

O uso do software Modellus na integração entre conhecimentos teóricos e atividades experimentais de tópicos de mecânica

(*Integration between experiments and theory in topics of mechanics by modellus software*)

Janduí Farias Mendes, Ivan F. Costa¹ e Célia M.S.G. de Sousa

Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brazil

Recebido em 3/9/2010; Aceito em 21/4/2011; Publicado em 2/6/2012

Este trabalho apresenta os resultados de um estudo sobre a efetividade da integração entre teoria, simulação computacional com o *software* Modellus e atividades experimentais, em tópicos de mecânica. O estudo foi realizado com quatro grupos de estudantes do Ensino Médio. Um deles constituiu o grupo controle e os demais realizaram ou atividades experimentais, ou modelagem computacional ou ambas. Um teste foi aplicado antes e depois da intervenção, além de questionários de opinião. Os resultados indicam que para alguns tipos de problema de mecânica, as atividades experimentais são mais eficientes em promover um melhor desempenho dos alunos. Em outros tipos de problemas a simulação computacional mostrou-se mais eficiente. Porém, de maneira geral, a combinação de atividades experimentais e simulação computacional mostraram-se mais efetivas em promover a aprendizagem. Os resultados indicam que as atividades com experimentos, quando simultaneamente simulados no computador com o *software* Modellus, podem se completar proporcionando, na maioria dos casos, uma evolução conceitual e o aumento na curiosidade e motivação dos estudantes.

Palavras-chave: ensino de física, modelagem computacional, simulação computacional, experimentação, integração, modelos, Modellus.

This work presents results of a research on the effectiveness of the integration of theory, computer simulation with the software Modellus and experimental activities in topics of mechanics. The study was conducted with four groups of high school students. One was the control group and the others carried out experimental activities, or computational modeling, or both. Tests were applied before and after interventions. The results indicate that for some types of problems, the experimental activities are more effective in promoting better student performance. In other types of problems the computer simulation proved to be more efficient. However, in general, the combination of experiments and computer simulation were more effective in promoting learning. The set of results indicate that the combination between experimental activities and computational simulation through the use of the Modellus software can promote, in most of the cases, a conceptual evolution and awake the curiosity and motivation of the pupils.

Keywords: physics instruction, computational modelling, computational simulation, experimentation, integration, models, Modellus.

1. Introdução

Baseado na literatura e na nossa experiência como professores de física no Ensino Médio em escolas públicas podemos afirmar que os recursos didáticos mais comuns no ensino de ciências no Brasil são aulas expositivas, lousa e giz. Simulação computacional e atividades experimentais, na maioria das escolas, são raras. Pesquisas [1] destacam que os motivos, dentre outros, são: falta de tempo, de habilidade, de estímulo ou de conhecimento para elaborar e realizar este tipo de atividades por parte dos professores.

Esse tipo de ensino baseado em aulas expositivas

pode, entre outras coisas não desejáveis, gerar desinteresse em aprender ciências. Uma provável consequência disso é um nível de aprendizagem baixo e uma taxa de repetência elevada [2].

Diante desse quadro, procuramos desenvolver e testar um produto educacional para o ensino de ciências que facilitasse a utilização de atividades experimentais, conjuntamente com simulações computacionais, como recurso instrucional. O nosso objetivo foi o de desenvolver um material didático que além de articular os *domínios conceitual e experimental* através da modelagem e simulação computacional, favorecesse a aprendizagem significativa e despertasse nos estudantes o inte-

¹E-mail: ivan.costa@pesquisador.cnpq.br.

resse em aprender ciências. No desenvolvimento desse material procuramos apontar uma alternativa àqueles professores que não têm tempo ou habilidade para preparar e realizar atividades experimentais, que geralmente são complexas e de difícil montagem e execução, e também àqueles professores que sentem dificuldades em introduzir e utilizar o computador em suas aulas de ciências.

Na elaboração do material instrucional utilizamos, como protótipo, uma parte do conteúdo de física da primeira série do Ensino Médio. Assim, optamos por abordar as leis de Newton. O produto desenvolvido consiste em duas atividades experimentais e três simulações computacionais feitas através da modelagem matemática com o *software* Modellus. Esse material instrucional possibilita introduzir atividades experimentais e inserir o uso de computador ao longo das aulas expositivas (Fig. 1). Assim, acreditamos que uma articulação entre os domínios conceitual e experimental é obtida sem a necessidade de um laboratório didático de ensino.



Figura 1 - Esquema ilustrativo do uso do *software* Modellus na integração entre conhecimentos teóricos e atividades experimentais.

Como referencial teórico para o estudo adotamos a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel. Encontramos nesse referencial teórico uma dimensão cognitiva que nos subsidiou na formulação da hipótese de pesquisa e nos procedimentos didáticos desenvolvidos ao longo do processo de ensino com o material instrucional elaborado.

Como hipótese de pesquisa admitimos que a integração entre os domínios teórico e o experimental através da modelagem e simulação computacional com o *software* Modellus promoveria a disposição do aluno para aprender física e favoreceria uma aprendizagem significativa. Para a verificação dessa hipótese, aplicamos a seis turmas do primeiro ano do Ensino Médio três tratamentos diferenciados, conforme será discutido na Seção 4. Com essas seis turmas constituímos quatro

grupos. Um deles constituiu o grupo controle e os demais realizaram ou atividades experimentais, ou modelagem computacional, ou ambas. Para todos os grupos foram aplicados testes antes e depois das intervenções e questionários somente após as intervenções.

Destacamos que a articulação entre atividades experimentais e modelagem e simulação computacional com o *software* Modellus, com o objetivo de proporcionar a aprendizagem significativa, é uma questão pouco pesquisada em ensino de ciências, de acordo com a bibliografia pesquisada.

2. Referencial teórico

[...] o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe; descubra isso e ensine-o de acordo” [3].

Ausubel considera que há três tipos de aprendizagem: a cognitiva, a afetiva e a psicomotora. A sua teoria focaliza a aprendizagem cognitiva. Segundo Ausubel, aprendizagem cognitiva “é aquela que resulta no armazenamento de informações na mente do ser que aprende” [3], ou seja, a integração e organização do material na estrutura cognitiva do indivíduo.

Aprendizagem significativa é “um processo por meio do qual novas idéias e informações a serem aprendidas e retidas são ancoradas em conceitos específicos relevantes existentes na estrutura cognitiva do indivíduo” [4]. Esse conceito específico é denominado por Ausubel de subsunçor. No processo de aprendizagem significativa a nova informação deve se incorporar de forma substantiva (não literal) e organizada (não arbitrária) à estrutura cognitiva do aprendiz.

Para Ausubel, o fator que mais influencia a aprendizagem significativa são os conhecimentos prévios² do aluno, aquilo que ele já possui na sua estrutura cognitiva. Num processo de aprendizagem significativa é necessário que inicialmente se identifique os conhecimentos prévios existentes na estrutura cognitiva do aluno. Esses conhecimentos prévios (subsunçores) devem servir como ponto de ancoragem para as novas informações a serem armazenadas na estrutura cognitiva do indivíduo. Deve haver também uma interação entre as novas informações a serem armazenadas e os subsunçores já existentes na estrutura cognitiva do aluno.

Contrapondo-se à aprendizagem significativa, há a aprendizagem mecânica. Para Ausubel na aprendizagem mecânica, ao contrário da aprendizagem significativa, há pouca ou nenhuma interação entre as novas informações e os conceitos relevantes já existentes na estrutura cognitiva (subsunçores). Nesse tipo de aprendizagem os conhecimentos são armazenados de forma

²Conforme enfatiza Moreira, *conhecimento prévio* não é o mesmo que *pré-requisito*. Conhecimentos prévios correspondem aos “aspectos específicos da estrutura cognitiva que são relevantes para a aprendizagem de uma nova informação” [4].

aleatória e sem serem devidamente ancorados em um subsunçor [4].

Em física, como em outras disciplinas, a simples *memorização* de fórmulas, leis e conceitos pode ser tomada como exemplo típico de aprendizagem mecânica. Talvez aquela aprendizagem de “última hora”, de véspera de prova, que somente serve para a prova, pois é *esquecida* logo após, caracteriza também a aprendizagem mecânica. Ou, ainda, aquela típica argumentação de aluno que afirma ter estudado tudo, e até mesmo “saber tudo”, mas que, na hora da prova, não consegue resolver problemas ou questões que impliquem usar e transferir esse conhecimento [4] (grifo nosso).

No entanto, Ausubel não vê uma dicotomia entre a aprendizagem mecânica e a aprendizagem significativa. Para ele a aprendizagem mecânica é até mesmo “necessária quando um indivíduo adquire informações em uma área de conhecimento completamente nova” [1], ou seja, quando não há existência de um subsunçor, a aprendizagem deve ser mecânica até que o aprendiz adquira conceitos relevantes que possam servir como subsunçores.

Ausubel considera que há duas condições para a ocorrência de aprendizagem significativa [5]: a) que o material a ser aprendido seja potencialmente significativo para o aprendiz, ou seja, relacionável à estrutura cognitiva de forma não-arbitrária e não-literal (substantiva); b) que o aprendiz manifeste uma disposição de relacionar o novo material de maneira substantiva e não-arbitrária a sua estrutura cognitiva (disposição para aprender).

Segundo Moreira [4], a primeira dessas duas condições depende da natureza do material e da natureza da estrutura cognitiva do indivíduo. O material deve ter um “significado lógico”, de modo que o aprendiz possa relacionar a nova informação de forma não-arbitrária e não-literal à sua estrutura cognitiva. A estrutura cognitiva deve dispor de conceitos subsunçores com os quais a nova informação deve interagir e ser ancorada por eles.

Quanto a segunda condição, Moreira [4] adverte que, independentemente do material ser potencialmente significativo, se o aprendiz tiver a intenção de simplesmente memorizar literalmente e arbitrariamente a nova informação “tanto o processo de aprendizagem como o seu produto serão mecânicos ou sem significado”. O autor ainda enfatiza que “reciprocamente, independente de quão disposto para aprender estiver o indivíduo, nem o processo e nem o produto serão significativos se o material não for potencialmente significativo”.

Para Ausubel [6], a assimilação de conceitos é facilitada quando se parte de idéias mais gerais (o todo), mais inclusivas, para idéias mais específicas (as partes),

menos inclusivas. Dessa forma, no processo de aprendizagem deve-se introduzir em primeiro lugar os conceitos mais amplos e, progressivamente, deve-se detalhá-los. Esse tipo de procedimento é denominado por Ausubel de diferenciação progressiva. Ao propor essa abordagem, Ausubel se baseia em duas hipóteses [5]: a) é mais fácil para o ser humano captar aspectos diferenciados de um todo mais geral e inclusivo previamente aprendido, do que chegar ao todo a partir de suas partes; b) a organização do conteúdo de uma certa disciplina, na mente de um indivíduo, é uma estrutura hierárquica na qual as idéias mais inclusivas estão no topo da estrutura e, progressivamente, incorporam proposições, conceitos e fatos menos inclusivos e mais diferenciados.

No entanto, Ausubel adverte que o processo inverso também deve ocorrer, ou seja, deve-se explorar e explicitar as relações entre proposições, conceitos e idéias, buscando-se identificar similaridades e diferenças, reconciliando discrepâncias reais ou aparentes [3]. Esse tipo de procedimento é denominado de reconciliação integrativa.

Para Ausubel a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa devem ser vistas como princípios programáticos da matéria de ensino. A Fig. 2 corresponde a uma representação esquemática dos processos da diferenciação progressiva e da reconciliação integrativa.

Para favorecer a aprendizagem significativa o professor deve envolver pelo menos quatro tarefas fundamentais na facilitação da aprendizagem: (a) Identificar a estrutura conceitual e proposicional da matéria de ensino. (b) Identificar quais os subsunçores (conceitos, proposições e idéias claras, precisas e estáveis) são relevantes à aprendizagem do conteúdo a ser ensinado. (c) Diagnosticar aquilo que o aluno já sabe. (d) Ensinar utilizando recursos e princípios que facilitem a aquisição da estrutura conceitual da matéria de ensino de uma maneira significativa [5].

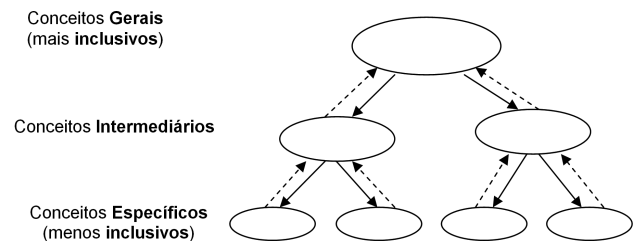


Figura 2 - Representação esquemática do modelo de *diferenciação progressiva* e *reconciliação integrativa*. As setas contínuas representam a diferenciação progressiva e as setas descontinuas representam a reconciliação integrativa. Para se atingir a diferenciação progressiva é preciso “descer” dos conceitos gerais para os específicos e “subir” novamente até os gerais para se atingir a reconciliação integrativa [5].

3. Uma proposição instrucional

Neste trabalho tivemos como foco de estudo a mecânica, por se tratar de aulas de 1ª série do Ensino Médio, onde um dos autores lecionava. A nossa proposta foi a de desenvolver tópicos da mecânica em três etapas: realização de *atividades experiências*, exposição dos *conhecimentos teóricos* e *simulação computacional* (modelagem) através do *software* Modellus.

Para as atividades experimentais foram construídos pelos estudantes e o professor [7], anteriormente à pesquisa, uma base metálica de lançamento, um foguete e um túnel de vento feitos de garrafa PET e dois perfis de asa de avião feitos de isopor. Para as atividades de modelagem foi elaborado um conjunto de modelos matemáticos através do *software* Modellus.

O que nos levou a escolher atividades experimentais utilizando o foguete e o avião foi o fato de os mesmos incorporarem vários conceitos físicos. Conforme discutimos na Seção 2, para Ausubel a assimilação de conceitos é facilitada quando se parte de idéias gerais (mais inclusivas) para idéias específicas (menos inclusivas). Como, por exemplo, através do foguete e do avião podemos estudar os conceitos de massa, densidade, pressão, espaço, posição, tempo, força, impulso, aceleração, torque, ou seja, pode-se estudar vários conceitos físicos, não só em mecânica, mas também em termodinâmica. A Fig. 3 representa um diagrama conceitual simplificado que ilustra o processo da diferen-

ciação progressiva e da reconciliação integrativa para as atividades experimentais como o foguete.

Optamos pela utilização do *software* Modellus por considerarmos que o mesmo apresenta um grande potencial tanto no aspecto computacional quanto no aspecto educacional. O *software* Modellus permite ao usuário explorar modelos elaborados por outras pessoas (atividade exploratória) ou elaborar seus próprios modelos matemáticos (atividade expressiva) sem haver a necessidade de conhecimento profundo de linguagem de programação ou metáforas simbólica. Os modelos matemáticos podem ser definidos a partir de funções, derivadas, taxa de variação, equações diferenciais e diferenças finitas, que podem ser escritas na “janela modelo” quase da mesma forma como se escreve no quadro negro ou mesmo numa folha de papel. Além de todas essas características, o *software* Modellus é distribuído gratuitamente na internet (<http://modellus.fct.unl.pt/>). Há também um grande número de publicações apontando resultados favoráveis na sua utilização no ensino de física. Destacamos os trabalhos realizados por Veit e Teodoro [8], Veit, Mors e Teodoro [9], as teses de Teodoro [10] e Araújo [11] e as dissertações de Araújo [12] e Dorneles [13].

No lançamento do foguete (Fig. 4), e também na simulação deste experimento (Fig. 5), pode-se alterar os valores da *massa* de água, da *pressão* interna da garrafa e do *ângulo* de lançamento.

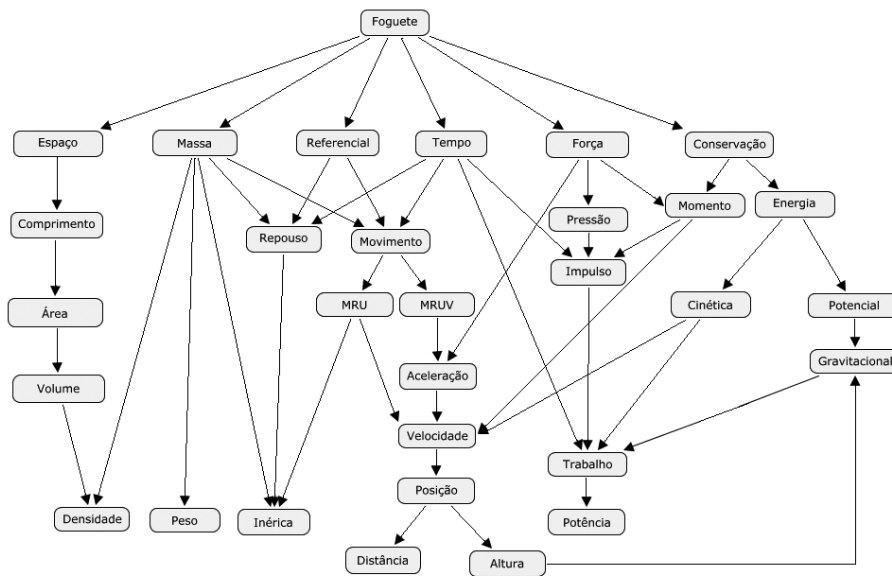


Figura 3 - Mapa conceitual do foguete. Representação esquemática do modelo de *diferenciação progressiva* e *reconciliação integrativa* para as *atividades experimentais com o foguete*. O movimento de descida do topo do mapa para a base representa a diferenciação progressiva e o de subida representa a reconciliação integrativa. A diferenciação progressiva é atingida ao se “descer” dos conceitos mais gerais (foguete, referencial, massa, força) para os conceitos mais específicos (densidade, peso, posição, potência) e ao “subir” novamente até os conceitos mais gerais se atinge a reconciliação integrativa. O mesmo mapa pode ser representativo para as *atividades experimentais com o avião*.



Figura 4 - Lançamento do foguete PET.

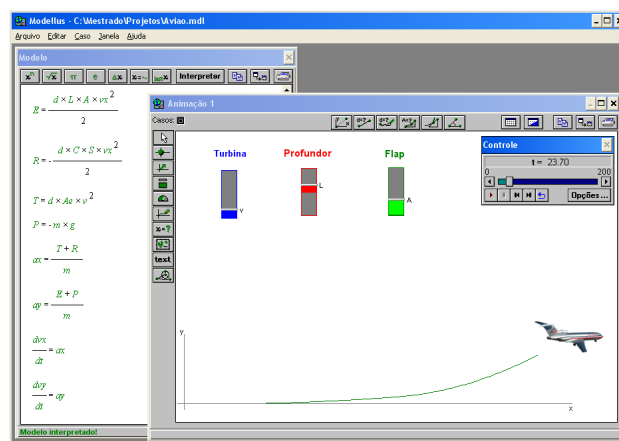


Figura 7 - Simulação do voo.

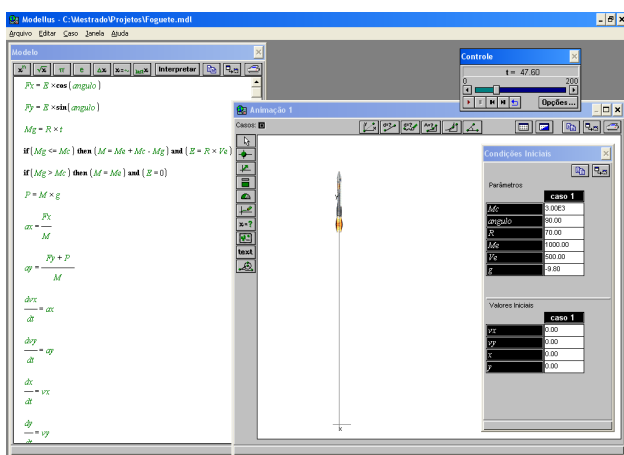


Figura 5 - Simulação do lançamento.

Na atividade com o avião procurou-se investigar os princípios de sustentação das aeronaves. Após as atividades experimentais (Fig. 6), analisamos os resultados observados, introduzimos os princípios físicos envolvidos com o voo dos aviões, elaboramos o modelo matemático e concluímos com a simulação do voo (Fig. 7). Nesta atividade, os alunos têm como desafio “decolar” e “aterrissar” o avião. Para isso, eles devem controlar a potência da turbina, regular os profundores e os flaps.



Figura 6 - Sustentação da asa.

O objetivo das atividades experimentais, de modelagem e simulação computacional foi o de identificar os parâmetros e as variáveis que influenciam determinado fenômeno, no caso as atividades experimentais com foguete e o avião, analisar como essas grandezas se relacionam e fazer uma comparação entre os resultados obtidos nas atividades práticas, de modelagem e simulação computacional com o que é mostrado nos livros didáticos, ou seja, comparar a teoria ensinada na sala de aula com a realidade [14, 15]. Para Pietrocola [14] há uma necessidade urgente de se “re-inserir a construção da realidade como objeto da educação científica”. Ele aponta o uso de modelos, presente na epistemologia de Mario Bunge [15], como uma alternativa complementar para se estabelecer essa falta de integração entre a dimensão cognitiva com a dimensão ontológica. Dessa forma, segundo o autor, a apreensão da realidade passaria a ser o objetivo final da educação em ciências.

Acreditamos que esse material instrucional é potencialmente significativo e possibilita despertar no aluno a disposição para aprender, que são as duas condições apontadas por Ausubel para a ocorrência da aprendizagem significativa.

4. Metodologia

A pesquisa foi realizada com estudantes da 1ª série do Ensino Médio do Centro Educacional 07 da cidade satélite de Ceilândia - DF, durante o segundo semestre de 2007. Nessa escola os estudantes tinham semanalmente duas aulas teóricas e uma de laboratório, no mesmo turno, nas disciplinas de física, biologia e química. As aulas de laboratório eram comuns e compartilhadas entre essas disciplinas.

No dia da aula de laboratório, cada turma, no seu respectivo horário, era dividida em três partes (G-1, G-2 e G-3) e, cada uma das três partes era direcionada para os laboratórios de física, química e biologia. Utilizamos o horário e o espaço físico do laboratório de física para o desenvolvimento da pesquisa.

As aulas de laboratório ocorreram sempre nas segundas-feiras, quando, a cada semana, um terço das turmas 1° J, 1° I, 1° H, 1° G, 1° E e 1° F tiveram aulas respectivamente no 1°, 2°, 3°, 4°, 5° e 6° horário. Semanalmente ocorria uma permuta de cada um terço das turmas nos três laboratórios e ao final de cada três semanas todos os alunos de todas as turmas passavam pelo laboratório de física, encerrando-se assim um ciclo.

Com os alunos dessas seis turmas, utilizando como referência o delineamento experimental - pré-teste e pós-teste aplicados a grupos experimentais e a grupo controle aleatórios [16], foram formados quatro grupos (E, M, C e E&M), sendo C o grupo controle e os demais (E, M e E&M), grupos experimentais que nos quais houveram intervenções diversas.

O primeiro grupo (E) foi constituído pelos alunos que tiveram aula sempre nos três primeiros horários da primeira semana de laboratório. O segundo grupo (M) foi constituído pelos alunos que tiveram aula sempre nos três últimos horários da primeira semana de laboratório. O terceiro grupo (C) foi constituído pelos alunos que tiveram aula em todos os horários da segunda semana de laboratório. O quarto grupo (E&M) foi constituído pelos alunos que tiveram aula em todos os horários da terceira semana de laboratório. Optamos por esse tipo de procedimento na constituição dos grupos para obtermos amostras com alunos de turmas diferentes, buscando assim uma aleatoriedade.³ A Fig. 8 mostra a disposição dos quatro grupos (E, M, C e E&M) formados para o laboratório de física.

	1º Semana	2º Semana	3º Semana
1º Horário	1º J	1º J	1º J
2º Horário	1º I	1º I	1º I
3º Horário	1º H	1º H	1º H
4º Horário	1º G	1º G	1º G
5º Horário	1º E	1º E	1º E
6º Horário	1º F	1º F	1º F
	G-3	G-2	G-1

Grupos experimentais: E (1º, 2º, 3º horários da 1ª semana); M (4º, 5º, 6º horários da 1ª semana); C (todos os horários da 2ª semana); E&M (todos os horários da 3ª semana).

Figura 8 - Formação dos grupos nas aulas de laboratório de física.

O primeiro grupo (E) realizou apenas atividades experimentais, o segundo grupo (M) realizou modelagem e simulação computacional, o terceiro grupo (C) serviu como grupo controle⁴ e o quarto grupo (E&M) realizou atividades experimentais, modelagem e simulação computacional. As atividades foram realizadas em 8 (oito) encontros para cada grupo. Cada encontro teve aproximadamente 50 minutos de duração.

O estudo foi desenvolvido em três etapas:

Etapa 1: No início do segundo semestre, aplicação

do pré-teste. O teste teve a finalidade de identificar as dificuldades conceituais dos estudantes e se os mesmos possuíam concepções científicas ou concepções alternativas sobre as três primeiras leis de Newton e sobre a relação força e movimento. O teste foi constituído por 25 itens de múltiplas escolhas e resposta única. Vários itens foram retirados de outros testes já validados [17-21]. Alguns itens foram retirados de questões de vestibulares. Outros itens foram de nossa própria autoria, mas construídos tendo como referencial os trabalhos dos especialistas anteriormente citados. Cada item possuía quatro alternativas, sendo que uma dessas alternativas correspondia à concepção científica e as demais se referiam a outras concepções.

Etapa 2: Durante o segundo semestre, realização das atividades diferenciadas para cada grupo. Nesta etapa adotamos o método POE (*prevê, observar e explicar*) (Gunstone e cols. 1988, *apud* Ref. [22]), método este apontado por Hodson com uma das alternativas⁵ para tornar o laboratório didático de ciências menos prático e mais reflexivo. No método POE deve-se pedir aos estudantes que façam uma previsão sobre o que ocorrerá em uma determinada situação, relatando-a e, após a atividade experimental, apontar o que se observou e expor (*explicar*) qualquer discrepância entre a observação e sua previsão [22]. As atividades (*intervenções*), inclusive o pré-teste, foram feitas em relação ao conteúdo desenvolvido nas aulas teóricas do primeiro semestre, ministrados anteriormente ao início da pesquisa. Todos os grupos tiveram conteúdos normais nas aulas teóricas ministrada no segundo semestre.

Etapa 3: No final do segundo semestre, aplicação do pós-teste⁶ constituído de 20 questões de múltipla escolha, que constavam no pré-teste da etapa 1, e aplicação de um questionário semi-estruturado sobre os aspectos computacionais (modelagem e simulação com o *software* Modellus), experimentais e educacionais das atividades desenvolvidas.

5. Resultados e discussões

As atividades envolveram inicialmente 115 alunos. Desse total, 6 estudantes não fizeram o pré-teste, 20 não fizeram o pós-teste e 3 foram excluído por serem muito faltosos. Dessa forma, 86 alunos concluíram efetivamente todas as atividades.

Os resultados obtidos no pré-teste foram analisados segundo a validade e fidedignidade. A fidedignidade foi calculada pelo coeficiente de consistência interna de Kuder-Rechardson:

³ Acrescentamos ainda que, na escola onde a pesquisa foi realizada, as turmas são formadas sem nenhum critério de escolha dos alunos, ou seja, durante o processo de matrícula cada aluno é direcionado aleatoriamente para uma determinada turma.

⁴ Os alunos do *grupo controle* também tiveram aulas de laboratório, só que sobre conteúdos não relacionados com a pesquisa desenvolvida (aulas “tradicional” de laboratório).

⁵ Uma outra alternativa apontada por Hodson [22] é a utilização da simulação computacional de fenômenos.

⁶ Retiramos 5 questões pelo fato das mesmas terem tido um índice de acerto muito superior às demais [23,24]).

$$r = \frac{K}{K-1} \left[1 - \frac{\sum p \cdot q}{s^2} \right],$$

onde K é a número de itens do teste, p e q são as porcentagens de acertos e erros respectivamente e s^2 é a variância dos escores obtidos [23]. A fidedignidade mínima aceitável depende da finalidade do teste e do tipo de decisão a ser tomada. Segundo Vianna, quando um teste é usado com o objetivo de medir grupos, uma fidedignidade de 0,50 ou maior é necessária. Em nosso trabalho obtivemos $r = 0,58$, o que indica a fidedignidade dos resultados [7].

Após a análise do resultado do teste inicial, verificamos que os estudantes que participaram da pesquisa possuem dificuldades conceituais em mecânica semelhantes às apontadas pela literatura consultada [17-19, 20, 25]. Ao analisarmos os dados do teste final e compararmos com os dados do teste inicial verificamos que houve um aumento nos escores e uma significativa evolução e superação conceitual da maioria dos grupos que foram submetidos ao tratamento. A Fig. 9 sintetiza a análise estatística do teste inicial e do teste final.

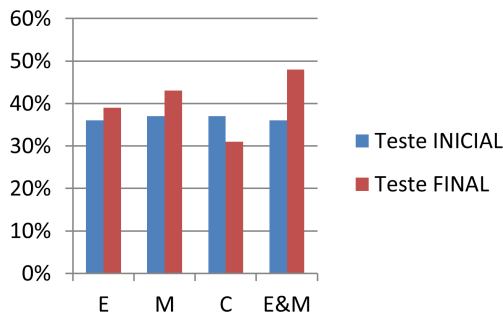


Figura 9 - Gráfico do desempenho dos grupos no teste inicial e no teste final.

Os dados da Fig. 9 indicam que, antes do tratamento, os quatro grupos apresentaram desempenhos muito próximos (barras azuis), como era esperado por se tratar de grupos formados de forma aleatória. Após as intervenções (E, M e E&M) houve uma diferenciação no desempenho desses grupos. O grupo que participou das atividades experimentais e de modelagem (E&M) foi o que apresentou um melhor desempenho.

O grupo controle (C), ao contrário dos demais, teve uma diminuição no seu desempenho, como pode ser visto na comparação da barra azul com a vermelha do 3º conjunto de dados (marcado com a letra C) da Fig. 9. Uma possível explicação para a diminuição do desempenho do grupo controle é a possibilidade de ter ocorrido uma aprendizagem mecânica do conteúdo ministrado no primeiro semestre. O pré-teste foi aplicado no início do segundo semestre e abordou matérias que já tinham sido introduzidas no primeiro semestre. Já o pós-teste, constituído com questões idênticas às do pré-teste, foi aplicado no final do segundo semestre. Como os alunos do grupo controle não participaram das atividades realizadas pelos demais grupos, possivelmente esses alu-

nos tenham esquecido parte dos conteúdos ensinados no primeiro semestre. De acordo com nosso referencial teórico, quando uma aprendizagem é mecânica, com o decorrer do tempo os conceitos são esquecidos, sendo o esquecimento a principal característica de uma aprendizagem mecânica [3].

A análise dos dados do teste inicial e do teste final indica que, para determinados tipos de problema, as atividades experimentais podem ser mais eficientes e, em outros tipos de problema, a modelagem é mais eficiente. Mas, no geral, a combinação das atividades experimentais e de modelagem é mais efetiva no desempenho dos grupos.

A opinião dos alunos, coletada através de um questionário de opinião, se mostrou favorável à metodologia utilizada. A análise dessas opiniões revela uma predominância dos seguintes discursos: “é mais interessante” e “facilita a aprendizagem”. Esses discursos indicam que os alunos tiveram interesse nas atividades e que essas atividades parecem facilitar na aprendizagem de física. Aparecem também com frequência nos discursos “facilitou a aprendizagem”, “sair da rotina”, “motiva”, “é divertido” e “desperta a curiosidade”. Nas palavras dos próprios alunos, seguem uma amostra de alguns comentários.

“Eu gostei muito das aulas e das simulações porque foi mais fácil de entender, pelo fato de ser mais eficiente e menos complicado.”

“Os experimentos, modelagem e simulação deixaram as aulas menos cansativas e muito mais interessantes e fáceis de aprender.”

“Eu gostei muito, eu não gostava de física porque nunca conseguia entender nada. Mas depois que o professor passou a fazer essas aulas, ficou mais divertido aprender física. Aprendi a gostar e a entender.”

Os alunos sugerem que outros professores poderiam também adotar procedimentos que seguisse essa metodologia, no intuito de tornar as aulas mais agradáveis.

“Nossas aulas se tornaram mais interessantes porque facilitou mais a aprendizagem e acho que os outros professores deveriam fazer o mesmo para melhorar as outras aulas.”

6. Considerações finais

Na obra *A Formação do Espírito Científico*, Bachelard [26] acha surpreendente que os professores de ciências “não compreendam que alguém não compreenda” e diz que “são poucos os que se detiveram na psicologia do erro, da ignorância e da irreflexão”.

Os professores de ciências imaginam que o espírito científico começa como uma aula,

que é sempre possível reconstruir uma cultura falha pela repetição da lição, que se pode fazer entender uma demonstração repetindo-a ponto a ponto. Não levam em conta que o adolescente entra na aula de física com conhecimentos empíricos já constituídos: não se trata, portanto, de adquirir uma cultura experimental, mas sim de mudar de cultura experimental, de derrubar obstáculos já sedimentados na vida cotidiana [26].

Bachelard considera os conhecimentos empíricos já constituídos como um obstáculo epistemológico. Como alternativa para a superação desses obstáculos, ou seja, das dificuldades de aprendizagem apresentadas pelos alunos, conforme verificamos na literatura consultada, adotamos a articulação entre conhecimentos teóricos e atividades experimentais através da modelagem e simulação computacional com o *software* Modellus. A nossa proposta foi a de explorar e interagir com essas estruturas conceituais prévias dos estudantes, e não de modificá-las ou substituí-las.

Dentre as diversas formas de utilização do computador no ensino de ciências apresentado na literatura optamos pela modelagem computacional, pois esta nos pareceu a mais adequada para a nossa proposta de trabalho, ou seja, a construção de modelos conceituais para determinados fenômenos físicos. Dentre os vários tipos de *software* apresentados na literatura, optamos pelo *Modellus* por ser um *software* de distribuição gratuita na *Internet*, não exigir computador de alto desempenho e não requerer conhecimentos profundos em linguagem de programação, sendo apenas necessário interpretar o fenômeno e “escrever” o seu modelo em linguagem matemática. Além disso, a modelagem computacional com o *software Modellus* possibilita uma interação dos alunos com os conceitos físicos durante o processo de modelagem e exploração dos modelos.

No que diz respeito à articulação através da modelagem e simulação computacional em mecânica, após a análise dos dados obtidos, chegamos a algumas considerações:

- De acordo com os dados do Pré-Teste e do Pós-Teste concluímos que, para determinados tipos problema que abrangem a terceira lei de Newton as atividades experimentais mostram-se serem mais efetivas no processo de aprendizagem. Em outros tipos de problemas que relacionam em conjunto as três leis de Newton, a modelagem computacional mostrou-se mais efetiva. Porém, a combinação de atividade experimental e modelagem computacional mostrou-se mais efetiva para promover a aprendizagem de tópicos de mecânica em geral, incluindo conservação do momento.
- A combinação de atividades experimentais com modelagem computacional, segundo os resultados

da pesquisa, parece ser a mais efetiva para promover a aprendizagem.

- Os dados obtidos com os questionários de opinião mostram que a aprendizagem com a realização de atividades experimentais em conjunto com a realização de modelagem computacional foram as preferidas pela grande maioria dos alunos.
- Os dados obtidos com os questionários de opinião mostram que a articulação entre o domínio experimental e o domínio teórico através da modelagem e simulação computacional com o *software* Modellus em mecânica torna as aulas mais interessantes, motiva mais os alunos, facilita a aprendizagem e desperta nos alunos o interesse em aprender, algo que é raro no ensino de física.
- Os aspectos computacionais, experimentais e educacionais foram bem avaliados pelos alunos, o que indica aceitação pelos alunos das atividades desenvolvidas.
- Durante as nossas observações, que foram relatadas num diário de bordo, constatamos que a articulação através da modelagem e simulação computacional em mecânica promove nos alunos uma melhora no entendimento dos conceitos de física abordados.
- Observamos que o uso do *software* Modellus na integração entre conhecimentos teóricos e atividades experimentais de tópicos de mecânica contribui, em alguns casos, para uma melhor compreensão da linguagem matemática, dos fenômenos e das tecnologias desenvolvidas a partir dos conhecimentos adquiridos em física.
- Observamos, de maneira geral, um maior envolvimento e participação dos alunos durante as aulas, excetuando-se os alunos do grupo de controle.

Os resultados deste trabalho, baseado em dados quantitativos e qualitativos, indicam que as atividades com experimentos quando simultaneamente simulados no computador podem se completar, proporcionando, na maioria dos casos uma aprendizagem significativa.

Referências

- [1] R. Axt, in *Tópicos em Ensino de Ciências*, editado por M.A. Moreira (Sagra, Porto Alegre, 1991), p. 79-90.
- [2] SUBIP/SEDF, *Rendimento por DRE e Componente Curricular x Rede Pública de Ensino do DF, 1º e 2º Bimestres de 2008, Ensino Médio*. Disponível em <http://www.se.df.gov.br/sites/400/402/00000569.pdf>, acesso em 11/2008.
- [3] M.A. Moreira, *Teorias de Aprendizagem* (EPU, São Paulo, 1999).

- [4] M.A. Moreira, *A Teoria da Aprendizagem Significativa e sua Implementação em Sala de Aula* (Editora Universidade de Brasília, Brasília, 2006).
- [5] M.A. Moreira e E.F.S Masini, *Aprendizagem Significativa* (Centauro, São Paulo, 2006).
- [6] D.P. Ausubel, *Aquisição e Retenção de Conhecimento: Uma Perspectiva Cognitiva* (Plátano Edições Técnicas, Portugal, 2003).
- [7] J.F. Mendes, *O Uso do Software Modellus na Integração Entre Conhecimentos Teóricos e Atividades Experimentais de Tópicos de Mecânica sob a Perspectiva da Aprendizagem Significativa*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 2009.
- [8] E.A. Veit e V.D. Teodoro, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **24**, 87 (2002).
- [9] E.A. Veit, P.M. Mors e V.D. Teodoro, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **24**, 176 (2002).
- [10] V.D. Teodoro, *Modellus: Learning Physics with Mathematical Modelling*. Tese de Doutorado em Ciência da Educação, Universidade de Nova Lisboa, 2002.
- [11] I.S. Araujo, *Simulação e Modelagem Computacional como Recursos Auxiliares no Ensino de Física Geral*. Tese de Doutorado em Ciências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.
- [12] I.S. Araujo, *Um Estudo Sobre o Desempenho de Alunos de Física Usuários da Ferramenta Computacional Modellus na Interpretação de Gráficos de Cinemática*. Dissertação de Mestrado em Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.
- [13] P.F.T. Dorneles, *Investigação de Ganhos na Aprendizagem de Conceitos Físicos Envolvidos em Circuitos Elétricos por Usuários da Ferramenta Computacional Modellus*. Dissertação de Mestrado em Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.
- [14] M. Pietrocola, *Investigações em Ensino de Ciências* **4**, 3 (1999).
- [15] M. Bunge, *Teoria e Realidade* (Perspectiva, São Paulo, 1974).
- [16] D.T. Campbell e J.C. Stanley, *Delineamentos Experimentais e Quase-Experimentais de Pesquisa* (EPU, São Paulo, 1979).
- [17] S.L. Talim, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **16**, 141 (1999).
- [18] M.H. Ure, G. Müller, J.M. Sebastián e A.d'A. Martínez, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **16**, 120 (1994).
- [19] L.O.Q. Peduzzi e S.S. Peduzzi, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **2**, 48 (1985).
- [20] F.L. Silveira, M.A. Moreira e R. Axt, *Ensenanza de las Ciencia* **10**, 187 (1992).
- [21] B. Buchweitz e R. Axt, *Questões de Física* (Sagra Luzzato, Rio de Janeiro, 1996), v. I.
- [22] D. Hodson, *Enseñanza de las Ciencias* **12**, 299 (1994).
- [23] H.M. Vianna, *Teste em Educação* (IBRASA, São Paulo, 1982).
- [24] F.L. Silveira, *Validação de Instrumentos de Medidas Aplicadas à Pesquisa em Ensino de Física* (Instituto de Física da UFRGS, Porto Alegre, 1993).
- [25] A. Zylbersztajn, *Revista de Ensino de Física* **5**, 3 (1983).
- [26] G. Bachelard, *A Formação do Espírito Científico* (Contraponto, Rio de Janeiro, 1996).