

## **RECURSOS DE SIMULAÇÃO EM COMPUTADOR EM AULAS DE FÍSICA PARA ENGENHARIA**

**Vagner B. Barbeta** - vbarbeta@cci.fei.br

Fundação de Ciências Aplicadas

Faculdade de Engenharia Industrial - Departamento de Física,

Av. Humberto de A. C. Branco, 3972

09850-901 - S. B. Campo - S.P.

***Resumo.** O uso de simulações nas diversas áreas do conhecimento tem crescido de forma intensa. Na área educacional, em particular, as simulações vêm sendo exploradas como uma ferramenta complementar de atividades didáticas convencionais. Em certas situações, as simulações substituem experimentos reais com grande vantagem. Há mais de quatro anos temos utilizado simulações em computador com alunos do ciclo básico do curso de Engenharia na FEI, em aulas de laboratório de Física. Estes programas, desenvolvidos dentro da própria instituição, tem se mostrado como um auxiliar importante para o desenvolvimento dos diversos tópicos tratados. No decorrer desse período, observamos que as simulações também poderiam ser utilizadas em aulas de teoria, para a realização de rápidas demonstrações. O objetivo destas demonstrações seria o de ilustrar efeitos e fixar conceitos durante o desenvolvimento teórico de um dado tópico. A utilização de um software de simulação comercial com esta finalidade tem sido testada, e os resultados tem sido promissores, principalmente em termos de interesse do aluno na aula. Questões importantes relativas aos resultados da utilização deste complemento pedagógico, como por exemplo, o entendimento e a fixação de conceitos, ainda precisam ser avaliadas.*

***Palavras-chave:** Simulação em computador, Ensino de Física, Demonstrações em aula*

### **1. INTRODUÇÃO**

As rápidas mudanças pelas quais a sociedade tem passado no últimos anos, tem criado a necessidade de se repensar e de se modificar a forma de funcionamento e a forma de agir em diversas atividades desenvolvidas pelo homem. O ensino, como não poderia deixar de ser, tem sentido profundamente os reflexos destes novos tempos. As necessidades impostas pelo mercado de trabalho, as novas habilidades apresentadas pelos estudantes que ingressam no nível superior, bem como os novos valores e conceitos que estes possuem, têm levado as pessoas envolvidas com a área de educação, a uma série de questionamentos relativos à forma como o ensino deva ser conduzido.

A busca de um novo paradigma de ensino, que melhor se adapte à sociedade em que este se encontra inserido, já vem sendo, há algum tempo, alvo das iniciativas governamentais e de

educadores de uma forma geral. É quase um consenso que através da modificação na forma de ensinar, deva se chegar a um modelo de ensino mais centrado no aluno e menos no professor. Neste novo paradigma, em oposição ao antigo, cabe ao professor ser um tutor e não um mero transmissor de informações.

Dentro da área de ensino de Física, diversos estudos tem sido realizados visando a criação de novas formas de ensinar. Alguns destes trabalhos procuram modificar a forma com que as aulas convencionais expositivas são realizadas, outros buscam alterar o encaminhamento dado às atividades desenvolvidas em laboratório. Muitas destas experiências buscam a utilização de recursos tecnológicos de formas novas e criativas, enquanto outras procuram tornar a Física mais compreensível ao aluno, relacionando-a com os problemas do dia-a-dia. A participação ativa do aluno no próprio processo de aprendizagem, através de aulas em "estúdios" e que misturam teoria e prática, também tem sido testada, e é tida como uma das formas promissoras de se melhorar o aprendizado (Cummings, 1999 e Kalman, 1999).

Até mesmo a evolução dos livros textos para a área de Física básica, tem mostrado claramente a busca pela mudança do enfoque dado pelo professor em sala de aula (Holbrow, 1999). A incorporação, em livros textos recentes, de problemas que precisam ser resolvidos com o auxílio de planilha eletrônica ou calculadora, mostram uma tendência em se explorar também problemas que não possuem uma forma algébrica fechada, mas somente solução numérica. A inclusão de problemas envolvendo simulações em computador deverá ser o próximo passo natural na evolução destes livros.

O uso de recursos, como simulações em computador, feitas pelo aluno em aulas de laboratório, e o uso de simulações realizadas pelo professor em aulas teóricas para explicar um dado conceito, são alguns passos iniciais que a Faculdade de Engenharia Industrial (FEI) vêm dando, no sentido de introduzir a informática como uma ferramenta pedagógica no ensino de Física básica. Esta é uma tentativa de melhor adequar o seu curso ao perfil dos alunos e às necessidade geradas pela sociedade e pelo mercado de trabalho, tornando o aprendizado dos conceitos de Física mais significativo para seus estudantes.

## **2. USO DO COMPUTADOR NO ENSINO**

A questão da utilização de máquinas para a melhoria do processo ensino-aprendizagem não é um assunto novo para educadores e pesquisadores da área de educação. A mais de seis décadas atrás, B. F. Skinner, tido como o pai da instrução programada, já propunha a criação das chamadas "máquinas de ensinar". Utilizando-se de um modelo de estímulo/resposta, Skinner acreditava que o processo de aprendizagem poderia ser facilitado através do uso de máquinas que pudessem oferecer um ensino individualizado, como se o aluno tivesse um professor particular. O aluno poderia assim seguir em seu próprio ritmo, avançando o máximo que pudesse no tempo estabelecido para a atividade. Em tais máquinas seria apresentada uma seqüência de questões com respostas livres, as quais encaminhariam o aluno através de uma série de etapas lógicas, ao final das quais o aprendizado de um dado tópico seria obtido. Nesta proposta, o processo de ensino se baseia basicamente em uma tarefa mecânica de condicionamento através do fornecimento de um reforço positivo a certos comportamentos apropriados (resposta correta), não levando em conta os complexos processos cognitivos envolvidos na atividade de aprendizagem (Alencar, 1992).

Esta abordagem radical tem se mostrado incapaz de explicar de que forma o processo de aprendizagem ocorre (Milhollan, 1978) bem como ineficiente em termos da obtenção de melhora no processo de aprendizagem. No entanto, com o advento do computador, as primeiras formas de uso destas máquinas no ensino envolviam basicamente a sua utilização nos moldes propostos pelas teorias de Skinner. Ainda hoje, embora não sejam produzidos com este

enfoque, muitos dos softwares disponíveis para a área de ensino são essencialmente "skinnerianos". Limitam-se a fornecer um conjunto de informações e receber uma entrada, julgando se a resposta fornecida está correta ou não. Por outro lado, alguns softwares, quando não enquadrados nesta categoria, reduzem-se apenas a livros eletrônicos, onde as potencialidades apresentadas pelo computador não são exploradas e onde o nível de interação com o usuário é muito pequeno ou simplesmente inexistente.

Atualmente, com o desenvolvimento de tecnologias que permitem armazenar enorme volume de informação, reproduzir som e vídeo com alta qualidade e ter acesso a grandes quantidades de informações em tempos muito pequenos, tem-se vislumbrado novos meios para a utilização dos recursos de informática como instrumento de apoio didático.

Dentre os novos recursos tecnológicos disponíveis, o hipertexto e a hipermídia tem despontado como uma das grandes possibilidades para a criação de sistemas de apoio didático mais eficientes e eficazes. Nos "textos" criados utilizando-se os conceitos de hipertexto, a leitura de um dado tópico ocorre de forma não linear. Os diferentes tópicos estão interconectados através de uma rede de associação de idéias, num processo de funcionamento muito semelhante à própria forma de funcionamento do cérebro humano (Maenza, 1994). Este conceito é ampliado quando falamos de hipermídia, onde uma determinada palavra dentro de um texto pode ser uma conexão ("link") com outra página de texto, um som ou uma imagem, os quais por sua vez podem possuir "links" para outras imagens, sons ou textos, e assim por diante, criando-se desta forma uma malha de associações que pode ser percorrida de formas diversas por diferentes usuários. Isto, a princípio, permite a criação de materiais didáticos que além da individualização, levem também à personalização do ensino.

É importante citar ainda a Internet, que vem causando grande excitação e que já possui uma importância bastante relevante no mundo moderno. Nesta, a rede de conexões do sistema de hipermídia se configura de forma mais global. Um "hiperlink" na WWW (World Wide Web) pode remeter o usuário a uma outra página dentro do mesmo computador, a um arquivo contendo texto ou programa, a um som, a um vídeo, a uma foto, ou ser um "link" para um outro computador da rede. Novamente os princípios básicos do hipertexto/hipermídia estão presentes. Cada página na rede pode possuir uma série de "hiperlinks" dentro do próprio computador e outros que remetem o usuário para outras páginas instaladas em outros computadores, fazendo com que a rede apresente desta forma uma estrutura fractal.

A capacidade de se acessar diferentes tipos de informações armazenadas em pontos remotos do planeta, tem levado à busca de métodos que levem a um melhor aproveitamento deste recurso na área educacional. A grande questão com que se depara, é como fazer para que se possa utilizá-lo, a fim de que se transforme informação em conhecimento (Heineck, 1996). O seu uso no desenvolvimento de sistemas de educação a distância também já vem sendo testada em projetos piloto no Brasil e no exterior (Barbeta, 2000).

Uma característica marcante destes recursos, é o seu apelo visual. As novas gerações de alunos, que foram criadas em um ambiente onde a imagem é parte fundamental de seus cotidianos, sentem-se muito mais confortáveis quando algum tipo de estímulo visual é utilizado para a transmissão de qualquer tipo de informação. Isto é comprovado por estudos que mostram que cerca de 70% das pessoas aprendem melhor aquilo que vêem, e que apenas 30% preferem um outro meio (Wolfgram, 1994). Além disso, o aprendizado aumenta quando os aprendizes podem interagir com aquilo que estão aprendendo. Neste sentido, o computador parece ser o instrumento ideal para facilitar o processo de aprendizagem.

Apesar de toda a potencialidade que os computadores oferecem para serem utilizados no ensino, muito pouco tem sido feito para sua utilização efetiva, especialmente para o ensino de Física no Brasil (Rosa, 1995). Em parte, isto se deve à falta de infra-estrutura e de pessoal para a criação e implantação de metodologias envolvendo o uso de computadores, bem como a

dificuldade em se levar para a sala de aula as experiências feitas com turmas piloto. A questão da formação docente é também um aspecto limitador da introdução de novas tecnologias. Grande parte dos profissionais que hoje atuam na área de ensino, não possuem uma formação que permita que estes participem de uma forma mais incisiva no processo de aplicação da ferramenta computador em seus cursos (Giraffa, 1991). Embora no caso do docente de Física, este quadro venha se alterando ao longo dos últimos anos (Tibboni, 2000), a utilização efetiva do computador em sala de aula é ainda muito tímida.

Por outro lado, mesmo aqueles educadores que possuem grande experiência em informática, muitas vezes são desprovidos de uma formação pedagógica que permita a criação de programas de computador inseridos dentro de uma metodologia de ensino mais elaborada. Em alguns casos, quando se fala do uso de informática dentro da sala de aula, este uso limita-se ao processo de ensinar alguns princípios de operação, através do uso de pacotes como editores de texto, planilhas, etc. Em outros, aplica-se o computador com uma metodologia baseada em modelos pedagógicos antigos e que já provaram ser deficientes.

A criação de softwares, onde as potencialidades do estudante possam ser exploradas, tendo por base no processo de ensino a construção do conhecimento através daquilo que o estudante já conhece, é sem dúvida uma tarefa árdua e desafiadora. Esta forma mais humanística de utilização do computador é muito semelhante às idéias propostas por C. R. Rogers em seus diversos trabalhos sobre a psicologia da aprendizagem, onde para um aprendizado mais efetivo, além da individualização do ensino é fundamental também a sua personalização (Milhollan, 1978). O uso de computador, leva de maneira geral à individualização do ensino, porém não necessariamente à sua personalização. A individualização pressupõe que o usuário poderá caminhar durante o estudo, conforme seu próprio ritmo. Porém, para que o ensino seja personalizado, é preciso que este ocorra conforme o nível de conhecimento prévio do estudante. Neste sentido, os recursos de hipermídia podem ser a solução para que a personalização do ensino seja alcançada.

### **3. USO DE SIMULAÇÕES EM COMPUTADOR NO ENSINO DE FÍSICA**

Embora a individualização e a personalização do ensino ainda não sejam possíveis de serem implementadas de forma completa, uma grande melhora no processo ensino-aprendizado pode ser obtida através da incorporação de novos recursos tecnológicos à sala de aula. Dentro da área de Física, o uso de simulações de experimentos em computador vem sendo explorada nos últimos tempos como um recurso auxiliar para o desenvolvimento de diversos tópicos, desde assuntos relacionados à área de mecânica até óptica (Borghini, 1987 - Eylon, 1996 - Barbeta, 1996 - Barbeta, 1999 - Monaghan, 1999 e Steinberg, 2000).

Podem ser observadas uma série de vantagens do experimento simulado em relação ao experimento tradicional. Entre estas vantagens a mais importante é, sem dúvida, o fato de que elas permitem realizar o experimento em condições que não são possíveis no laboratório. Além disso, as simulações ajudam na visualização de fenômenos transientes, a reduzir custos a longo prazo, a amplificar um comportamento que pode ser mascarado no mundo real, a obter maior precisão experimental, a possibilidade do usuário transferir atividades repetitivas ao computador, etc.

Um problema com que se deparava até há alguns anos atrás para a utilização deste tipo de recurso, era a não disponibilidade de softwares comerciais que atendessem às necessidades de professores e alunos. A maioria dos softwares disponíveis cobriam somente alguns poucos tópicos (circuitos elétricos e princípios de mecânica de pontos materiais), ou eram voltados à aplicação com alunos do ciclo médio. A melhora da qualidade dos softwares, bem como alguns

bons resultados observados em sua utilização, tem feito com que se busque um aumento da utilização deste tipo de ferramenta como instrumento pedagógico.

Normalmente, as simulações são incorporadas às atividades de laboratório de Física, substituindo em parte ou completamente o arranjo experimental real. Em algumas situações especiais, existe uma reformulação completa na dinâmica de funcionamento da aula, principalmente com a criação de ambientes onde os estudantes participam de atividades realizadas em grupo, onde devem ter um comportamento mais ativo (Steinberg, 2000).

Além do uso de simulações em aulas de laboratório, como substituto de experimentos reais, temos começado a explorar o uso de simulações em aulas de teoria, como recurso para demonstração de certos fenômenos físicos.

#### **4. DEMONSTRAÇÕES UTILIZANDO SOFTWARE DE SIMULAÇÃO**

Uma forma pouco explorada de uso de simulações em computador, é como recurso para a realização de demonstração em aulas de teoria, criando-se desta forma uma espécie de "laboratório de demonstrações virtuais". Além do seu uso direto em sala de aula, a criação de um laboratório de demonstrações virtuais possibilita a disponibilização do material criado para as aulas para acesso posterior dos alunos. Assim os alunos podem, a princípio, utilizar estas simulações como um complemento daquilo que foi visto em aula, podendo o material ser acessado no instante em que estiverem reestudando o assunto. Uma outra vantagem importante, é o baixo custo de instalação e manutenção. Os recursos materiais necessários para a sua utilização em aula restringem-se ao software de simulação, computador e projetor multimídia, os quais podem ser utilizados para a realização de uma enorme gama de experimentos.

Foi testada a utilização deste tipo de ferramenta na FEI, com alunos do ciclo básico de engenharia, de três formas distintas. Na primeira, as simulações ocupavam não mais do que 20 minutos do início de algumas aulas (aquelas em que novos conceitos seriam introduzidos). As simulações visavam dar uma idéia ao aluno dos tópicos que estariam sendo tratados nas aulas seguintes, funcionando como elemento motivador para a teoria a ser desenvolvida. Na segunda forma, uma aula completa era utilizada com as simulações. Todos os conceitos que seriam discutidos nas aulas seguintes, eram apresentados de forma rápida, através de exemplos de sistemas físicos simulados, onde estes conceitos eram normalmente explorados. A última forma de uso, envolvia também a utilização de uma aula completa. Porém, neste caso, esta aula era realizada após o estudo detalhado dos diversos tópicos tratados pelas simulações. Nesta situação, a sua finalidade era a de fixar conceitos.

Das três formas básicas, a última (utilização posterior ao estudo teórico) foi a que apresentou melhores resultados, conforme relato de todos os professores envolvidos em sua utilização. Isto porque a participação dos alunos neste caso foi mais intensa, provavelmente por já conhecerem em parte o assunto a que se referiam as simulações. Pretende-se no próximo semestre experimentar uma quarta forma, envolvendo o uso prévio e posterior de simulações, buscando primeiramente motivar o aluno e a seguir fixar certos conceitos chaves.

Esta última forma de uso das simulações em sala de aula, é a que temos utilizado atualmente. Os tópicos abordados versam sobre mecânica de pontos materiais, mais especificamente, são tratados os seguintes temas: cinemática escalar e vetorial de pontos materiais, princípios de dinâmica de ponto material, trabalho e energia. Além de se ilustrar os movimentos que estavam sendo estudados através do uso de animações, a simulação pretendia ainda desenvolver no aluno a conexão entre o movimento de um corpo e a correspondente representação gráfica. A preocupação em se utilizar recursos que envolvam simultaneamente a

apresentação do fenômeno juntamente com a sua representação gráfica, vem de uma observação da séria dificuldade que alguns alunos possuem na interpretação gráfica de problemas de cinemática. Isto também tem sido observado por outros pesquisadores (Beichner, 1994), e entre as dificuldades apontadas, estão a falta do entendimento claro do significado dos gráficos de posição, velocidade e aceleração em função do tempo, bem como a falta de habilidade para interpretar corretamente o significado das áreas sob os diversos gráficos. O uso conjunto de simulações e desenvolvimento teórico de um dado tópico, pode, a princípio, melhorar o entendimento dos alunos nestas situações.

As simulações tem sido criadas utilizando-se o software comercial "Interactive Physics 5.0®", versão esta já produzida na língua portuguesa. Embora existam alguns problemas no que se refere a algumas restrições impostas pelo software (como por exemplo o fato das simulações não serem em tempo real), muitas modificações vem sendo introduzidas no lançamento de cada nova versão, o que tem tornado este software bastante poderoso para a sua utilização como instrumento de apoio pedagógico.

Algumas observações em termos de desempenho dos alunos em provas, mostraram que, embora em certas situações os alunos continuem tendo dificuldades na manipulação das funções que descrevem o movimento de um corpo, o entendimento de determinados aspectos, como a interpretação gráfica do movimento, parece ter sido melhorada. Isto é, nos pontos que foram reforçados através do uso de demonstrações feitas com auxílio de programas de simulação, o desempenho foi melhor do que naqueles em que este recurso não foi utilizado. É importante, no entanto, ter em mente que a melhora no desempenho pode ter sido causada pelo fato de se ter insistido em determinados pontos, o que poderia ser também obtido utilizando-se qualquer outro método convencional. Assim, vale ressaltar novamente, que para uma melhor compreensão da melhora ou não no desempenho do aluno com o uso deste tipo de recurso, é necessário a aplicação de um metodologia de testes que possa refletir de forma objetiva o grau de conhecimento conceitual adquirido pelo aluno naqueles tópicos tratados. É preciso, pois ter uma avaliação objetiva, já que em determinadas situações, tem sido reportada a ausência de uma melhora significativa na performance dos alunos quando é utilizada alguma forma de nova metodologia de ensino (Vesenka, 1997 e Mottmann, 1999).

Uma das técnicas que tem sido empregada com este objetivo, em estudos que visam comparar a performance de alunos que tiverem aulas convencionais com aqueles que foram submetidos a algum tipo de nova metodologia, é o uso de teste padrões, entre eles o "Force Concept Inventory" (Hestenes, 1992) e o "Mechanical Baseline Test". A adaptação destes testes, para a realização de uma medida objetiva dos resultados alcançados com o uso de computadores para a realização de demonstrações, deverá ser realizada em breve.

Uma outra observação que gostaríamos de ressaltar, é a de que quando a duração da sessão de simulação é longa (uma aula completa, isto é, 100 minutos) após um certo tempo alguns alunos já perderam o interesse. Sem dúvida, o uso de luz mais amena para permitir uma melhor visualização da projeção contribui bastante para que alguns alunos fiquem mais dispersos, embora o maior problema pareça ser a dificuldade que esses alunos apresentam em manterem-se concentrados em uma mesma atividade por um período longo.

## **5. CONCLUSÕES**

Com a popularização dos microcomputadores pessoais, diversas tentativas tem sido realizadas visando identificar possíveis formas do seu uso no ensino. A utilização de simulações em computador tanto em aulas de laboratório, na substituição de experimentos convencionais, quanto em aulas de teoria, como um instrumento de demonstração, tem sido realizada na FEI. Os resultados observados tem sido satisfatórios, embora sejam puramente

subjetivos, e reflitam apenas uma sensação do professor em termos de resposta da turma à introdução desta ferramenta como instrumento de apoio pedagógico. Uma avaliação quantitativa da melhora (ou não) que se obtém com a incorporação de recursos como este, precisa ainda ser realizada. Esta, no entanto, não é uma tarefa simples, já que diferentes turmas possuem diferentes desempenhos, e este desempenho se altera com o passar dos anos (com as novas turmas ingressantes). A verificação do grau de compreensão e retenção dos conceitos estudados não é simples, embora a utilização de recursos que visem medir o entendimento conceitual de um dado tópico possa ser feito através da realização de testes padrões, como o que é feito em universidades americanas através da utilização de ferramentas como o "Force Concept Inventory", os quais poderiam ser adaptados à realidade dos estudantes brasileiros.

### **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer à Fundação de Ciências Aplicadas (FCA) pelo financiamento deste projeto, e aos professores Augusto M. dos Santos e Issao Yamamoto pelo auxílio no desenvolvimento dos conteúdos das simulações e pela aplicação das mesmas em sala de aula.

### **REFERÊNCIAS**

Alencar, E. S. (org.), "Novas Contribuições da Psicologia aos Processos de Ensino e Aprendizagem", Cortez Editora, 1992.

Barbeta, V. B., "Ensino a distância e os novos desafios à educação", submetido à revista Pesquisa e Tecnologia da Fundação de Ciências Aplicadas em março de 2000.

Barbeta, V. B. e Bechara, J. M., "Uso de Simulações em Computador em Aulas de Laboratório de Física", Anais do XXIV Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia - COBENGE, Manaus, 1996.

Barbeta, V. B., "Use of Simulations Software for Physics Teaching", Anais da International Conference on Engineering Education (ICEE), Rio de Janeiro, 1999.

Beichner, R. J., "Testing Student Interpretation of Kinematics Graphs", American Journal of Physics, **62**, 750 (1994).

Borghì, L., De Ambrosis, A. , Mascheretti, P. e Massara, C. I., "Computer simulation and laboratory work in the teaching of mechanics", Phys. Educ., **22**, (1987).

Cummings, K, Marx J., Thornton R. e Kuhl D., "Evaluating innovation in studio physics", Phys. Ed. Res., Am. Journ of Phys. Suppl., **67** (7), S38 (1999).

Eylon, B. S., Ronen, M. e Ganiel, U., "Computer simulation as tools for teaching and learning: Using a simulation environment in optics", J. Sci. Educ. Technol. **5** (2), 93 (1996).

Giraffa, L. M. M., "O Ensino de Engenharia Informatizado X Formação Docente", Anais do XXII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia - COBENGE, Porto Alegre, 1991.

Heineck, L. F. M. e Mendes Junior, R. , "Ensino e Informação Tecnológica na Internet", Anais do XXIV Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia - COBENGE, Manaus, 1996.

Hestenes, D., Wells, M. e Swackhamer, G., "Force concept inventory", The Physics Teacher, **30**, 141 (1992).

Holbrow, C. H., "Archeology of a bookstack: some major introductory Physics texts of the last 150 years", Physics Today, **52**, 50 (1999).

Kalman, C. S., Morris, S., Cottin, C. e Gordon, R., "Promoting conceptual change using collaborative groups in quantitative gateway courses", Phys. Educ. Res., Amer. J. Phys. Suppl. **67** (7), S45 (1999).

Maenza, R. R., "Hipertexto como Ferramenta de Apoio no Processo de Ensino-Aprendizagem", Tese de mestrado apresentada no Instituto de Informática da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994.

Milhollan, F e Forisha, B. E., "Skinner x Rogers - Maneiras contrastantes de encarar a educação", Summus Editorial, 1978.

Monaghan, J. M. e Clement, J., "Use of computer simulation to develop mental simulations for understanding relative motion concepts", Int. J. Sci. Educ. **21** (9), 921 (1999).

Mottmann, J., "Innovations in Physics Teaching - A Cautionary Tale", The Physics Teacher, **37**, 74 (1999).

Rosa, P. S. R., "O uso de computadores no ensino de Física. Parte I: Potencialidades e uso real", Revista Brasileira de Física, **17**, no. 2, 182 (1995).

Steinberg, R. N., "Computers in teaching science: To simulate or not to simulate?", Phys. Educ. Res., Am. J. of Phys. Suppl, **68** (7), S37 (2000).

Tiboni, C. G. R., "O docente de Física e as novas tecnologias digitais: avanços e rupturas", dissertação de mestrado apresentada na Universidade Presbiteriana Mackenzie em 14 de março de 2000.

Vesenka, J., Munoz, G. e Key, R., "Comparison between traditional and multi-media lecture techniques in a medium-sized class examined through the Force Concepts Inventory", Excellence in Teaching and Learning - First Annual Conference, California State University, USA, 1997

Wolfgram, D. E., "Criando em Multimídia", E. Campus, Rio de Janeiro, 1994.