistemológico

Para cada altura do apoio foram medidos os tempos gastos para uma esfera metálica realizar seus deslocamentos. Assim, para cada inclinação do plano, os alunos realizaram de oito a doze medidas, o que possibilitou a determinação do valor médio da aceleração de descida da esfera. Esse objeto foi solto sem velocidade inicial e na origem dos espaços. Como a aceleração desse corpo era constante, os alunos calcularam os valores da aceleração para cada inclinação do plano, utilizando as relações do movimento uniformemente variado.

33

Figura 4: determinação da aceleração da esfera para diferentes ângulos de inclinação do plano.



Considerando cada inclinação imposta ao plano inclinado, os alunos mediram a altura, o comprimento e a projeção do plano sobre a mesa. Com esses dados eles determinaram os valores do seno, cosseno e tangente do ângulo de inclinação. Para pequenos ângulos, apareceu a dificuldade de medir a diferença entre os valores da projeção do plano sobre a mesa e o comprimento do plano. Nesses casos sugerimos que os alunos procurassem alguma relação entre o seno e o cosseno do ângulo de tal forma que pudessem calcular os valores das grandezas mencionadas.

Na data de entrega dos relatórios apareceram dificuldades em verificar se o plano utilizado no experimento poderia ser considerado sem atrito ou não. Após as discussões dos grupos sobre suas fundamentações teóricas, verificamos que eles conseguiram comparar o valor médio da aceleração; calculado para uma inclinação específica, com o valor que essa grandeza teria se não houvesse atrito, chegando à conclusão de que o atrito do plano em questão não poderia ser desprezado. Sugerimos então que eles calculassem o coeficiente de atrito para as

CAMPOS, Luís da Silva; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de. Articulação do ensino de física com o ensino de matemática através da modelagem matemática e das atividades experimentais.

várias inclinações do plano e fizessem uma conclusão do relatório relacionando esse coeficiente com o movimento da esfera. Informamos que eles deveriam observar os conceitos de plano inclinado com atrito abordado nos livros de Ensino Médio e de cursos superiores e que eles poderiam utilizar esses materiais didáticos nas suas fundamentações teóricas, como suporte para a análise dos dados e para a construção dos relatórios.

QUARTO EXPERIMENTO: DEFORMAÇÃO ELÁSTICA DE UMA MOLA

Atividades experimentais envolvendo a determinação da constante elástica de uma mola, através da lei de Hooke são propostas por autores como Gaspar (2014), Peruzzo (2012) e Campos *et al* (2008). Esta é uma experiência clássica na qual alguns conceitos importantes da Física, tais como relação entre grandezas proporcionais, a lei de Hooke e o significado da constante elástica da mola, podem ser abordados.

Para esta atividade elaboramos um pequeno texto com informações sobre a lei de Hooke e sua importância histórica. Mencionamos as aplicações desse princípio no que diz respeito ao funcionamento dos dinamômetros e de outros aparelhos que utilizam molas e suas deformações. Inicialmente os alunos utilizaram uma mola com uma das extremidades presa a um suporte e a outra extremidade livre para que objetos de massa 200 g cada pudessem ser presos, como ilustrado na figura 5. Os alunos receberam quatro objetos de 200 g cada para que variassem as forças aplicadas na extremidade da mola e medissem as deformações proporcionadas pelos respectivos valores de força. Essa deformação correspondia à diferença entre o comprimento da mola com e sem a força aplicada em sua extremidade.

Figura 5: foto dos alunos realizando a atividade e dos dados anotados por um dos alunos.





n. 19 (jul. – dez. 2015), dez./2015 – Movimento Epistemológico

Os alunos mediram os comprimentos da mola, calcularam suas deformações e montaram uma tabela com os valores das forças aplicadas e das deformações da mola. Fornecemos outra mola de constante elástica bem menor do que aquela já utilizada, cinco objetos de massa 50 g cada um e pedimos que eles repetissem o experimento. Solicitamos que eles procurassem na literatura fundamentação teórica para esse experimento, que construíssem um gráfico da força aplicada em função da deformação elástica para cada mola, que relacionassem matematicamente os valores medidos, que extrapolassem e interpolassem valores de forças e de deformações para as molas trabalhadas e discutissem os limites de validade das relações que eles determinaram.

Através dessa experiência clássica os alunos podem desenvolver habilidades de construir e analisar gráficos além de possibilitar uma discussão muito rica que envolve a razão de duas grandezas Físicas diretamente proporcionais, produzindo outra grandeza Física como nos mostra Gaspar (2014).

ANÁLISE DOS DADOS E OS RESULTADOS OBTIDOS

Para analisar os dados obtidos nesses experimentos, utilizamos os relatórios confeccionados pelos alunos e entregues após o término de cada atividade experimental e as respostas apresentadas nas entrevistas realizadas com cada grupo de estudantes após o término do quarto experimento. Para utilizar as respostas que os alunos apresentaram durante as entrevistas, transcrevemos as suas falas, analisamos e apresentamos as partes que julgamos mais significativas para entendermos o fenômeno que nos apresentava.

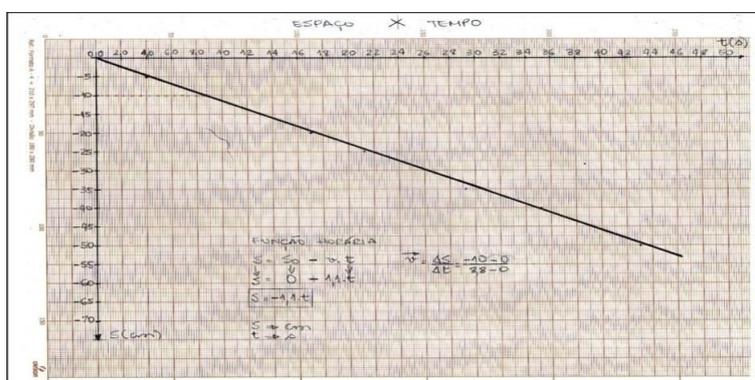
Tivemos o cuidado de manter o foco no problema de pesquisa que tinha como objetivo o entendimento de como os alunos articulavam os conceitos de Física e de Matemática em um ambiente onde a Experimentação para o Ensino de Física estava associada à Modelagem Matemática Escolar, ou seja, a Modelagem Matemática utilizada pelos professores com a finalidade pedagógica de proporcionar aos alunos a construção de novos conhecimentos associados aos fenômenos estudados.

ANÁLISE DOS DADOS DO PRIMEIRO EXPERIMENTO

Ao analisarmos os relatórios constatamos que os alunos conseguiram determinar corretamente o valor das velocidades médias em cada intervalo de tempo, no entanto eles tiveram dificuldade de perceber que essa velocidade tendia para um valor constante. Essa atividade permitiu que os alunos conseguissem escolher uma reta média para o conjunto de pontos obtidos através do experimento, mesmo nos casos em que alguns valores das velocidades não foram corretamente representados.

Um exemplo de gráfico está fornecido na figura 6 a seguir, elaborado por um dos grupos de alunos. Neste gráfico é representado o espaço ocupado pela esfera em função do seu tempo de movimento. Observamos também que os alunos não padronizaram os resultados obtidos com o mesmo número de casas decimais, não conseguiram associar os valores do espaço inicial e da velocidade média da esfera com a função horária dos espaços e, ainda, indicaram de maneira inadequada às unidades de medidas das grandezas físicas envolvidas ou deixaram de indicar essas unidades de medidas.

Figura 6: Gráfico dos espaços em função do tempo para o movimento da esfera no tubo de óleo.



Podemos perceber na figura 7 que os valores do espaço inicial e da velocidade média da esfera foram incorretamente representados no modelo matemático da função horária que relacionava o espaço ocupado pela esfera com o seu tempo de movimento ao longo do tubo de vidro.

CAMPOS, Luís da Silva; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de. Articulação do ensino de física com o ensino de matemática através da modelagem matemática e das atividades experimentais.



n. 19 (jul. – dez. 2015), dez./2015 – Movimento Epistemológico

Figura 7: Tabela dos dados obtidos no experimento da esfera e sua função horária dos espaços.

Tabela 2.

Δs	Δt	V_m
-5 cm	4 s	-1,2
-10 cm	8,8 s	-1,1
-15 cm	13 s	-1,2
-20 cm	17 s	-1,2
-25 cm	21,2 s	-1,2
-30 cm	26,2 s	-1,0
-35 cm	29,2 s	-1,0
-40 cm	35,2 s	-1,1
-45 cm	39,2 s	-1,0
-50 cm	43 s	-1,0

Na Tabela 2 a função horária foi:

$$S = S_0 + vt$$
$$S = 50\text{cm} - 1,2t$$

Os alunos verificavam que a velocidade apresentava um valor diferente para cada distância percorrida, o que gerou alguns conflitos, pois visualmente percebiam que a velocidade da esfera deveria ser constante e no momento de fazer os cálculos eles se deparavam com situações diferentes das que imaginavam, como é evidenciado na fala de dois alunos de um dos grupos:

___ Era constante, mas na nossa marcação ela variava né? [risos]. Como a gente ainda não tinha a visão dos erros de medidas a gente achava que a velocidade tava variando. Só depois que você discutiu os erros de medidas conosco é que começou a fazer sentido o que a gente “tava” encontrando (A5G3).

___ E a gente percebia que parecia ser constante, mas na hora de calcular dava valores ligeiramente diferentes. Depois foi que o professor falou dos erros de medidas e a gente entendeu que naquela experiência a velocidade era constante (A1G3).

As transcrições das respostas apresentadas pelos alunos durante a entrevista são apresentadas com recuo de 4,0 cm à esquerda das margens e tamanho das letras 11. A sigla que aparece em cada transcrição se refere ao aluno e ao grupo que ele pertence. Por exemplo: A1G3 se refere ao primeiro aluno do grupo 3.

Os resultados da pesquisa realizada por Laburú e Barros (2009) mostram que os alunos apresentam maior dificuldade nas investigações quando uma das grandezas analisadas não CAMPOS, Luís da Silva; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de. Articulação do ensino de física com o ensino de matemática através da modelagem matemática e das atividades experimentais.



n. 19 (jul. – dez. 2015), dez./2015 – Movimento Epistemológico

variava com a outra, quando comparada à situação onde as duas grandezas variavam ao mesmo tempo. Nesse caso, os erros experimentais dificultavam sua análise, uma vez que os alunos encontravam pequenas diferenças no seu valor o que, para eles, indicava que essa grandeza não se mantinha constante. As diferenças entre a previsão teórica e os dados obtidos nos experimentos foram mencionadas por vários alunos durante a entrevista. As falas seguintes sinalizam que os estudantes perceberam a proposta das atividades laboratoriais com fins pedagógicos.

- ___ [...] a velocidade da esferinha tinha quase o mesmo valor sempre (A6G2).
- ___ É, mas na hora de calcular essa velocidade dava umas diferenças (A5G2).
- ___ Porque a gente errava alguma coisa na hora de medir, não é? (A2G2).
- ___ Foi por isso que nós desenhamos a reta média no gráfico (A1G2).

Percebemos ainda discrepâncias entre a análise dos relatórios apresentados e a fala de alguns alunos durante a entrevista, no que diz respeito às funções horárias. Uma possível explicação para essa diferença estaria associada ao entendimento dos alunos do significado da função horária do espaço. Provavelmente eles conseguiram dar sentido a essa função, no entanto eles não conseguiram estabelecer as relações matemáticas entre os espaços ocupados pela esfera e o seu tempo de movimento utilizando os dados obtidos experimentalmente.

- ___ Eu aprendi na verdade velocidade constante, tempo e espaço naquele experimento. E achei muito legal porque eu não conseguia assimilar a fórmula que a gente usava para calcular a velocidade. E foi a partir daquele experimento que eu consegui associar espaço, tempo e velocidade, entender a função horária e trabalhar com essa forma (A1G3).

Vale ressaltar que nenhum grupo apresentou adequadamente a função que relacionava o espaço ocupado pelo móvel com o seu tempo de movimento. É interessante destacar que os alunos apresentaram conflitos na utilização dos dados obtidos experimentalmente para a construção das funções matemáticas que descreveriam numericamente os fenômenos físicos envolvidos nesse experimento. O artigo de Laburú e Barros (2009) relata algumas situações em que os alunos apresentaram conflitos quando tentavam associar os dados experimentais com os conceitos teóricos e mostravam grandes dificuldades em compreender a importância do

CAMPOS, Luís da Silva; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de. Articulação do ensino de física com o ensino de matemática através da modelagem matemática e das atividades experimentais.



n. 19 (jul. – dez. 2015), dez./2015 – Movimento Epistemológico

tratamento estatístico de dados experimentais para se apresentar um resultado com maior confiabilidade. Por outro lado, a pesquisa de Agrello e Garg (1999) nos mostra que os professores de Física relatam que os estudantes frequentemente não conseguem utilizar gráficos para representar uma realidade física. Essas pesquisas podem evidenciar eventuais conflitos existentes quando os alunos utilizam os dados experimentais para representar um fenômeno físico.

Durante as intervenções destacamos o fato de que o espaço inicial da esfera, a origem da trajetória e sua orientação dependiam das decisões tomadas no início do experimento, porém o tipo de movimento não era alterado por essas decisões. As correções que fizemos nos relatórios, juntamente com a discussão coletiva dos erros cometidos pelos alunos, possibilitaram uma mudança no entendimento dos fenômenos estudados durante as atividades experimentais, de forma que durante as entrevistas os alunos lembravam detalhes importantes dessa atividade, conforme mostram os relatos a seguir.

___ Você vê na prática a velocidade com que a bolinha descia o tubo. No caso a velocidade era constante “né”? (A6G3).

___ Nós mudamos a orientação e o ponto de início do movimento. A velocidade não alterava. Nós vimos que o ponto inicial é determinado pelos alunos (A2G3).

Além de perceberem que a velocidade da esfera não variava, eles observaram também que a orientação da trajetória não interferia no movimento do objeto e identificaram a influência dos erros de medidas durante a realização do experimento. É importante destacar que esse foi o primeiro experimento do semestre e quase seis meses depois os estudantes lembravam detalhes ocorridos e características essenciais das grandezas envolvidas.

ANÁLISE DOS DADOS DO SEGUNDO EXPERIMENTO

Cada grupo de alunos apresentou a fundamentação teórica diferente, ao contrário do primeiro experimento no qual todos os grupos utilizaram a mesma fundamentação teórica presente no roteiro. Dois grupos não apresentaram as bibliografias utilizadas enquanto os outros dois apresentaram corretamente essas informações.

Verificamos que apenas um dos grupos (G1) apresentou todos os resultados do experimento com uma casa decimal e que esse grupo escreveu corretamente a função horária dos CAMPOS, Luís da Silva; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de. Articulação do ensino de física com o ensino de matemática através da modelagem matemática e das atividades experimentais.



n. 19 (jul. – dez. 2015), dez./2015 – Movimento Epistemológico

espaços como sendo $S = \frac{6,2 t^2}{2} \rightarrow S = 3,1 t^2$. Porém, o grupo cometeu um engano ao apresentar a função horária da velocidade como sendo $v = 3,1 t$, confundindo o valor da aceleração com a constante que relacionava o espaço ocupado pelo móvel com o tempo de movimento na função horária dos espaços. Todos os grupos conseguiram representar os dados através dos gráficos do espaço em função do tempo, da velocidade em função do tempo e da aceleração em função do tempo, mostrando as tendências de suas retas e curvas e justificaram os pontos que ficaram fora de suas representações, associando-os aos erros experimentais. Três grupos não conseguiram construir as funções horárias do espaço e da velocidade com o tempo, apesar dos modelos dessas funções serem mencionadas nas suas fundamentações teóricas. Esses grupos não perceberam que o espaço inicial da função (S_0) e a velocidade inicial da esfera (v_0) eram nulos e que a aceleração apresentada no modelo correspondia ao valor médio dessa grandeza calculado no experimento.

O conflito apresentado pelos alunos ao confrontarem os dados experimentais com os modelos teóricos que relacionam as grandezas estudadas continuava fortemente presente no momento em que eles construíram os seus relatórios. Esse conflito fez com que três grupos não apresentassem as relações matemáticas que relacionavam espaço e tempo e velocidade e tempo.

Figura 8: relatório do grupo 1 que mostra as funções horárias das grandezas espaço e velocidade.

A função horária utilizada no gráfico para calcular a posição foi:

$$s = s_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

$$s = \frac{6,2t^2}{2}$$

$$s = 3,1t^2$$

E para calcular a velocidade foi:

$$v = v_0 + at$$

$$v = 3,1t$$

CAMPOS, Luís da Silva; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de. Articulação do ensino de física com o ensino de matemática através da modelagem matemática e das atividades experimentais.



n. 19 (jul. – dez. 2015), dez./2015 – Movimento Epistemológico

Os alunos dos grupos G2 e G3 continuaram apresentando a unidade centímetro com C maiúsculo para as grandezas espaço e velocidade, respectivamente. Os alunos do grupo G3 apresentaram a unidade de medida da aceleração inadequadamente, escrevendo cm/s quando o certo seria cm/s^2 . Esses alunos não padronizaram os resultados dos cálculos e das medidas no que diz respeito às casas decimais e aos algarismos significativos. A tabela seguinte mostra os dados apresentados por esses grupos.

Tabela 1: apresentação dos dados obtidos pelos alunos durante o experimento com o plano inclinado. Da esquerda para a direita, relatórios dos grupos G1, G2, e G3.

Tabela 1				Tabela 2										
$\Delta s(\text{cm})$	$\Delta t(\text{s})$	$a(\text{cm/s}^2)$	$V(\text{cm/s})$	$\Delta s(\text{cm})$	$\Delta t(\text{s})$	$a(\text{cm/s}^2)$	ΔT	$a(\text{cm/s}^2)$	$V_m(\text{cm/s})$	$\Delta s(\text{cm})$	$\Delta t(\text{s})$	$a(\text{cm/s}^2)$	$v(\text{cm/s})$	
16	2,2	6,5	14,5	0				1,3	15,38	19,9	10	2,0	5,0	10
32	3,2	6,2	20,0	13	1,3	15,38		2	13	26	20	2,5	6,4	16
48	3,8	6,6	25,2	26	2	13		2,3	14,7	33,8	30	3,0	6,6	19,8
64	4,4	6,6	29,1	39	2,3	14,7		2,7	14,26	38,5	40	4,0	5,0	20
80	5,0	6,4	32,0	52	2,7	14,26		3	14,44	43,32	50	4,5	4,9	22
96	5,2	7,0	36,9	65	3	14,44		3,3	14,32	47,25	60	5,0	4,8	24
112	5,0	8,2	41,0	78	3,3	14,32		3,4	15,74	53,5	70	5,5	4,6	25,3
128	5,6	8,1	45,7	91	3,4	15,74		3,8	14,4	54,72	80	6,0	4,4	26,4
144	6,0	8,0	48,0	104	3,8	14,4		4,2	13,26	55,69	90	6,5	4,3	28
160	6,2	8,3	51,6	117	4,2	13,26		4,6	12,28	56,48	100	7,0	4,0	28
176	6,4	8,5	55,0	130	4,6	12,28		4,9	11,9	58,31	110	7,5	3,9	29
192	6,8	8,2	56,4	143	4,9	11,9		5,2	11,53	59,9	120	7,5	4,2	31,5
				156	5,2	11,53		5,4	11,59	62,58				
				169	5,4	11,59		5,5	12,03	66,16				
				182	5,4	12,03		5,6	12,43	69,6				
				195	5,6	12,43		5,7	12,8	72,96				
				208	5,7	12,8								

A diminuição na estruturação dos roteiros foi a principal responsável pelas dificuldades que os alunos mostraram em padronizar os resultados, nas fracas conclusões apresentadas pelos grupos e na omissão das fontes de onde retiraram os textos e modelos dos gráficos. Apesar disso, nas entrevistas com os alunos realizadas no final do semestre, eles nos disseram que esse experimento foi importante para diferenciarem os conceitos de velocidade e de aceleração.

___ Eu percebi. Em umas partes a aceleração dava o mesmo valor e a velocidade “tava” aumentando, né? (A5G3).

___ Era engraçado que eu achava que a aceleração aumentava porque via a esfera descendo cada vez mais depressa. Quando a gente colocava na fórmula, percebia que a aceleração (possuía) quase o mesmo valor. Só assim eu vi que tava trabalhando com coisas diferentes (A6G3).

___ Para uma mesma altura você tinha a mesma aceleração, mas a velocidade aumentava o tempo todo (A3G2).



n. 19 (jul. – dez. 2015), dez./2015 – Movimento Epistemológico

___ Sim. Mais mesmo no caso da aceleração ser constante a gente percebia que a esferinha andava cada vez mais depressa (A5G2).

___ A aceleração era a mesma, mas a velocidade variava (A2G2).

Através desses relatos, podemos perceber que os alunos conseguiram relacionar as grandezas presentes na atividade experimental com as características dos fenômenos estudados, além de diferenciarem os conceitos de aceleração e velocidade, pois não encontramos em nenhum relatório a confusão entre esses conceitos. Entretanto, percebemos a dificuldade encontrada pelos alunos em utilizar as equações matemáticas para calcular as acelerações e as velocidades a partir dos dados do espaço e do tempo de movimento obtidos experimentalmente. Constatamos ainda que os alunos não associaram os valores medidos e calculados com as letras que os representavam nas funções horárias. Ou seja, eles conseguiram fazer as medidas e os cálculos necessários, porém mostraram grandes dificuldades para representar suas relações matemáticas associando as grandezas medidas e calculadas com suas representações teóricas, sendo esse fato mencionado pelos alunos durante as entrevistas. Apresentaremos a seguir transcrições que mostram essas dificuldades.

___ Foi bem difícil associar as fórmulas para calcular a aceleração com o que nós medimos. Só depois de muita discussão e de consultar os livros foi que percebemos que era possível calcular a aceleração com os dados (A3G3).

___ Quando eu vi os valores eu pensei é só dividir... Dividir delta S por delta t. Aí o pessoal falou que não dava. Tive que olhar várias vezes nos livros para conseguir entender que não podia dividir, né? (A2G3).

Isso mostra que os conflitos entre as medidas realizadas e suas representações através das relações matemáticas continuam presente nos relatórios dos alunos, ou seja, os alunos realizavam as medidas, construíam os gráficos e as tabelas, conheciam os modelos matemáticos teóricos que relacionam os fenômenos estudados, mas apresentavam dificuldades em articular os dados experimentais com os conceitos teóricos para calcular os valores das grandezas envolvidas nos fenômenos físicos estudados ou as constantes de proporcionalidades que associam as funções matemáticas aos fenômenos físicos abordados nos experimentos. Cabe ressaltar neste momento do percurso que a possibilidade de utilizar os conceitos matemáticos para a análise de situações e problemas oriundos da realidade e encontrados em outras disciplinas nos fez optar pela

CAMPOS, Luís da Silva; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de. Articulação do ensino de física com o ensino de matemática através da modelagem matemática e das atividades experimentais.



n. 19 (jul. – dez. 2015), dez./2015 – Movimento Epistemológico

associação entre as abordagens pedagógicas da Modelagem Matemática com a Experimentação em ensino de Física como nos mostra Barbosa (2001, 2004a, 2004b).

ANÁLISE DOS DADOS DO TERCEIRO EXPERIMENTO

Os alunos de três grupos observaram que a força de atrito estava presente nesse movimento e que interferia no valor da aceleração do corpo. Eles compararam os valores das médias das acelerações para cada inclinação do plano com aqueles previstos para planos sem atritos e concluíram que o atrito não poderia ser desprezado.

A partir da função que relaciona a aceleração no plano com atrito com a aceleração da gravidade, o coeficiente de atrito e a inclinação do plano, esses grupos determinaram os valores do coeficiente de atrito e verificaram que eles tendiam para um valor constante. Apresentaremos as tabelas (Tabela 2) produzidas pelo grupo G1, com os valores da variação do espaço, da variação do tempo, da aceleração e dos coeficientes de atrito. Observamos que as grandes diferenças nos valores dos coeficientes de atrito apresentados pelo grupo G1 indicam que os dados obtidos no experimento não foram coletados rigorosamente. Esse grupo teve a preocupação de apresentar os valores dos coeficientes de atrito, utilizando-se da notação científica e mantendo nas suas respostas o número de algarismos significativos coerentes com as representações sugeridas pelos pesquisadores que abordam esse tema. Entre esses cientistas podemos citar os trabalhos de Vuolo (1999), Vuolo (2008) e Santoro *et al.* (2008).

O grupo G4 apresentou os valores medidos e calculados das variações dos espaços, das variações do tempo, das acelerações e dos coeficientes de atrito na tabela 3. Eles encontraram valores iguais para o coeficiente de atrito o que mostra que as medidas realizadas foram cuidadosas, ocasionando erros tão pequenos que três casas decimais não foram suficientes para detectá-los. Os relatórios produzidos após esse experimento nos mostraram que os conflitos que os alunos apresentavam entre os valores encontrados experimentalmente e as funções e equações matemáticas que deveriam ser usadas para relacionar as grandezas físicas presentes no experimento diminuíram significativamente. Todos os grupos utilizaram corretamente a equação que permitia determinar a aceleração no plano inclinado, com os valores da variação do espaço e da variação do tempo e três grupos associaram corretamente o coeficiente de atrito com as

CAMPOS, Luís da Silva; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de. Articulação do ensino de física com o ensino de matemática através da modelagem matemática e das atividades experimentais.



n. 19 (jul. – dez. 2015), dez./2015 – Movimento Epistemológico

diferenças entre a aceleração prevista para o plano inclinado liso com aquela encontrada experimentalmente.

Tabela 2: dados obtidos pelos alunos G1, no experimento do plano inclinado.

Inclinação do 1º degrau = 4,0 cm			Inclinação do 2º degrau = 5,5 cm		
Δs (cm)	Δt (s)	a (cm/s ²)	Δs (cm)	Δt (s)	a (cm/s ²)
16,0	1,2	22,2	16,0	1,4	16,3
32,0	2,6	9,5	32,0	2,6	9,5
48,0	3,4	8,3	48,0	2,8	12,2
64,0	3,8	6,7	64,0	3,2	12,5
80,0	4,4	8,2	80,0	3,6	12,3
96,0	4,8	8,3	96,0	4,2	10,9
112,0	5,2	8,2	112,0	4,4	11,6
128,0	5,4	8,7	128,0	4,8	11,1
144,0	6,2	7,4	144,0	5,0	5,0
160,0	7,0	6,5	160,0	5,2	5,2
176,0	7,2	6,1	176,0	5,4	5,4
192,0	7,8	6,4	192,0	5,6	5,6

Aceleração média: 7,6 cm/s² $\mu=1,0 \cdot 10^{-2}$
 Aceleração média: 8,9cm/s² $\mu=1,4 \cdot 10^{-2}$

Inclinação do 3º degrau = 7,0 cm			Inclinação do 4º degrau = 9,0 cm		
Δs (cm)	Δt (s)	a (cm/s ²)	Δs (cm)	Δt (s)	a (cm/s ²)
16,0	1,4	16,3	16,0	1,2	22,2
32,0	1,8	19,7	32,0	1,8	19,7
48,0	2,2	19,8	48,0	2,2	19,8
64,0	3,0	14,2	64,0	2,4	22,2
80,0	3,2	15,6	80,0	2,6	23,6
96,0	3,4	16,6	96,0	3,0	21,3
112,0	3,6	17,2	112,0	3,2	21,8
128,0	3,8	17,7	128,0	3,4	22,1
144,0	4,0	18,0	144,0	6,6	22,2
160,0	4,2	18,1	160,0	3,8	22,1
176,0	4,4	18,2	176,0	4,0	22,0
192,0	4,8	17,1	192,0	4,2	22,2

Aceleração média: 17,4 cm/s² $\mu=1,3 \cdot 10^{-2}$
 Aceleração média: 21,7 cm/s² $\mu=1,7 \cdot 10^{-2}$

Tabela 3: dados obtidos pelos alunos G4, no experimento do plano inclinado.

<table border="1"> <thead> <tr><th>Δs (cm)</th><th>Δt(s)</th><th>a(cm/s²)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>2,6</td><td>3,2</td><td>5,1</td></tr> <tr><td>5,2</td><td>5,1</td><td>4,1</td></tr> <tr><td>7,8</td><td>6,1</td><td>4,2</td></tr> <tr><td>10,4</td><td>6,3</td><td>5,3</td></tr> <tr><td>13,0</td><td>7,0</td><td>5,3</td></tr> <tr><td>15,6</td><td>7,4</td><td>5,7</td></tr> <tr><td>18,2</td><td>8,1</td><td>5,6</td></tr> <tr><td>20,8</td><td>8,4</td><td>5,9</td></tr> </tbody> </table> <p>Aceleração média (5,1) cm/s² $\mu= (0,012)$</p>	Δs (cm)	Δt (s)	a (cm/s ²)	2,6	3,2	5,1	5,2	5,1	4,1	7,8	6,1	4,2	10,4	6,3	5,3	13,0	7,0	5,3	15,6	7,4	5,7	18,2	8,1	5,6	20,8	8,4	5,9	<table border="1"> <thead> <tr><th>Δs (cm)</th><th>Δt(s)</th><th>a(cm/s²)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>2,6</td><td>1,4</td><td>26,5</td></tr> <tr><td>5,2</td><td>2,1</td><td>23,6</td></tr> <tr><td>7,8</td><td>3,0</td><td>17,3</td></tr> <tr><td>10,4</td><td>3,4</td><td>18,0</td></tr> <tr><td>13,0</td><td>4,0</td><td>16,3</td></tr> <tr><td>15,6</td><td>4,2</td><td>17,7</td></tr> <tr><td>18,3</td><td>4,3</td><td>19,7</td></tr> <tr><td>20,8</td><td>5,0</td><td>16,7</td></tr> </tbody> </table> <p>Aceleração média : (19,5) cm/s² $\mu= (0,012)$</p>	Δs (cm)	Δt (s)	a (cm/s ²)	2,6	1,4	26,5	5,2	2,1	23,6	7,8	3,0	17,3	10,4	3,4	18,0	13,0	4,0	16,3	15,6	4,2	17,7	18,3	4,3	19,7	20,8	5,0	16,7
Δs (cm)	Δt (s)	a (cm/s ²)																																																					
2,6	3,2	5,1																																																					
5,2	5,1	4,1																																																					
7,8	6,1	4,2																																																					
10,4	6,3	5,3																																																					
13,0	7,0	5,3																																																					
15,6	7,4	5,7																																																					
18,2	8,1	5,6																																																					
20,8	8,4	5,9																																																					
Δs (cm)	Δt (s)	a (cm/s ²)																																																					
2,6	1,4	26,5																																																					
5,2	2,1	23,6																																																					
7,8	3,0	17,3																																																					
10,4	3,4	18,0																																																					
13,0	4,0	16,3																																																					
15,6	4,2	17,7																																																					
18,3	4,3	19,7																																																					
20,8	5,0	16,7																																																					
<p>Inclinação 02</p> <table border="1"> <thead> <tr><th>Δs (cm)</th><th>Δt(s)</th><th>a(cm/s²)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>2,6</td><td>2,0</td><td>13,0</td></tr> <tr><td>5,2</td><td>2,4</td><td>17,9</td></tr> <tr><td>7,8</td><td>3,2</td><td>15,3</td></tr> <tr><td>10,4</td><td>4,4</td><td>10,7</td></tr> <tr><td>13,0</td><td>5,0</td><td>10,4</td></tr> <tr><td>15,6</td><td>5,2</td><td>11,6</td></tr> <tr><td>18,2</td><td>5,4</td><td>12,5</td></tr> <tr><td>20,8</td><td>6,4</td><td>11,6</td></tr> </tbody> </table> <p>Aceleração média : (12,9)cm/s² $\mu= (0,012)$</p>	Δs (cm)	Δt (s)	a (cm/s ²)	2,6	2,0	13,0	5,2	2,4	17,9	7,8	3,2	15,3	10,4	4,4	10,7	13,0	5,0	10,4	15,6	5,2	11,6	18,2	5,4	12,5	20,8	6,4	11,6	<p>Inclinação 04</p> <table border="1"> <thead> <tr><th>Δs (cm)</th><th>Δt(s)</th><th>a(cm/s²)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>2,6</td><td>1,3</td><td>30,8</td></tr> <tr><td>5,2</td><td>2,1</td><td>23,6</td></tr> <tr><td>7,8</td><td>2,2</td><td>32,2</td></tr> <tr><td>10,4</td><td>2,4</td><td>18,8</td></tr> <tr><td>13,0</td><td>3,1</td><td>27,1</td></tr> <tr><td>15,6</td><td>3,4</td><td>27,0</td></tr> <tr><td>18,2</td><td>4,0</td><td>22,8</td></tr> <tr><td>20,8</td><td>4,1</td><td>24,8</td></tr> </tbody> </table> <p>Aceleração média : (25,9)cm/s² $\mu= (0,012)$</p>	Δs (cm)	Δt (s)	a (cm/s ²)	2,6	1,3	30,8	5,2	2,1	23,6	7,8	2,2	32,2	10,4	2,4	18,8	13,0	3,1	27,1	15,6	3,4	27,0	18,2	4,0	22,8	20,8	4,1	24,8
Δs (cm)	Δt (s)	a (cm/s ²)																																																					
2,6	2,0	13,0																																																					
5,2	2,4	17,9																																																					
7,8	3,2	15,3																																																					
10,4	4,4	10,7																																																					
13,0	5,0	10,4																																																					
15,6	5,2	11,6																																																					
18,2	5,4	12,5																																																					
20,8	6,4	11,6																																																					
Δs (cm)	Δt (s)	a (cm/s ²)																																																					
2,6	1,3	30,8																																																					
5,2	2,1	23,6																																																					
7,8	2,2	32,2																																																					
10,4	2,4	18,8																																																					
13,0	3,1	27,1																																																					
15,6	3,4	27,0																																																					
18,2	4,0	22,8																																																					
20,8	4,1	24,8																																																					



n. 19 (jul. – dez. 2015), dez./2015 – Movimento Epistemológico

Vale ressaltar que todos os dados foram apresentados com uma casa decimal. Isso mostra que os alunos padronizaram as medidas e arredondaram os cálculos para que todas as informações numéricas fossem apresentadas com o mesmo número de casas decimais. Uma aluna do grupo G3 nos mostrou que a associação das equações do movimento uniformemente variado com os dados obtidos nesse experimento para o cálculo da aceleração e da velocidade só ficou mais clara depois que eles relacionaram as grandezas do experimento anterior com os valores obtidos experimentalmente. Isso mostra que essas dificuldades só foram sanadas quando os estudantes associaram o conhecimento teórico desse assunto com os valores medidos durante as atividades.

___ Quando a gente fez a segunda experiência da calha... Aquela que mudava a altura, nós já encontramos mais facilidade. As fórmulas eram quase iguais... Só tivemos que olhar o negócio do atrito para saber se tinha ou não. Mas foi mais fácil né (A1G3).

Quando era alterado o valor do ângulo de inclinação do plano, os alunos, quase na sua totalidade, perceberam que a aceleração de descida da esfera alterava de valor. Quanto maior era o ângulo de inclinação, maior era a aceleração calculada. Eles também perceberam que existia atrito entre a esfera e o plano que não poderia ser desprezado.

___ Assim, mas na verdade o desejo de ver aquilo modificado porque nós tínhamos uma angulação e variava de ângulos o desejo era que aquilo mudasse drasticamente e que a gente verificou que não mudava drasticamente, e a gente verificou que não mudava... Mas a gente não queria aceitar aquilo que a gente tava vendo lá que não mudava drasticamente. Eu percebi que não vai mudar drasticamente (A3G1).

___ Foi ver a aceleração, né? Aceleração que aumentava com a inclinação, ou seja, a altura da calha. Também deu pra observar que, além de você ter uma aceleração ali, você também tem a questão do atrito, né? Porque a bolinha se descer retinha até o meio da calha, ela chega com uma velocidade, se ela descer oscilando até pegar o meio da calha, a velocidade era outra. Então você vê que o atrito, né? (A3G2).

Percebemos um amadurecimento intelectual dos alunos, quando comparamos os relatórios produzidos anteriormente com esses que acabamos de analisar. Os conflitos entre os conceitos teóricos e experimentais diminuíram, os alunos coletaram os dados e analisaram os

CAMPOS, Luís da Silva; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de. Articulação do ensino de física com o ensino de matemática através da modelagem matemática e das atividades experimentais.



n. 19 (jul. – dez. 2015), dez./2015 – Movimento Epistemológico

resultados com muito mais facilidade, bem como apresentaram os resultados de forma organizada e padronizada.

ANÁLISE DOS DADOS DO QUARTO EXPERIMENTO

Em seus relatórios os alunos apresentaram a função matemática que relacionava a força aplicada com a deformação da mola, calcularam os parâmetros envolvidos e apresentaram o modelo matemático que relacionava a força elástica com a deformação da mola. Eles mostraram corretamente o significado de cada letra envolvida na expressão matemática, apresentaram todos os resultados com duas casas decimais e indicaram corretamente todas as unidades de medidas. Os estudantes de um dos grupos apenas cometeram o engano de representar metros com letra maiúscula e apresentar a constante elástica em (K/m) e não (N/m) como é adequado. A figura seguinte mostra esses detalhes.

Figura 9: modelo matemático para as deformações das molas e explicação da simbologia utilizada.

Já com os valores da força aplicada e da deformação da mola, calculamos a constante da mola para todos os valores, com a seguinte fórmula.

$$F = K.X$$

F → Força Aplicada
K → Constante da Mola
X → Deformação da Mola

Logo, então calculamos a média da constante da reta, para a mola amarela. Somamos todos os valores da K(N/m), onde encontramos 412,17, então dividimos por 5 que foi a média encontrada da constante de $K=82,43(N/M)$ é total de valores f(N). E obtivemos a seguinte função para a mola amarela:

$$F = 82,43.X$$

Calculamos também a média da constante da mola prateada. $K(N/m)$ = Somamos os valores da constante da mola e encontramos 60,7 dividimos também por 5. A média da constante foi de $K=12,14 (K/m)$. E obtivemos a seguinte função para a mola prateada.

$$F = 12,14.X$$

Nesse experimento os alunos realizaram uma atividade semiestruturada e conseguiram CAMPOS, Luís da Silva; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de. Articulação do ensino de física com o ensino de matemática através da modelagem matemática e das atividades experimentais.

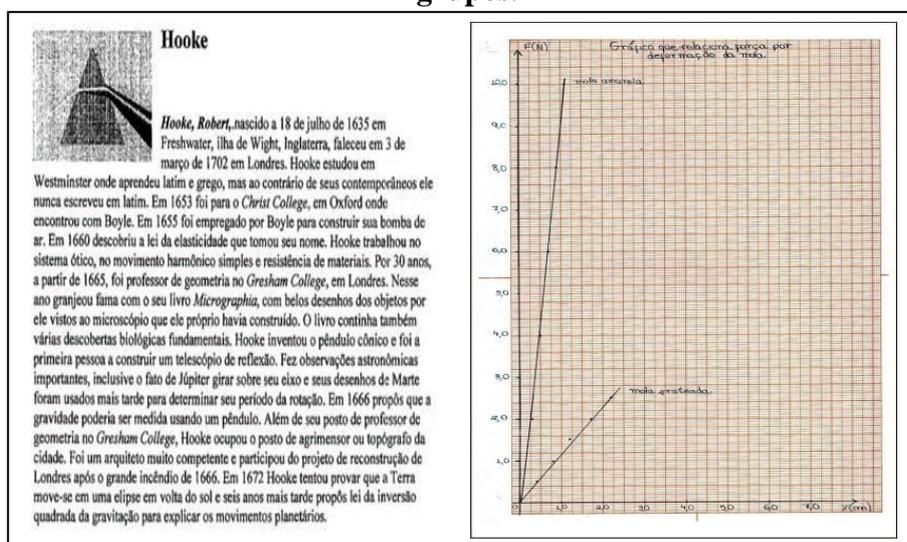
n. 19 (jul. – dez. 2015), dez./2015 – Movimento Epistemológico

utilizar os dados experimentais para a construção dos modelos matemáticos que relacionavam a força com a deformação de duas molas. Durante as entrevistas os alunos apresentaram argumentos favoráveis à utilização dessa intervenção para melhor compreensão dos fenômenos físicos abordados, associando-os com as características dos objetos utilizados.

- ___ Também foi interessante associar a constante das molas com o fato delas serem duras ou macias né? A mola dura tinha maior constante e a mola macia tinha menor constante, o que antes do experimento não estava claro (A6G3).
- ___ A constante elástica era diferente para essas molas. Essa constante muda de uma mola para outra. Então você tinha uma maior deformação numa mola com um peso menor (A5G3).
- ___ Essa ideia da constante né?... Que uma mola apresenta diferente da outra né? Acho que estava meio vago na nossa cabeça e ficou claro com o experimento (A4G2).
- ___ A menor mola teve menor... A maiorzinha tinha uma rigidez maior do que a menorzinha acho que a prateada. Acho que o material dela era mais rígido (A4G1).

Verificamos que nos relatórios os alunos apresentaram boa fundamentação teórica associada ao trabalho do Físico Robert Hooke e construíram adequadamente os gráficos das forças aplicadas com as deformações sofridas pelas molas, como mostra a figura seguinte.

Figura 10: gráficos da deformação das molas e parte da teoria apresentada por um dos grupos.



Nessa atividade o conflito apresentado pelos alunos ao confrontarem os dados

CAMPOS, Luís da Silva; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de. Articulação do ensino de física com o ensino de matemática através da modelagem matemática e das atividades experimentais.



n. 19 (jul. – dez. 2015), dez./2015 – Movimento Epistemológico

experimentais com os modelos matemáticos que relacionam as grandezas físicas não os impediu de elaborar corretamente os seus relatórios. Observamos que para as grandezas proporcionais os alunos elaboraram corretamente a relação matemática da força com a deformação da mola, associaram as constantes de proporcionalidades com as constantes elásticas das molas e apresentaram corretamente os dados numéricos com o mesmo número de casas decimais.

CONCLUSÕES

As investigações aqui apresentadas foram realizadas para verificar como os alunos de um curso de Licenciatura em Matemática analisam alguns fenômenos físicos, em um ambiente onde se articula a Modelagem Matemática e a Experimentação. Percebemos que os estudantes mostraram um permanente conflito entre os dados obtidos experimentalmente e os modelos teóricos utilizados para a análise desses dados. Algumas situações investigadas por outros pesquisadores e que guardam similaridades como as que foram aqui relatadas são encontradas, por exemplo, no trabalho de Laburú e Barros (2009), que relatam possíveis situações de conflito quando alunos utilizam os dados experimentais para analisar os fenômenos Físicos. No mesmo sentido, Agrello e Garg (1999) relataram que os professores constataram que os estudantes não conseguiam utilizar gráficos para representar fenômenos Físicos.

O desenvolvimento das atividades de Modelagem Matemática partindo de uma situação estruturada para outra não estruturada é defendido por Almeida e Brito (2005), enquanto que as atividades experimentais baseadas em um roteiro estruturado e avançando para um roteiro não estruturado são defendidas por Ribeiro et al. (1997), Séré *et al.* (2003) e Borges (1999, 2002). No primeiro experimento os alunos determinaram o valor da velocidade da esfera a partir do gráfico do espaço em função do tempo. No entanto, eles não utilizaram esse valor nem o valor do espaço inicial para representar a função que relacionava o espaço ocupado com o tempo de movimento da esfera. Percebemos que esse conflito foi diminuindo gradativamente, a ponto de no quarto experimento os alunos já conseguirem utilizar as medidas das deformações da mola e dos pesos utilizados para produzir essas deformações no intuito de determinar a constante elástica da mola. Eles também apresentaram os modelos matemáticos que relacionavam essas duas grandezas através dos gráficos e das funções.

CAMPOS, Luís da Silva; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de. Articulação do ensino de física com o ensino de matemática através da modelagem matemática e das atividades experimentais.



n. 19 (jul. – dez. 2015), dez./2015 – Movimento Epistemológico

Essa pesquisa foi importante para mostrar o conflito que apresentamos anteriormente e ilustrar as dificuldades em desenvolver um trabalho pedagógico que associa a Modelagem Matemática com as atividades experimentais em ensino de Física. No entanto, são necessárias outras pesquisas que investiguem e discutam qual é o papel da Matemática na solução de problemas experimentais de modo que os conflitos observados nessa pesquisa sejam trabalhados de forma a não impedir que os estudantes utilizem os modelos teóricos para fundamentar suas análises dos dados experimentais.

Verificamos a importância e as contribuições na aproximação dessas duas abordagens pedagógicas, a Modelagem Matemática e a Experimentação em Ensino de Física, para a formação dos estudantes, pois foi perceptível a ampliação da sua autonomia de ação e de pensamento. Neste sentido, Araújo e Anjos (2006, p. 279) defendem o uso da experimentação, pois ela permite o “desenvolvimento de algumas competências e habilidades nos estudantes, como a capacidade de trabalho em grupo e o uso e a interpretação da linguagem matemática envolvida na determinação dos parâmetros físicos de interesse”. Portanto, a vivência do processo contribuiu para que os alunos se tornassem indivíduos menos dependentes do professor e em melhores condições para que se envolvam e valorizem as atividades pedagógicas aqui propostas.

Versões mais compactadas desse artigo foram apresentadas em alguns congressos (CAMPOS e ARAÚJO, 2009a, 2009b, 2011a, 2011b, 2014 e 2015). Nesse artigo apresentamos uma versão mais completa, com discussão mais aprofundada dos fenômenos que estiveram presentes ao longo da nossa pesquisa e com atualizações dos referenciais teóricos que nos deram suporte para analisar os dados coletados ao longo das intervenções.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a CAPES o apoio financeiro e os avaliadores Prof. Me. Felício Guilardi Júnior e Prof. Dr. Valmir Henrique de Araújo pelas críticas e sugestões que contribuíram para o enriquecimento e aperfeiçoamento do nosso artigo.

CAMPOS, Luís da Silva; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de. Articulação do ensino de física com o ensino de matemática através da modelagem matemática e das atividades experimentais.



n. 19 (jul. – dez. 2015), dez./2015 – Movimento Epistemológico

REFERÊNCIAS

AGRELLO, D. A.; GARG, R. Compreensão de gráficos de cinemática em física introdutória. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 21, n. 1, p. 103 – 115, 1999.

ALMEIDA, L. M. W.; BRITO D. S. Atividades de modelagem matemática: que sentido os alunos podem lhe atribuir? **Ciência & Educação**, v. 11, n. 3, p. 483 – 498, 2005.

ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 2, n. 25, p. 176 – 194, 2003.

ARAÚJO, M. S. T.; ANJOS, Q. F. F. Determinação da sensibilidade de bobinas magnéticas utilizando a lei de indução de Faraday. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 23, n. 2, p. 277-287, 2006.

ARRUDA, S. M.; LABURÚ, C. E. Considerações sobre a função do experimento no ensino de ciências. In: _____. **Questões atuais no ensino de ciência, educação para a ciência**. São Paulo: Editora Escrituras, v. 2, p. 53 – 60, 2002.

BARBOSA, J. C. Modelagem matemática na sala de aula. In: ENCONTRO DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 8., 2004a, Recife. **Anais...** Recife: ENEM, SBEM, 2004a. p. 1 – 10, Minicurso GT 10 Modelagem Matemática, 2004a. Disponível em: <http://www.sbem.com.br/files/viii/pdf/10/MC86136755572.pdf>> Acesso em: 06/10/2015.

_____. Modelagem matemática: o que é? por que? como? **Veritati**. n. 4, p. 73 – 80, 2004b.

_____. Modelagem matemática e os professores: a questão da formação. **Bolema**, ano 14, n. 15, p. 5 – 23, 2001.

BICUDO, M. A. V. Pesquisa em educação matemática. **Pró-Posições**, v. 4, n. 1[10], p. 18 – 23, 1993.

BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 3, p. 291 – 313, 2002.

_____. Como evoluem os modelos mentais. **ENSAIO - Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 1, n. 1, p. 1 – 28, 1999.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Básica. **Orientações curriculares para o ensino médio**. Brasília: Ministério da Educação MEC – SEMTEC, v. 2, 2006.

CAMPOS, Luís da Silva; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de. Articulação do ensino de física com o ensino de matemática através da modelagem matemática e das atividades experimentais.



n. 19 (jul. – dez. 2015), dez./2015 – Movimento Epistemológico

_____. Secretaria de Educação Média e Tecnologia. **PCN+ ensino médio:** orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais. Ciências da natureza, física. Brasília: Ministério da Educação MEC, SEMTEC, 2002.

_____. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros curriculares nacionais:** ensino médio. Brasília: Ministério da Educação MEC – SEMTEC, 1999.

CAMPOS, A. R.; ALVES, E. S.; SPEZIALI, N. L. **Física experimental básica na universidade.** 2. Ed. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2008. 210 p.

CAMPOS, L. C. **Articulação entre modelagem matemática e experimentação:** uma proposta para a construção de conhecimento em física. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática). Universidade Cruzeiro do Sul, São Paulo, 2010. Disponível em: http://sites.cruzeirodosulvirtual.com.br/pos_graduacao/trabs_programas_pos/trabalhos/Mestrado_Ensino_de_Ciencias_e_Matematica/MESTRADO_ENSINO_DE_CIENCIAS_E_MATEMATICA-Lu%EDs%20da%20Silva%20Campos_353.PDF Acesso em: 06/10/2015.

CAMPOS, L. S.; ARAÚJO, M. S. T. Tensão nos discursos dos alunos ao associarem os dados experimentais com os modelos teóricos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 21. Uberlândia. **Anais...** UFU, Uberlândia (MG): p. 1 – 8: 2015.

_____. Articulação das atividades experimentais destinadas ao ensino de física com a modelagem matemática. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 15. Maresias. **Anais...** Maresias (SP): p. 1 – 9: 2014.

_____. A modelagem matemática e a experimentação utilizadas como recurso para a construção do conhecimento em física. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 19. 2011a, Manaus. **Anais...** UFAM, Manaus (AM): p. 1 – 10: 2011a.

_____. Articulação entre o ensino de matemática e de física: uma aproximação entre a modelagem matemática e as atividades experimentais. In: VIII ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 8. CONGRESSO IBEROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN DE ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS, 1. 2011b, Campinas. **Anais...** UNICAMP, Campinas (SP): p. 1 – 12: 2011b. Disponível em: <http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/viiienpec/resumos/R0013-1.pdf> acesso em 06/10/2015.

_____. Integração entre modelagem matemática e experimentação aplicada ao estudo de fenômenos físicos no ensino superior. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 13. 2009a, Goiânia. **Anais...** UFG, Goiânia (GO): p. 1 – 20: 2009a. 1 CD-ROM.

_____. A modelagem matemática e a experimentação aplicadas ao ensino de física. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 7. 2009b,

CAMPOS, Luís da Silva; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de. Articulação do ensino de física com o ensino de matemática através da modelagem matemática e das atividades experimentais.



n. 19 (jul. – dez. 2015), dez./2015 – Movimento Epistemológico

Florianópolis. **Anais...** UFSC, Florianópolis (SC): p. 1 – 12: 2009b. Disponível em: <http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viiienpec/pdfs/1753.pdf> Acesso em 06/10/2015.

GASPAR, A. **Atividades experimentais no ensino de física: uma nova visão baseada na teoria de Vigotski.** São Paulo: Livraria da Física, 1ª edição, 252 p., 2014.

LABURU, C. E.; BARROS, M. A. Problemas com a compreensão de estudantes em medição: razões para a formação do paradigma pontual. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 2, p. 151 – 162, 2009.

MEDEIROS, A.; BEZERRA FILHO, S. A natureza da ciência e a instrumentação para o ensino de física. **Ciência & Educação**, v. 6, n. 2, p. 107 – 117, 2000.

MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino do método científico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 10, n. 2, p. 108 – 117, 1993.

PERUZZO, J. **Experimentos de física básica: mecânica.** 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2012. 323 p.

PIETROCOLA, M. A matemática como estruturante do conhecimento físico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 19, n. 1, p. 88 – 108, 2002.

REZENDE, F.; LOPES, A. M. A.; EGG, J. M. Identificação de problemas do currículo, do ensino e da aprendizagem de física e de matemática a partir do discurso de professores. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 2, p. 185 – 196, 2004.

RIBEIRO, M. S.; FREITAS, D. S.; MIRANDA, D. E. A problemática do ensino de laboratório de física na uefs. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 19, n. 4, p. 444 – 447, 1997.

SANTORO, A.; MAHON, J. R.; OLIVEIRA, J. U. C. L.; MUNDIN FILHO, L. M.; OGURI, V.; DA SILVA, W. L. P.; OGURI, V. (org.) **Estimativas e erros em experimentos de física.** 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Uerj, 2008.

SÉRÉ, M. G.; COELHO, S. M.; NUNES, A. D. O papel da experimentação no ensino de física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 20, n. 1, p. 30 – 42, 2003.

VUOLO, J. H. **Fundamentos da teoria de erros.** 2. ed. 6.reimpressão. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2008.

_____. Avaliação e expressão de incerteza em medição. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 21, n. 3, p. 350 – 358, 1999.

CAMPOS, Luís da Silva; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de. Articulação do ensino de física com o ensino de matemática através da modelagem matemática e das atividades experimentais.