

# NOVOS PARADIGMAS PARA O ENSINO DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS NA FACULDADE DE ENGENHARIA DA UERJ

**José G. Santos da Silva, D.Sc.** - jgss@uerj.br

**Luciano R. Ornelas de Lima, D.Sc.** - luciano@eng.uerj.br

**Pedro C. G. da Silva Vellasco, Ph.D.** - vellasco@uerj.br

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, Faculdade de Engenharia, FEN.

Rua São Francisco Xavier, N<sup>o</sup> 524, Maracanã.

CEP: 22550-900 - Rio de Janeiro - RJ.

**Resumo:** *A comunidade científica tem conhecimento de que um grande número de alunos de graduação em engenharia possui uma grande dificuldade em visualizar e compreender os fenômenos relacionados com a análise estrutural e, em particular, o comportamento de estruturas. Esta foi a principal motivação para o desenvolvimento de programas gráficos, nos Laboratórios de Computação do Ciclo Básico, LabBas, e da Engenharia Civil, LabCiv, da Faculdade de Engenharia da UERJ, FEN/UERJ, com o objetivo de minorar tais deficiências. A partir do uso de ferramentas gráficas educacionais, pode-se auxiliar os alunos a entender o comportamento de sistemas estruturais bidimensionais e tridimensionais e, bem como, as verificações necessárias para o projeto de estruturas, a partir de exemplos simples. Estes programas, desenvolvidos dentro da plataforma Windows, possuem uma interface gráfica bastante amigável e permitem aos alunos de graduação em engenharia acompanhar, passo a passo, todos os aspectos teóricos e procedimentos relacionados, por exemplo, com a mecânica técnica, dimensionamento e avaliação da resistência estrutural e análise dinâmica de estruturas.*

**Palavras-chave:** *Ensino de engenharia, Softwares educacionais, Engenharia de estruturas.*

## 1. INTRODUÇÃO

Há alguns anos atrás, em uma reunião de diretoria de um dos maiores fabricantes de relógios na Suíça, foi apresentado um novo projeto pela equipe responsável pela área de pesquisa e desenvolvimento. Após uma longa discussão, a diretoria concluiu que a tecnologia mecânica de precisão e os relógios por eles fabricados já atendiam plenamente às necessidades do mercado e que seria um risco e um grande desperdício de recursos, a implantação do novo projeto. Esta proposta foi então encaminhada para um pequeno fabricante no Japão que apostou neste novo conceito: “o relógio digital” a quartzo líquido.

Atualmente, sabe-se que este fabricante representa uma das maiores e mais lucrativas empresas de seu segmento, e que já incorporou diversas empresas fabricantes de relógios em outros países, entre elas, aquela que não implementou o projeto original. Este é um exemplo típico do conceito de mudança de paradigma. Este conceito tende a ser de difícil assimilação, pois introduz novas idéias que muitas vezes, mudam a concepção e os processos que já vem sendo aplicados com sucesso.

A incorporação de novos recursos e idéias vem sofrendo uma maior ou menor resistência de acordo com a capacidade latente dos setores envolvidos na absorção destes novos paradigmas. A Engenharia, apesar de estar diretamente envolvida com a produção e desenvolvimento de tecnologias, apresenta esta mesma dualidade. Setores tradicionais da Engenharia, responsáveis pela aplicação e disseminação destes recursos, muitas vezes são os maiores responsáveis por impedir ou dificultar a sua efetiva implementação. Esta mesma dificuldade está presente no âmbito acadêmico da Engenharia, não só no Brasil como no exterior, devido à restrição natural a mudanças de paradigmas intrínsecas aos profissionais com mais anos de experiência.

Um dos instrumentos mais efetivos para reverter ou acelerar este processo de desenvolvimento se dá através do treinamento e esclarecimento dos novos profissionais que irão entrar no mercado de trabalho. A universidade deve, portanto, assumir esta responsabilidade e treinar adequadamente estes novos profissionais alertando-os para os aspectos positivos e negativos destas mudanças, sem esquecer de continuamente ensinar os aspectos básicos e fundamentais de cada profissão. Um dos exemplos desta disseminação é a utilização do programa de análise estrutural FTOOL, MARTHA (1994).

O uso do programa FTOOL, MARTHA (1994), e de outros programas para análise e dimensionamento de estruturas deve, contudo, ser acompanhada de uma supervisão adequada. A maioria destes programas funciona como um sistema fechado (do tipo “caixa preta”) fornecendo resultados consistentes ou não, dependendo de como foram fornecidos os dados de entrada do problema a ser resolvido. Alguns dos erros mais freqüentes ocorrem por uso incorreto de unidades, definição incorreta das condições de suporte, entre outros. Cabe a cada engenheiro ter a capacidade de analisar os resultados advindos dos programas e decidir se os mesmos são coerentes ou não.

A este fato se soma a incorporação cada vez mais freqüente de atividades relacionadas com pesquisa e desenvolvimento (cursos, orientação de projetos, iniciação científica, etc.), nos cursos de graduação. Naturalmente, isto gera mais dinamismo a estes cursos, propiciando uma formação mais moderna e mais adequada às necessidades da sociedade atual. Neste sentido, espera-se que o corpo docente participe naturalmente de atividades na pós-graduação assim como na graduação estabelecendo-se um canal direto de comunicação entre o ensino fundamental e a pesquisa aplicada.

Este trabalho de ensino/pesquisa apresenta, de forma resumida, uma série de programas educacionais desenvolvidos na Faculdade de Engenharia da UERJ, FEN/UERJ, para o ensino de estruturas em geral, tais como o MECNET, SILVA *et al* (2000), e o DINEST, SILVA *et al* (2002), Outras ferramentas educacionais voltadas mais especificamente para o segmento de comportamento e projeto de estruturas de aço como o COLUMN, ALMEIDA *et al* (1997), utilizado no ensino de aspectos relevantes a serem considerados no comportamento estrutural de colunas de aço e finalmente, o THOR, SILVA *et al* (2001), desenvolvido para análise do efeito do vento sobre o comportamento de torres metálicas.

## **2. ENSINO DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS**

Um dos exemplos mais bem sucedidos da disseminação de programas para Engenharia Civil vem sendo a revolução ocorrida em um grande número de escritórios de cálculo estrutural do Rio de Janeiro com o uso do programa FTOOL, MARTHA (1994). O uso deste programa como motivação para a disciplina de Hiperestática I, sétimo período do curso de Engenharia Civil da FEN/UERJ, levou os alunos a propagarem o uso do programa nos escritórios onde trabalhavam como estagiários. Outros programas como o MECNET, SILVA *et al* (2000), e o DINEST, SILVA *et al* (2002), também estão sendo utilizados como ferramentas auxiliares em disciplinas da graduação em Engenharia Civil da FEN/UERJ e serão descritos a seguir.

### **2.1 Programa MECNET**

Nos últimos anos, a utilização da Internet vem crescendo muito rapidamente no Brasil e no mundo. Inúmeras “*homepages*” são colocadas a disposição dos usuários, sendo crescente o número destes com acesso à rede mundial de computadores. Com base neste fato, observa-se uma necessidade cada vez maior de se adaptar o sistema de ensino a essa nova realidade. Pensando nisso, desenvolveu-se um livro eletrônico denominado comumente de “Projeto MecNet”, tendo como principal característica, a interatividade.

O programa MECNET, SILVA *et al* (2000), é baseado em uma referência técnica já consagrada e correntemente empregada nos cursos de Mecânica Técnica (Mecânica Geral), referentes à graduação da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, BEER e JOHNSTON (1994).

A partir da utilização deste livro eletrônico, o aluno/usuário tem acesso direto a aspectos teóricos do assunto em estudo, referentes a uma disciplina clássica dos cursos de graduação em

engenharia civil que é a Mecânica Geral, Figura 1, como também a alguns problemas propostos e resolvidos, os quais podem ser alterados pelo usuário de forma a facilitar o entendimento dos conceitos estudados, Figura 2.

Assim sendo, tem-se um sistema gráfico interativo, disponível gratuitamente na internet, que permite ao aluno uma melhor visualização e compreensão da resolução de vários problemas de engenharia. Este programa permite aos alunos: desenvolver a criatividade, a velocidade de raciocínio além de elevar o nível de conhecimento relacionado com assuntos de interesse de disciplinas de graduação em engenharia.

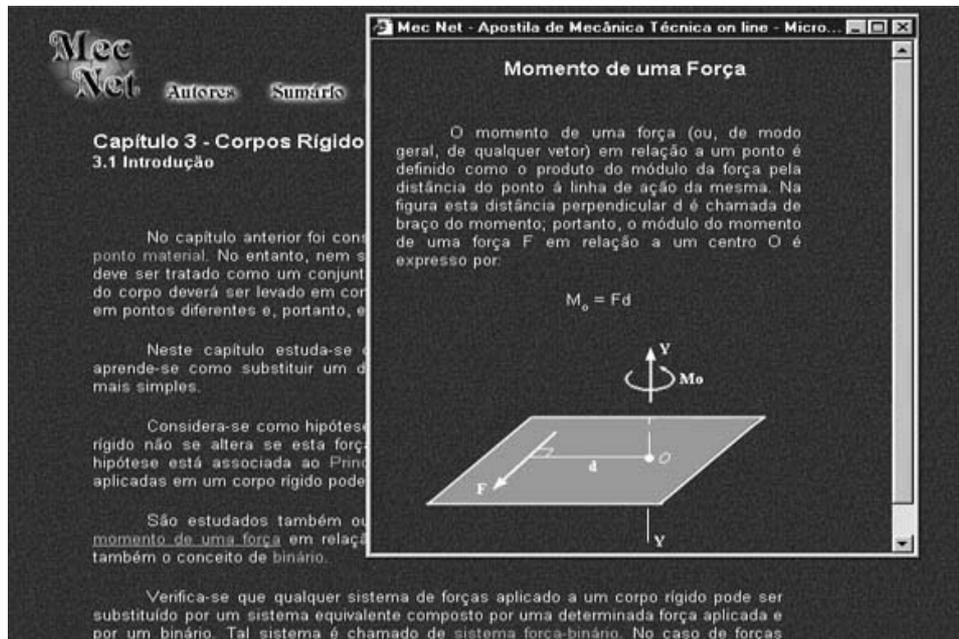


Figura 1 - MECNET: Tela de capítulo referente à definição do momento de uma força.

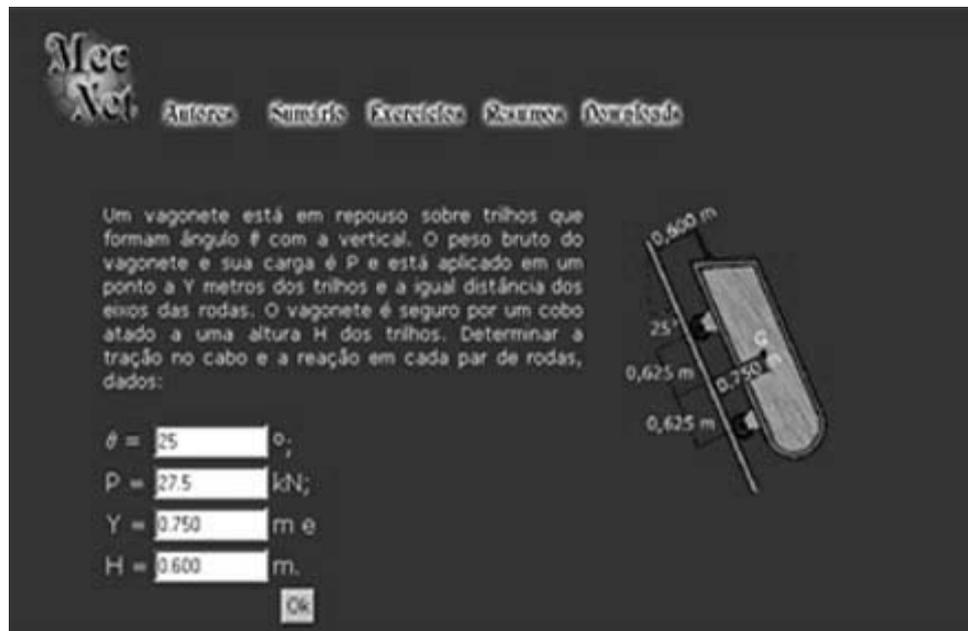


Figura 2 - MECNET: Opção para alteração dos valores numéricos de um exemplo proposto.

## 2.2 Programa DINEST

O programa educacional DINEST, SILVA *et al* (2002), foi concebido com o intuito de ajudar os alunos de graduação em engenharia a melhor visualizarem e entenderem o comportamento

dinâmico das estruturas. Isto porque a grande maioria dos engenheiros estruturais não sabe avaliar como os problemas causados por carregamentos dinâmicos podem afetar o comportamento global das estruturas apenas utilizando procedimentos de dimensionamento que considerem uma análise estática simples, SILVA *et al.* (2002). Neste programa, o usuário pode avaliar exemplos de estruturas simples a partir de análises de vibração livre e forçada obtidos na literatura técnica (pêndulo simples, viga rígida, massa-mola-amortecedor e pêndulo de torção), CRAIG JR (1982).

Nestes exemplos, pode-se efetuar uma análise de vibração livre, obtendo-se a frequência natural da estrutura, ou mesmo uma análise de vibração forçada, mediante o cálculo da resposta dinâmica do modelo onde o programa fornece a função deslocamento *versus* tempo para um dado carregamento. O DINEST, SILVA *et al.* (2002), possui ainda, um sistema de ajuda ao usuário com as definições básicas dos termos utilizados conforme pode ser observado na Figura 3. Na seqüência, a Figura 4 apresenta uma tela com um exemplo didático comumente utilizado em sala de aula.

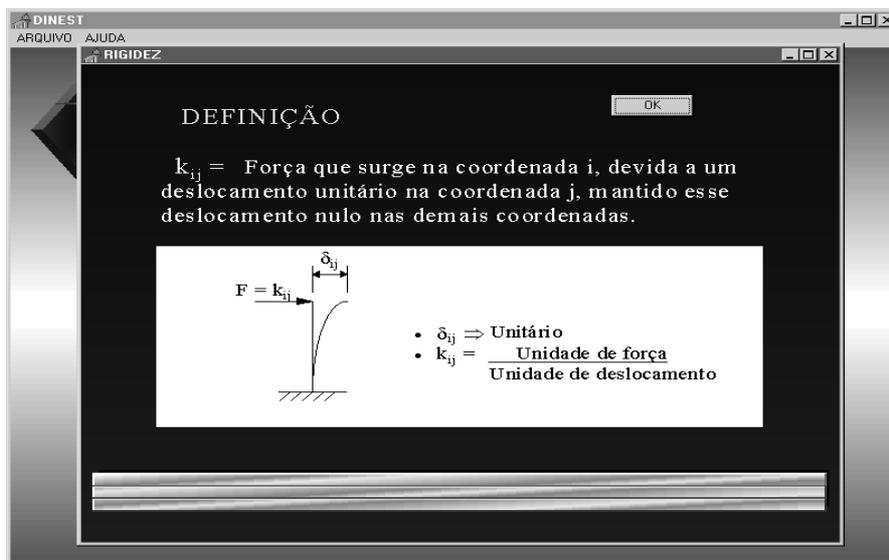


Figura 3 - DINEST: Definição do coeficiente de rigidez.

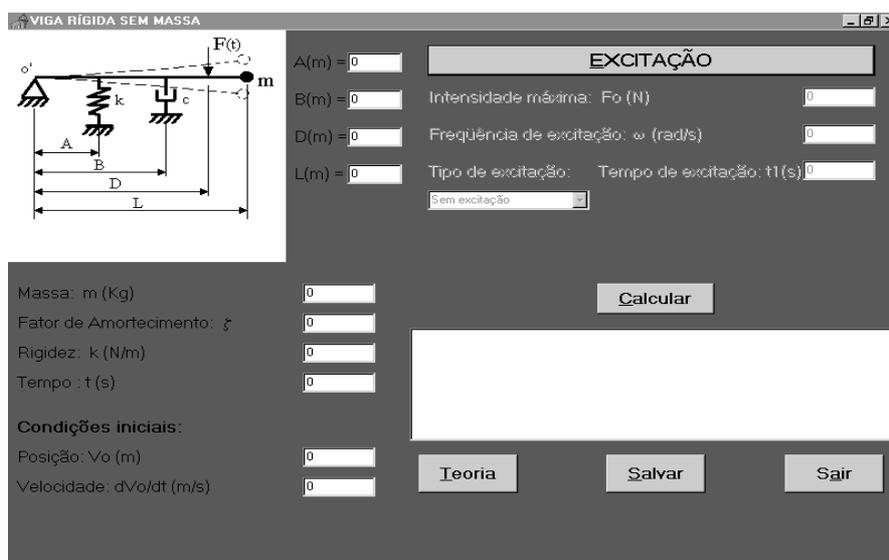


Figura 4 - DINEST: Exemplo de aplicação de uma viga rígida.

### 3. ENSINO DE ESTRUTURAS DE AÇO

Foi constatado que um grande número de alunos possui uma grande dificuldade em visualizar e compreender os fenômenos relacionados com o comportamento e a análise estrutural e, em particular, a flambagem global de colunas. De forma a suprir parte desta dificuldade foi

desenvolvido, no Laboratório de Computação da Engenharia Civil, LabCiv, da Faculdade de Engenharia, FEN/UERJ, um programa gráfico piloto denominado COLUMN, ALMEIDA (1997), para minorar tais deficiências.

O programa possibilita aos alunos/usuários, a partir de exemplos simples, entender o comportamento estrutural de colunas no espaço tridimensional, assim como compreender todas as verificações necessárias para o dimensionamento à compressão destes elementos. O programa também possui uma interface gráfica bastante amigável e permite que os alunos acompanhem, passo a passo o processo de dimensionamento através de uma memória de cálculo dinâmica. Maiores detalhes sobre este programa, seguidos de um exemplo de utilização do mesmo, serão apresentados nas próximas seções deste trabalho.

### 3.1 Programa COLUMN

O programa COLUMN, ALMEIDA (1997), foi concebido para efetuar tarefas de dimensionamento e verificação automática de colunas compostas de perfis soldados de aço, disponíveis no mercado, submetidas à compressão. A divisão do programa em módulos independentes foi possível devido a características da linguagem de programação utilizada (*Delphi*), e contribuiu para portabilidade e manutenção do sistema implementado. Dentro desta filosofia, o primeiro módulo desenvolvido disponibiliza e armazena a tabela de perfis que contem todas as características geométricas necessárias para o dimensionamento e avaliação da resistência a compressão de colunas de aço.

Para o início do processo de dimensionamento automático, algumas variáveis de projeto devem ser fornecidas pelo usuário: comprimento da coluna ( $l$ ), condições de extremidade (apoios) da coluna, esforço normal de projeto ( $N_d$ ) e o limite de escoamento do material ( $f_y$ ). Já para a verificação da resistência a compressão, além destas variáveis, faz-se necessário escolher um perfil. De forma opcional, o programa também permite a inclusão de sistemas de contraventamento nas duas direções principais. A definição das extremidades pode ser efetuada considerando-se a coluna como sendo isolada, onde o usuário define as condições de extremidades da mesma, de acordo com a Figura 5, ou mesmo tomando-se a coluna como sendo pertencente a um pórtico, permitindo que o usuário escolha, dentre uma série de opções padrão, a situação que melhor modele a coluna que se deseja dimensionar/verificar. Esta opção ainda permite ao usuário a definição dos coeficientes de flambagem ( $K_x$  e  $K_y$ ) diretamente, como mostrado na Figura 5.

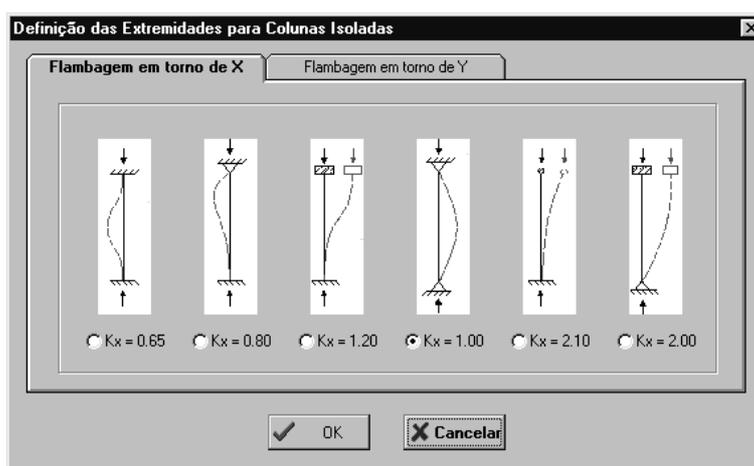


Figura 5 - Definição de extremidades para colunas isoladas.

A seqüência de dimensionamento é iniciada com um processo que verifica se todas as variáveis de projeto foram definidas. Em caso negativo, é gerada uma mensagem de erro sugerindo que seja definida a variável em questão. Em caso positivo, o programa percorre a tabela, calculando para cada perfil, sua resistência de projeto ( $N_r$ ). Para o cálculo da resistência adotou-se o método utilizado na norma brasileira de estruturas de aço, ABNT - NBR 8800 (1986). Em seguida, o programa exibe uma lista onde todos os perfis em que o fator de utilização ( $N_d/N_r$ ) está contido no

intervalo definido pela equação (1). Na equação (1),  $N_d$  representa o esforço normal de cálculo e  $N_r$ , a resistência de projeto à compressão.

$$0,8 \leq \frac{N_d}{N_r} \leq 1,2 \quad (1)$$

O programa também pode fornecer ao usuário, como opção, uma caixa de diálogo contendo uma memória de cálculo onde os passos principais de dimensionamento ou verificação realizados são descritos.

Na seqüência do trabalho, apresenta-se um exemplo de verificação de uma coluna intermediária presente em um galpão projetado em estrutura de aço. Com este exemplo serão demonstrados alguns dos recursos disponíveis no programa COLUMN, ALMEIDA (1997), que foram descritos anteriormente. A Figura 6 mostra a planta baixa da edificação, e seus respectivos cortes. O primeiro passo consiste na definição do comprimento da coluna. Isto é feito a partir do menu *Definir|Comprimento*. Em seguida, deve-se definir as condições de extremidades, com a opção *Coluna Isolada* do menu *Definir|Extremidades*.

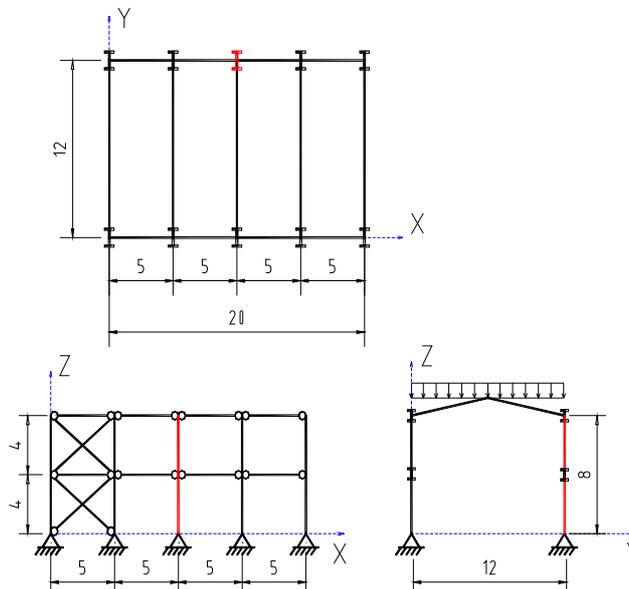


Figura 6 - Galpão analisado no programa COLUMN.

O passo seguinte consiste na definição do esforço normal de compressão ( $N_d$ ), o que deve ser feito a partir do menu *Definir|Carga*. Para este exemplo será adotado um esforço normal de projeto de 300kN ( $N_d = 300\text{kN}$ ). De forma a permitir que uma avaliação do efeito de um ponto de contraventamento no plano XZ, será efetuado primeiro um dimensionamento desprezando a presença deste efeito de contraventamento, como mostrado na Figura 7.

A partir do dimensionamento, conclui-se que o perfil com menor peso que atende as condições de projeto é o CVS 250x56. O esquema estrutural induz, por outro lado, um ponto de contraventamento em y. Em outras palavras, isto significa que este ponto, situado na metade do comprimento da coluna, apresenta uma restrição ao deslocamento em x. Portanto, deve-se obrigatoriamente adicionar um contraventamento no plano xz para diminuir o comprimento de flambagem em torno do eixo y. Tal passo deve ser feito a partir do menu *Definir|Contraventamento*, como ilustrado na Figura 8.

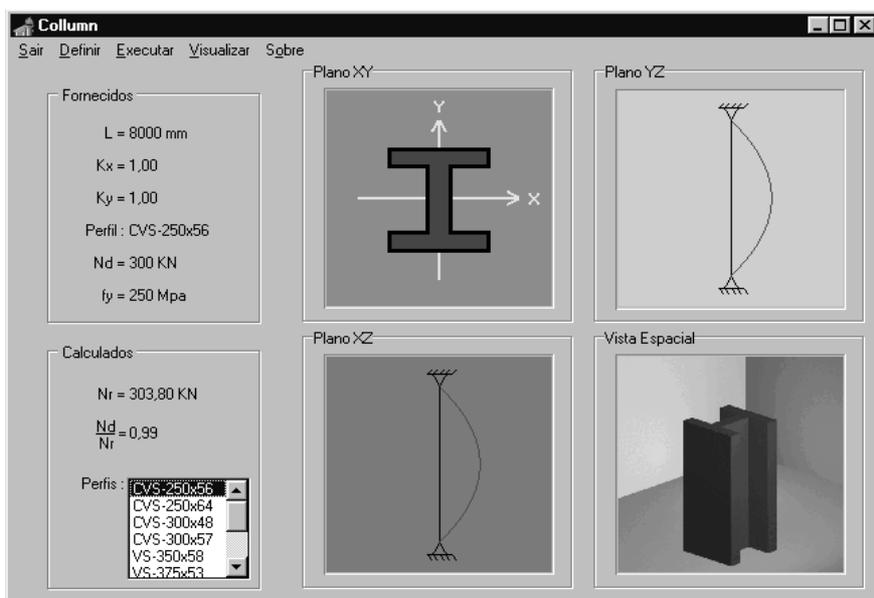


Figura 7 - Primeiro dimensionamento da coluna.

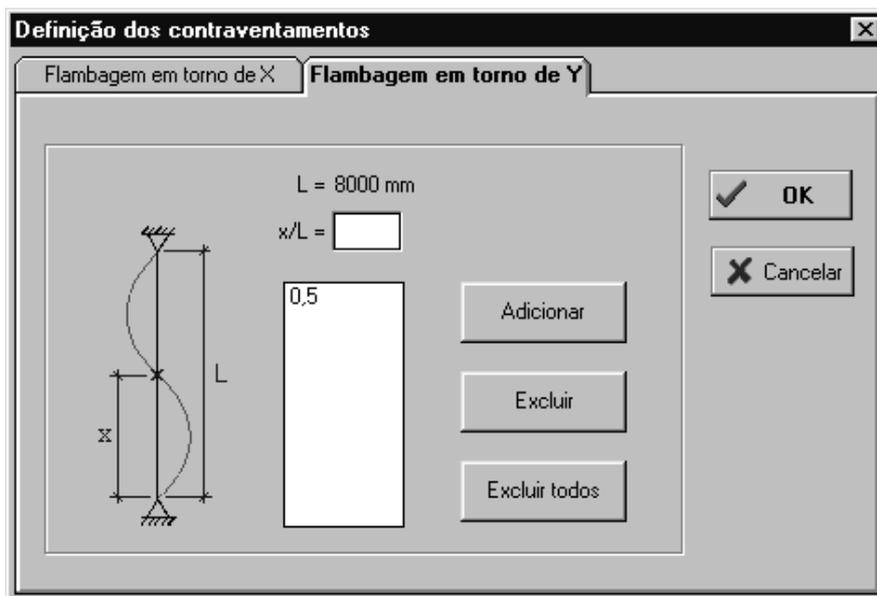


Figura 8 - Definição do ponto de contraventamento.

Tendo em vista que as variáveis de projeto necessárias para o dimensionamento estão definidas, o próximo passo consiste na execução do processo de cálculo. Isto deve ser feito a partir do menu *Executar*|*Dimensionamento*. Os perfis disponíveis para tal situação, serão listados no grupo de parâmetros calculados. Selecionando com o botão esquerdo do “*mouse*” um dos perfis disponíveis, o programa preenche os campos de resistência ( $N_d$ ) e fator de utilização ( $N_d/N_r$ ) com seus respectivos valores, de acordo com a Figura 9.

Nota-se que o perfil selecionado corresponde à opção mais econômica, ou seja, um CS 250x31. Quando se compara este resultado com o obtido sem o efeito de contraventamento gera-se uma economia de 25 kg/m.

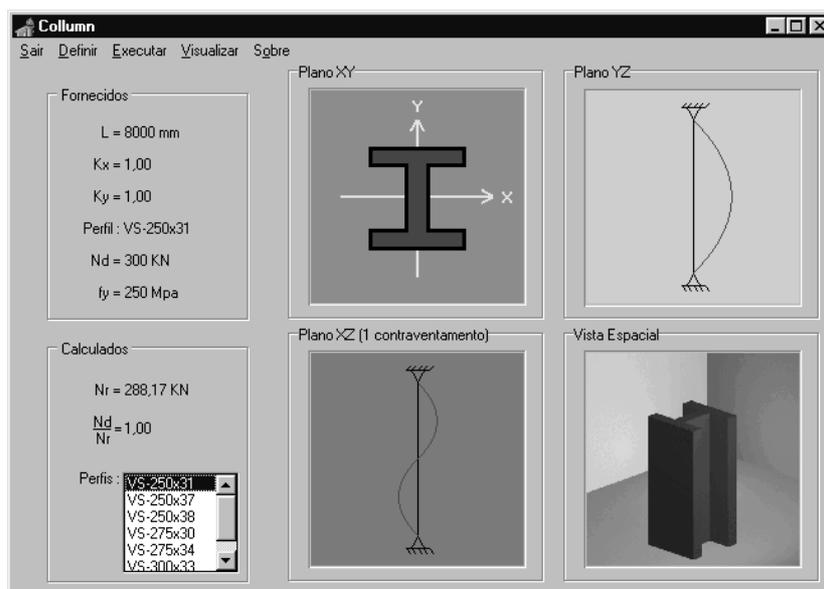


Figura 9 - Dimensionamento final da coluna.

### 3.2 Programa THOR

O programa THOR foi desenvolvido por SILVA *et al* (2001), com a finalidade de incluir os efeitos devido à ação estática das cargas translacionais horizontais, ou seja, cargas de vento, sobre torres metálicas utilizadas em serviços de telecomunicações e de transmissão de energia elétrica.

Segundo VELLASCO *et al* (1999), apesar de todo esforço despendido por grande parte dos cursos de engenharia civil no sentido de ensinar como se avalia corretamente o efeito do vento em estruturas, desastres continuam a acontecer, como mostrado nas Figuras 10 e 11.

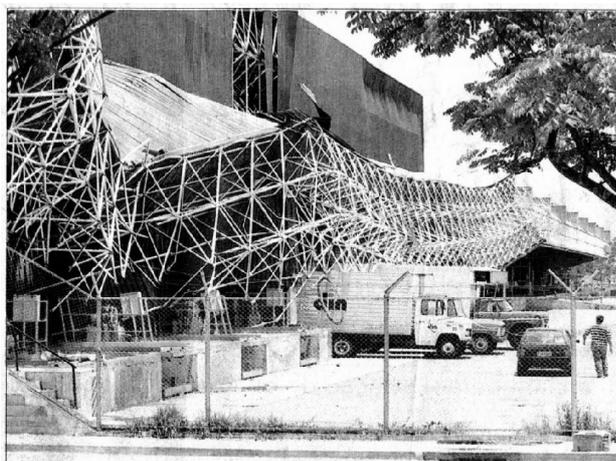


Figura 10 - Colapso da cobertura do estacionamento do aeroporto de Cumbica, Guarulhos.



Figura 11 - Desabamento das torres de sustentação de um painel de propaganda em Osasco.

Esta foi a principal motivação para o desenvolvimento deste programa educacional, a partir de uma arquitetura baseada em janelas sucessivas onde o usuário introduz todas as características necessárias a análise da estrutura. As Figuras 12 a 15 apresentam algumas telas do programa DINEST, SILVA *et al* (2002). O dimensionamento utilizado no programa foi baseado na norma brasileira de vento, ABNT - NBR 6123 (1988), possibilitando aos alunos de graduação em engenharia, um estudo detalhado e passo a passo, acerca da referida norma e, bem como, a sua aplicação em problemas práticos que o engenheiro enfrenta em sua rotina de trabalho.

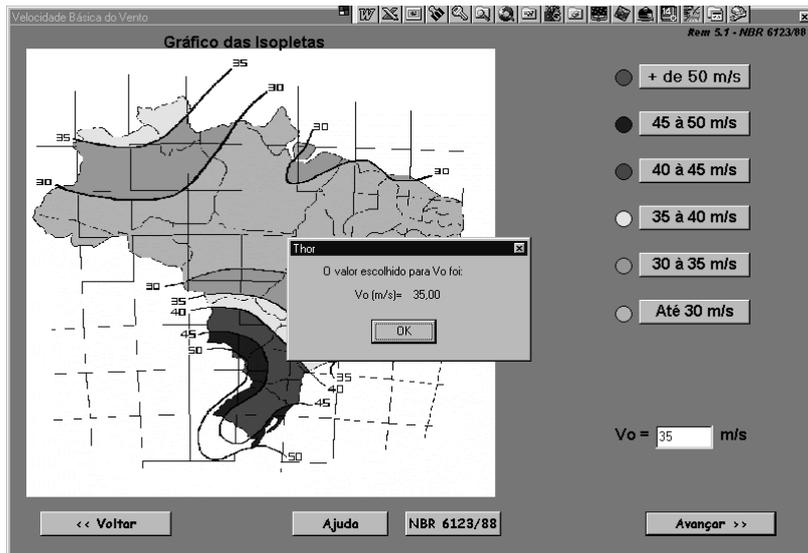


Figura 12 - Definição da velocidade básica do vento,  $V_0$ .

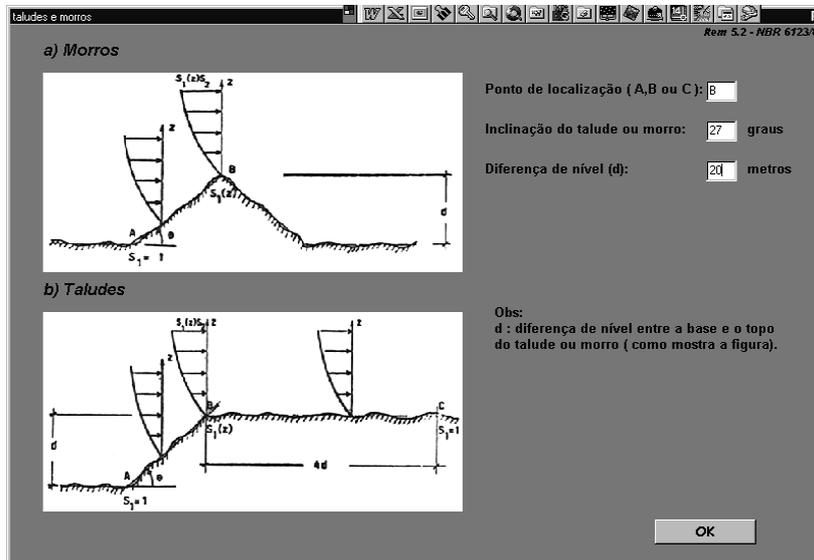


Figura 13 - Definição das características dos taludes/morros.

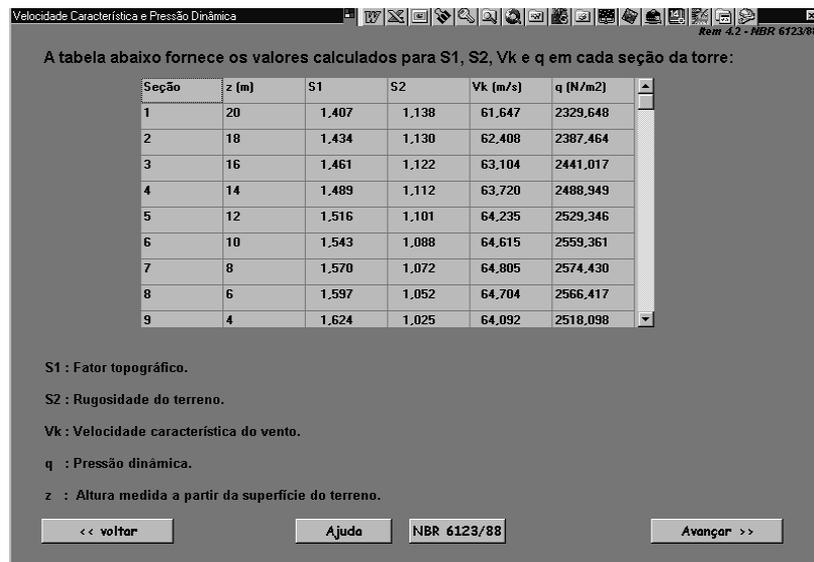


Figura 14 - Cálculo da velocidade característica do vento,  $V_k$ , e pressão dinâmica,  $q$ .

Força nos nós da torre ( resultados finais )

A tabela abaixo fornece os valores das forças nos nós da torre ( resultados finais ):

Nós da Torre	Direção Perpendicular	Direção Diagonal
1 a 4	0,786	0,912
5 a 8	1,592	1,847
9 a 12	1,630	1,891
13 a 16	1,664	1,930
17 a 20	1,694	1,965
21 a 24	1,717	1,992
25 a 28	1,733	2,010
29 a 32	1,735	2,013
33 a 36	1,716	1,991

Na coluna "Direção Perpendicular":  
São dados os valores de  $F_x$  para vento incidindo perpendicularmente a face do torre ( $F_y=0$ ).

Na coluna "Direção Diagonal":  
São dados os valores de  $F_x = F_y$  também em kN para vento incidindo na direção diagonal.

<< Voltar      Ajuda      NBR 6123/88      Sair do programa

Figura 15 - Cálculo das cargas de vento nas direções perpendicular e diagonal a base da torre.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho de ensino/pesquisa foram apresentadas várias iniciativas para implantação e utilização de ferramentas computacionais educacionais aplicadas diretamente no ensino de disciplinas de graduação do curso de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da UERJ, FEN/UERJ.

Após vários semestres de trabalho árduo, pode-se concluir que o emprego dessas ferramentas computacionais deve ser feito sob rigorosa supervisão, de modo que os alunos de graduação em engenharia adquiram, a partir de conhecimentos teóricos sólidos, sensibilidade e maturidade suficientes para avaliar a consistência dos resultados numéricos obtidos com base no emprego desses programas.

A experiência didática demonstra, sem sombra de dúvidas, que o emprego dessas ferramentas gráficas educacionais faz com que os alunos de graduação se sintam mais motivados para estudar tais assuntos, o que torna o aprendizado mais dinâmico e eficiente.

#### *Agradecimentos*

Os autores deste trabalho de pesquisa agradecem a Direção da Faculdade de Engenharia, FEN/UERJ, e ao Laboratório de Computação do Ciclo Básico, LabBas/FEN/UERJ.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MARTHA, L.F.C.R.; CORSEUIL, E.T.; FIGUEIREDO, V.S. An Academical Graphics System for 2D Frame Structures. Segundo Simpósio Brasileiro de Estruturas de Aço. Curitiba, p. 109-114, 1994.

SILVA, J.G.S. da; ALMEIDA, N.N. de; SANTIAGO, R.A. Desenvolvimento de um Sistema Gráfico Interativo para o Ensino de Disciplinas da Graduação nos Cursos de Engenharia: Projeto MecNet. Revista de Ensino de Engenharia - ABENGE. Brasil, v.19, n.2, p. 9-19, 2000.

SILVA, J.G.S. da; VELLASCO, P.C.G. da S.; ALMEIDA, N.N. de. DINEST - An Educational Software for Structural Dynamic Design and Behaviour. International Conference in Engineering Education, ICEE2002, Manchester, CD-ROM, 2002.

ALMEIDA, M.T. Trabalho Final de Graduação, Departamento de Estruturas e Fundações, Faculdade de Engenharia, UERJ, 1997.

SILVA, J.G.S. da; LIMA, J.S.A. Um Sistema Gráfico Interativo para o Ensino e Projeto do Efeito do Vento sobre o Comportamento Estrutural de Torres de Aço. Revista de Ensino de Engenharia - ABENGE. Brasil, v.20, n.2, p. 9-14, 2001.

BEER, F.P.; JOHNSTON, E.R. Mecânica Vetorial para Engenheiros. Makron Books, Vol. I e II, 5ª Edição Revisada, 1994.

CRAIG JR., R.R. Structural Dynamics. An Introduction to Computer Methods. John Wiley & Sons, 1982.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto e Execução de Estruturas de Aço de Edifícios. NBR-8800 (antiga NB14/86), 1986.

VELLASCO, P.C.G. da S.; Silva, J.G.S. da; TAKEY, T.H.; ROSA, Y.S.; ALMEIDA, N.N. de; FILHO, M.C. Um Sistema Gráfico para o Ensino e Projeto do Efeito do Vento em Estruturas. XXVII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, CD-ROM, Natal, 1999.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Forças Devidas ao Vento em Edificações. NBR-6123, 1988.

## **NEW PARADIGMS FOR THE STRUCTURAL ENGINEERING EDUCATION IN THE FACULTY OF ENGINEERING OF THE UERJ**

***Abstract:** The scientific community has knowledge that a high number of undergraduate engineering students possess a difficulty in to visualize and to understand the phenomena related with the structural analysis and, in particular, the behavior of steel and composite structures. This was the main motivation for the development, in the Laboratories of the Basic Cycle Computation, LabBas, and of Civil Engineering, LabCiv, of the Faculty of Engineering, FEN/UERJ, of graphic programs with the objective of lessening such deficiencies. Starting from the use of educational graphic tools, it is possible to help the undergraduate students to understand the behavior of two and three-dimensional structural systems, as well as the necessary verifications for the structural design, based on simple examples. These programs, developed inside of the Windows platform, possess a quite friendly graphic interface and they allow to the students to accompany step by step, the processes related with the technical mechanics, design and evaluation of the structural resistance and dynamic analysis of structures.*

***Keywords:** Engineering education, Educational software, Structural engineering.*