



O USO DE ANIMAÇÕES PARA INTRODUIZIR CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA MECÂNICA DAS ESTRUTURAS: NOVO RELATO E AVALIAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

André Capeli – andre.capeli@poli.usp.br

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, Laboratório de Mecânica Computacional

Caixa Postal 61548

05424-970, São Paulo – SP

Henrique Lindenberg Neto – henrique.lindenberg@poli.usp.br

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, Laboratório de Mecânica Computacional

Caixa Postal 61548

05424-970, São Paulo – SP

Resumo: *Este projeto dá continuidade ao trabalho de iniciação científica intitulado “Usando multimídia interativa no ensino de dois conceitos fundamentais da engenharia de estruturas: diagramas de esforços solicitantes e linhas de influência”, realizado por Daniel Adbo Brohem Ventri, com bolsa da FAPESP, que consistiu na elaboração de animações para uso da disciplina PEF-2200 “Introdução à mecânica das estruturas” do curso de engenharia civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Como o projeto teve muito êxito, resolveu-se continuá-lo, e, nesta nova etapa, estão sendo desenvolvidas animações sobre treliças, arcos triarticulados e barras submetidas à tração ou compressão simples. Estas animações vêm sendo preparadas desde setembro de 2002 e constam de duas versões: uma versão só com as animações, sem textos explicativos, para uso nas aulas expositivas com a complementação de explicações orais do professor, e uma versão, com as mesmas animações, mas acompanhadas por textos explicativos, para serem utilizadas pelos alunos em sessões de estudo individual via internet. Nesta nova etapa, as animações sobre treliças já foram concluídas e estão disponíveis no site www.lmc.ep.usp.br/people/hlinde/pef-2200/HOME.htm. Neste artigo, faz-se uma apresentação deste projeto e uma avaliação de seu uso como material educacional.*

Palavras-chave: *Tecnologia Educacional, Ensino de Engenharia, Mecânica das Estruturas, Resistência dos Materiais, Animações*



1. INTRODUÇÃO

A forma de educar depende diretamente das necessidades da sociedade e dos recursos existentes. Atualmente, não há como negar a necessidade de a escola se modernizar e repensar novas formas de atingir a sua missão. E sendo assim, o computador é um instrumento que, quando bem utilizado, pode contribuir para um trabalho mais eficaz da escola, em particular no ensino da engenharia de estruturas.

A informática educacional não tem a pretensão de transmitir uma maior quantidade de informações aos alunos, e sim transformar o processo educacional e facilitar o aprendizado.

O uso de recursos de multimídia ainda é utilizado de forma tímida no Brasil, mesmo havendo diversas experiências visando introduzir tais recursos no aprendizado do aluno.

Com a finalidade de introduzir os recursos de multimídia nos cursos ministrados pelo Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, realizou-se nesse Departamento o projeto de pesquisa intitulado “Investigação de novas metodologias para o ensino de engenharia de estruturas utilizando recursos de multimídia interativa”, desenvolvido pelos Professores Túlio Nogueira Bittencourt, Marcos Aurélio Marques Noronha e Henrique Lindenberg Neto. Este projeto de pesquisa realizou-se de março de 2000 a fevereiro de 2002, com financiamento da FAPESP, e sua finalidade foi o desenvolvimento de material educacional utilizando recursos de multimídia para uso nas disciplinas de Resistência dos Materiais e Estruturas de Concreto Armado. Um dos subprojetos deste projeto maior foi o da elaboração de animações para uso na disciplina PEF-2200 “Introdução à mecânica das estruturas”; este projeto foi desenvolvido pelo bolsista de iniciação científica Daniel Adbo Brohem Ventri, e ele foi relatado por Ventri e Lindenberg Neto (2002). Como as animações elaboradas neste primeiro projeto atingiram seus objetivos didáticos, decidiu-se dar-lhe continuidade, estando sendo agora desenvolvidas animações sobre treliças, arcos triarticulados e barras submetidas à tração ou compressão simples.

Neste artigo serão apresentadas as novas animações que vêm sendo elaboradas para uso na disciplina PEF-2200 “Introdução à mecânica das estruturas”, a primeira disciplina de engenharia de estruturas do curso de engenharia civil da Escola Politécnica da USP, ministrada aos alunos do 3º semestre do curso. O segundo autor deste trabalho é o professor responsável por esta disciplina e o orientador deste projeto, e o primeiro autor é o bolsista de iniciação científica da FAPESP que vem desenvolvendo as animações.

2. DESCRIÇÃO DO PROJETO

2.1 A disciplina PEF-2200 “Introdução à mecânica das estruturas”

A disciplina PEF-2200 “Introdução à mecânica das estruturas” tem como objetivos a introdução dos conceitos de tensão, de esforços solicitantes e de linhas de influência, a determinação dos diagramas de esforços solicitantes de estruturas isostáticas e das linhas de influência de vigas simples isostáticas, e uma introdução ao comportamento estrutural de alguns sistemas estruturais simples: vigas retas e poligonais, treliças, pórticos triarticulados, arcos triarticulados, vigas Gerber e algumas outras estruturas associadas simples.

A disciplina possui 4 créditos, sendo semanalmente ministradas duas aulas expositivas de 100 minutos de duração cada uma. A disciplina tem como textos básicos duas apostilas do Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações da Escola Politécnica da USP, de autoria de Lindenberg Neto (1997), (2001). Além destas duas apostilas com teoria, listas de

exercícios com respostas e as provas mais recentes da disciplina com seus respectivos gabaritos estão à disposição dos alunos em um *site* da disciplina na internet.

Estão sendo preparadas duas versões das animações: uma versão só com as animações, sem textos explicativos, para uso nas aulas expositivas com o complemento das explicações orais do professor, e uma versão com as mesmas animações, mas acompanhadas por textos explicativos, para serem utilizadas pelos alunos em sessões de estudo individual via internet.

As animações, baseadas no material encontrado nas duas apostilas da disciplina, apresentam de forma dinâmica seqüências de raciocínios e procedimentos descritos de forma discursiva no texto das apostilas. É exatamente nesta possibilidade de se apresentar por meio de imagens dinâmicas procedimentos que são dinâmicos por natureza, mas muito difíceis de descrever por meio de palavras, que reside um dos principais valores didáticos das animações em elaboração.

2.2 As animações que vêm sendo desenvolvidas

As animações que vêm sendo desenvolvidas têm o objetivo de tornar mais fácil a compreensão dos conceitos da mecânica das estruturas, bem como atrair o aluno para um aprendizado mais dinâmico através da interatividade que se obtém.

As animações apresentadas neste artigo são as relativas às treliças, e foram elaboradas para transmitir os seguintes conceitos: tipos de treliças (simples e compostas), métodos de formação de treliças (simples e compostas) e métodos de resolução de treliças (simples e compostas).

Esta nova etapa do projeto foi iniciada em setembro de 2002 e nela já foram elaboradas todas as animações referentes às treliças. Foram feitas animações apresentando:

- Dois tipos de treliças a serem estudadas: treliças simples e treliças compostas;
- Lei de formação de uma treliça simples utilizada em coberturas;
- Lei de formação de uma treliça simples utilizada em pontes;
- Lei de formação de treliças compostas a partir da união de duas treliças simples por meio de um nó comum e uma barra;
- Lei de formação de treliças compostas a partir da união de duas treliças simples por meio de três barras não paralelas nem concorrentes em um mesmo ponto;
- Dois métodos de resolução de treliças simples: o método do equilíbrio dos nós e o método de Ritter.
- Método para resolução de treliças compostas.

A melhor forma de conhecer este projeto e as animações que vêm sendo realizadas é por meio de uma visita ao *site*: www.lmc.ep.usp.br/people/hlinde/pef-2200/HOME.htm.

As animações foram desenvolvidas segundo a seguinte metodologia: em conjunto com o orientador, o bolsista definia as animações e os pontos fundamentais que ela deveria destacar. As animações e os textos explicativos eram então desenvolvidos pelo bolsista e posteriormente avaliados e comentados pelo orientador, passando-se então à fase de acabamento final. Utilizou-se para a construção das animações o programa *Flash Mx*.

Este projeto estará em desenvolvimento até o mês de setembro deste ano (2003), quando se encerra a bolsa de iniciação científica do aluno. Neste presente momento estão sendo desenvolvidas as animações sobre arcos triarticulados e, posteriormente, serão desenvolvidas as animações referentes a barras submetidas à tração ou compressão simples.

Para ilustrar algumas das animações desenvolvidas, apresentam-se a seguir algumas etapas das animações, buscando mostrar a seqüência lógica das mesmas.

Na Figura 1 é apresentada a seqüência lógica da animação referente à lei de formação de uma treliça simples utilizada em pontes.

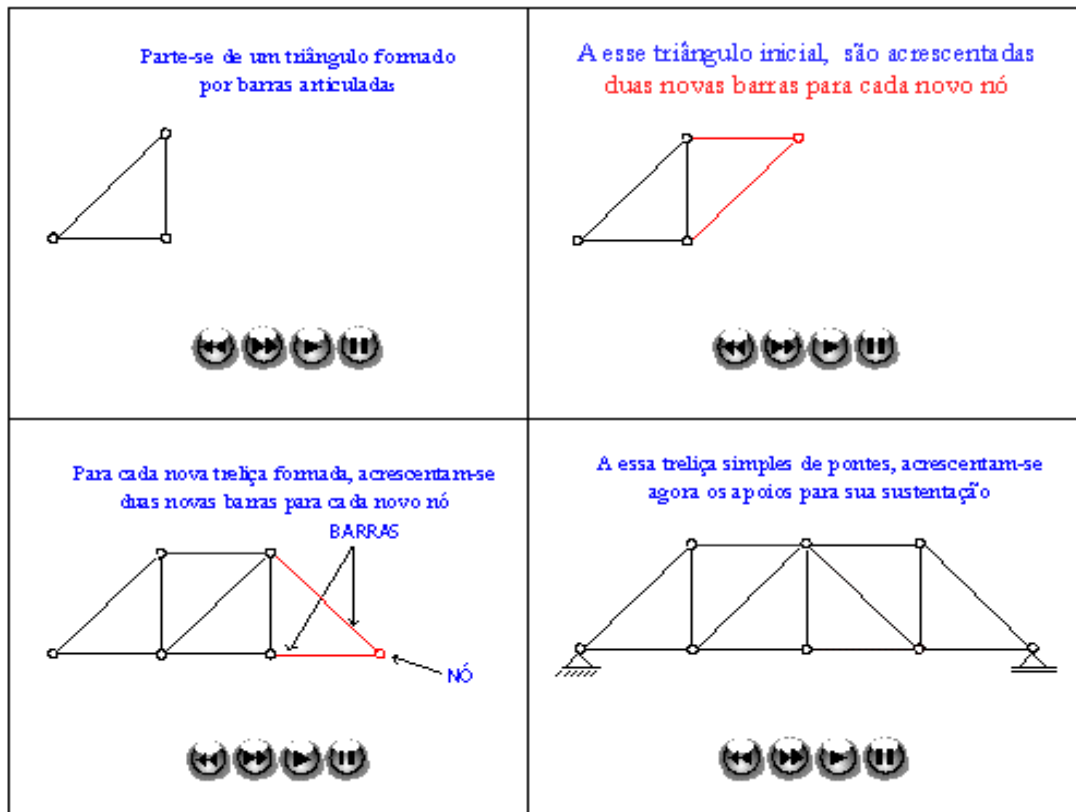


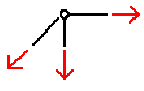
Figura 1: Seqüência da animação sobre a lei de formação de uma treliça simples utilizada em pontes

Métodos de resolução de uma treliça simples

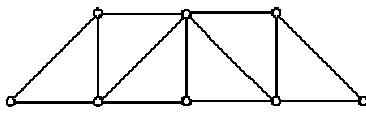
Resolver uma treliça simples é determinar as reações de seus apoios e as forças normais que atuam em suas barras.

São dois os principais métodos de resolução de treliças simples:

- método do equilíbrio dos nós;
- método de Ritter, também conhecido como método das seções



Ir para o método do equilíbrio dos nós



Ir para o método de Ritter

Figura 2: Tela de apresentação da animação sobre os métodos de resolução de treliças simples

Como se pode notar, a animação apresenta, por meios dinâmicos, a seqüência lógica que o aluno deve desenvolver para “construir” um modelo de treliça simples utilizada em pontes. Nota-se que as duas novas barras que são acrescentadas a cada novo nó são, inicialmente, vermelhas e, após terem se incorporado à treliça, tornam-se pretas, da cor do restante da treliça. Essa seqüência é desenvolvida até a finalização da treliça, quando são então acrescentados seus apoios.

A Figura 2 apresenta a tela de apresentação da animação sobre métodos de resolução de treliças simples. Pode-se observar que o aluno tem a possibilidade de ir para o método do equilíbrio dos nós ou para o método de Ritter. É importante salientar que quem conduz o ritmo da animação é o próprio aluno.

Como exemplo de métodos para resolução de treliças simples, a Figura 3 e a Figura 4 apresentam cinco etapas relativas ao método de Ritter.

Na etapa 1 há um texto inicial explicando sucintamente como se procede a resolução pelo método de Ritter. A etapa 2 mostra o corte feito e o equilíbrio de cada uma das partes seccionadas da treliça. A etapa 3 apresenta as equações para a determinação das forças normais indicadas. Na etapa 4, há um texto explicativo da principal diferença entre o método de Ritter e o método do equilíbrio dos nós. Concluindo, a etapa 5 mostra a configuração da treliça após a determinação das forças normais procuradas. Nesta última etapa, o aluno pode optar por rever a animação sobre o método de Ritter ou ver a animação sobre o método do equilíbrio dos nós.

3. AVALIAÇÃO

Objetivando avaliar as animações, foi feita recentemente uma pesquisa com os alunos da disciplina PEF-2200 “Introdução à mecânica das estruturas”. Nesta pesquisa os alunos responderam a várias perguntas, dentre as quais estão sendo destacadas as seguintes:

1. Você esteve presente a alguma das aulas em que as animações foram utilizadas?
2. Minha opinião global sobre o uso das animações na sala de aula é (nota de 0 a 10):
3. Em sua opinião, quais são as maiores qualidades do uso das animações em sala de aula?
4. Em sua opinião, quais são os maiores defeitos do uso das animações em sala de aula?
5. Você utilizou as animações da internet como material de estudo?
6. Minha opinião global sobre as animações da internet é (nota de 0 a 10):
7. Em sua opinião, quais são as maiores qualidades das animações da internet?
8. Em sua opinião, quais são os maiores defeitos das animações da internet?
9. Faça comentários e sugestões.

Um total de 58 alunos responderam ao questionário. Desses, 54 alunos (93%) responderam positivamente à questão 1, e 29 alunos (50%) responderam positivamente à questão 5. A Figura 5 apresenta um histograma relativo à avaliação pedida na questão 2 e a Figura 6 o histograma relativo à avaliação pedida na questão 6.

Como se pode notar, a maioria dos alunos está satisfeita com o desempenho das animações tanto em sala de aula quanto pela internet. Não foi atribuída nenhuma nota abaixo de seis.

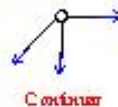
Com relação à questão 3, 72% dos alunos destacaram como principal qualidade das animações a facilidade de visualizar esforços e deformações, e 39% destacaram que as animações ajudam no entendimento da matéria. É importante ressaltar que há alunos que destacaram as duas qualidades simultaneamente e alunos que não responderam à questão.

Com relação à questão 4, 17% dos alunos destacaram como defeito o elevado tempo gasto em aula para projetar as animações e cerca de 4% acham que as animações não são uma forma de fazer exercício.

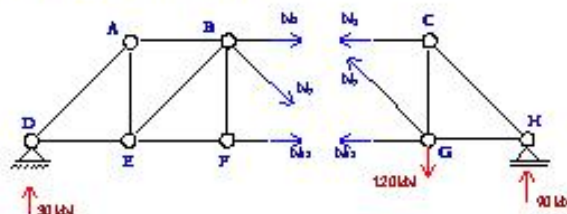
Método de Ritter

Para resolver-se uma treliça pelo método de Ritter, também chamado método das seções, procede-se da seguinte forma:

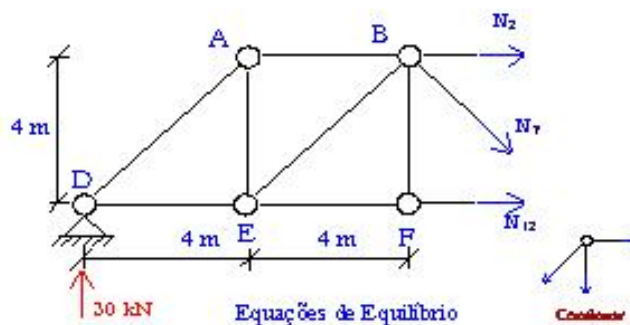
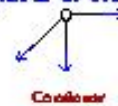
- Determinam-se as reações de apoio através das equações de equilíbrio global da estrutura;
- Corta-se a treliça em duas e, escrevendo-se as equações de equilíbrio para a estrutura cortada, determinam-se as forças normais nas barras seccionadas.



- Corta-se a treliça em duas e, escrevendo-se as equações de equilíbrio para a estrutura cortada, determinam-se as forças normais nas barras seccionadas.



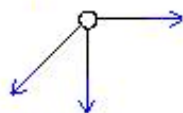
Se é feito o equilíbrio da parte da treliça à esquerda do corte e serão obtidas as forças normais N_2 , N_7 e N_{12} .



$$\begin{aligned} \sum M_B = 0 & \Rightarrow -30 \cdot 8 + N_{12} \cdot 4 = 0 \Rightarrow N_{12} = 60 \text{ kN} \\ \sum Y = 0 & \Rightarrow 30 - N_7 \frac{\sqrt{2}}{2} = 0 \Rightarrow N_7 = 30 \sqrt{2} \text{ kN} \\ \sum X = 0 & \Rightarrow N_2 + N_7 \frac{\sqrt{2}}{2} + N_{12} = 0 \Rightarrow N_2 = -90 \text{ kN} \end{aligned}$$

Figura 3: Etapas da animação sobre o método de Ritter

A grande vantagem desse método é poder-se determinar as forças normais nas barras seccionadas sem calcular as forças normais nas demais barras da treliça, o que não ocorre quando se utiliza o método do equilíbrio dos nós.



Continuar

Após a resolução das forças normais, temos a seguinte configuração das forças:

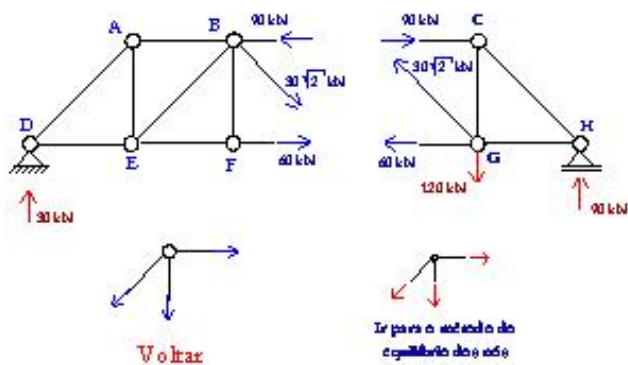


Figura 4: Etapas da animação sobre o método de Ritter

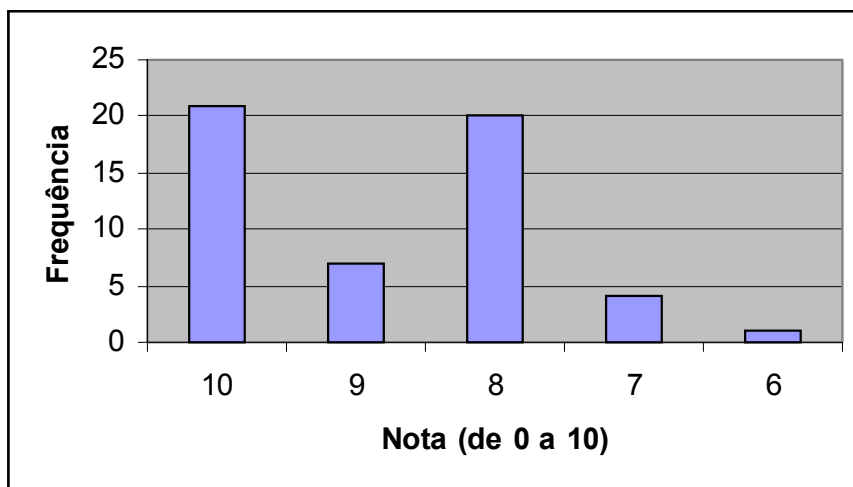


Figura 5: Histograma da avaliação das animações usadas em sala de aula

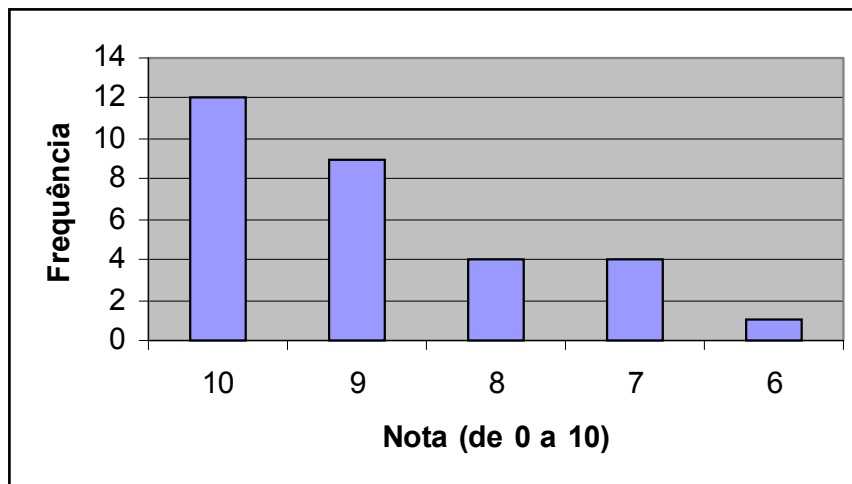


Figura 6: Histograma da avaliação das animações utilizadas via internet

Na questão 7, 31% acreditam que as animações facilitam o estudo e servem como revisão das aulas expositivas.

Na questão 8, 21% dizem que as animações são lentas (demoram para “abrir”), 17% reclamam da falta de liberdade de ir para frente e para trás nas animações e 17 % acreditam que deveria haver mais exemplos em animações.

A respeito da questão 9, alguns dos comentários mais relevantes são transcritos a seguir:

- “As animações são muito úteis como material de auxílio ao professor, além de facilitar a visualização das deformações das estruturas.”
- “É um grande avanço didático, sobretudo para uma matéria tão importante como é a Introdução da mecânica das estruturas.”
- “Elas contribuem muito para o entendimento da matéria. Na minha opinião, já está sendo usado o suficiente de animação em aula, não devendo ser aumentado o tempo que as animações são utilizadas em aula.”
- “Em caráter geral, as animações estão muito bem elaboradas e me ajudaram muito na compreensão da matéria. Acredito que os poucos defeitos que me incomodaram não sejam motivo para alterá-las, pois é apenas uma questão subjetiva. Os textos vagarosos ajudam também aos alunos com menos conhecimento na matéria a estudar.”
- “As animações atuais não são úteis para apresentação em sala de aula, pois o conteúdo básico da matéria já foi todo dado pelo professor em aula. O ideal seria o professor apresentar apenas os exemplos (teóricos e reais) e deixar as animações para quem não entendeu a matéria acessar pela internet.”

Como se pode notar nas avaliações, a grande maioria dos alunos tem aprovado o uso das animações. Deve-se observar que estas avaliações não se referem apenas às animações agora em desenvolvimento, mas também às animações elaboradas na fase anterior do projeto, já que todas elas foram utilizadas no decorrer do semestre. Algumas críticas, como a dificuldade para avançar e retroceder nas animações e a lentidão de algumas delas já haviam surgido em avaliações anteriores, e, desde o início da elaboração das animações desta nova etapa do projeto, vem-se levando em consideração estas observações e procurando superar os defeitos anteriormente apontados pelos usuários das animações.



3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As animações desenvolvidas neste projeto vêm sendo utilizadas de duas formas: como material complementar ao estudo individual dos alunos, e como ferramenta de auxílio aos professores nas aulas expositivas.

Para se atingir os objetivos propostos para as animações desenvolvidas como material para o estudo individual dos alunos, deve-se entendê-las como uma ferramenta complementar ao estudo tradicional. No caso particular da disciplina PEF-2200 “Introdução à mecânica das estruturas”, a cujos alunos as animações se destinam, o estudo tradicional se baseia em aulas expositivas apoiadas em textos especificamente elaborados para a disciplina, complementados por listas de exercícios gerais e de provas antigas da disciplina, com as respectivas respostas. Assim, o grande valor das animações como elemento complementar ao estudo tradicional, é o de apresentar de forma dinâmica os conceitos e os procedimentos descritos e mostrados de forma estática nos textos da disciplina, que poderão, então, ser muito melhor compreendidos e aprendidos.

Para que as animações elaboradas para uso nas aulas expositivas tenham seus objetivos alcançados, deve-se empregá-las como uma ferramenta adicional às apresentações tradicionais feitas diretamente no quadro negro, de forma a mesclar os métodos de ensino mais convencionais com as novas tecnologias de ensino (como as animações deste projeto).

A avaliação feita pelos alunos mostra que os objetivos das animações vêm sendo atingidos, principalmente como material de estudo individual dos alunos pela internet. Ela também mostra que o uso das animações em sala de aula pelo professor deve ser feito de forma cuidadosa e criteriosa, a fim de evitar que elas se tornem excessivas e repetitivas.

Conclui-se, portanto, que o trabalho desenvolvido está sendo muito útil e proveitoso, e acredita-se que este projeto esteja atingindo seus objetivos. Espera-se que este trabalho continue sendo desenvolvido e ampliado para os demais conceitos da engenharia de estruturas e para as demais áreas da engenharia.

Finalizando, é interessante comentar que, como o *site* da disciplina é aberto, podendo ser acessado por qualquer usuário da internet, as animações vêm sendo utilizadas por muitos alunos e professores de várias instituições de ensino do país, que têm solicitado cópia deste material para uso em suas instituições. Por esta razão, recentemente foi gravado um CD com todo o material desenvolvido no projeto “Investigação de novas metodologias para o ensino de engenharia de estruturas utilizando recursos de multimídia interativa”, incluindo as animações elaboradas neste projeto, para que todos os interessados venham a poder utilizá-lo.

Agradecimentos

Este projeto vem sendo continuamente desenvolvido por bolsistas de iniciação científica da FAPESP, e os autores deste artigo agradecem o incentivo que a FAPESP vem dando ao desenvolvimento de novas tecnologias para o ensino de engenharia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

VENTRI, D.A.; LINDENBERG NETO, H. O uso de animações para introduzir conceitos fundamentais da mecânica das estruturas: relato e avaliação da experiência. In: COBENGE – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 30, 2002. **Anais (em CD-ROM)**. Piracicaba, Universidade Metodista de Piracicaba e Associação Brasileira de Ensino de Engenharia, 2002. NTM028.

LINDENBERG NETO, H. **Introdução à Mecânica das Estruturas: Capítulos 1 a 5**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1997.



LINDENBERG NETO, H. Introdução à Mecânica das Estruturas: Capítulos 6 a 11. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2001

THE USE OF ANIMATIONS TO INTRODUCE FUNDAMENTAL CONCEPTS OF MECHANICS OF STRUCTURES: NEW REPORT AND EVALUATION OF THE EXPERIENCE

Abstract: *This project is a continuation of the scientific initiation project named “Using interactive multimedia to teach two fundamental concepts of structural engineering: force diagrams and influence lines”, done by Daniel Abdo Brohem Ventri, with a scholarship of FAPESP, and which consisted of the elaboration of animations to be used in the course PEF-2200 “Introduction to mechanics of structures” of the civil engineering course of Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. As this project was very successful, it has been decided to continue it, and, in this new phase, animations about trusses, three-hinged arches and bars submitted to simple tension or simple compression are being developed. These animations are under preparation since September 2002, and there are two versions of them: one version exclusively with the animations, without any explanatory texts, to be used in the expository classes with the complement of the oral explanations of the professor, and a version of the same animations, but with explanatory texts, to be used by the students in individual sessions of study via the internet. In this new phase, the animations about trusses have already been concluded and can be seen on the site www.lmc.ep.usp.br/people/hlinde/pef-2200/HOME.htm. In this paper, this project is presented and an evaluation of its use as educational material is discussed.*

Key-words: *Education Technology, Teaching of Engineering, Mechanics of Structures, Strength of Materials, Animations*