

UM SISTEMA GRÁFICO PARA O ENSINO E PROJETO DO EFEITO DE CARGAS DE VENTO SOBRE O COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE TORRES METÁLICAS

José G. S. da Silva - jgss@uerj.br

Depto. Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia, FEN/UERJ

Janina S. de A. Lima - janinas@momentus.com.br

Depto. Estruturas e Fundações, Faculdade de Engenharia, FEN/UERJ

Rua São Francisco Xavier, N^o 524, Bloco A, 5^o Andar, CEP: 20559-900, Rio de Janeiro, RJ

***Resumo.** Este trabalho apresenta como objetivo principal o desenvolvimento de um software didático, com base na plataforma Windows, de forma a incluir os efeitos devidos à ação estática das cargas translacionais horizontais, cargas de vento, sobre torres metálicas de telecomunicações e de transmissão de energia elétrica. A implementação de ferramentas computacionais gráficas é de importância indiscutível no sentido de permitir aos alunos de graduação da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, FEN/UERJ, visualizar com maior clareza e compreender todos os fenômenos físicos envolvidos com o comportamento e a análise estrutural e, em particular, a avaliação do efeito do vento em estruturas. Essa foi a principal motivação para o desenvolvimento de ferramentas gráficas nos Laboratórios Computacionais da Faculdade de Engenharia da UERJ, de modo a estimular e motivar os alunos de graduação minorando possíveis deficiências associadas ao estudo e análise desse tipo de problema.*

***Palavras Chave:** Cargas de vento, Torres metálicas, Sistemas gráficos.*

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, com base no crescente desenvolvimento da tecnologia das construções e na elaboração de projetos arquitetônicos cada vez mais arrojados, faz-se necessário que os profissionais ligados à engenharia, arquitetos e engenheiros civis, possuam absoluto domínio sobre a influência dos mais variados tipos de carregamentos atuantes em uma estrutura. Esses carregamentos devem ser considerados e modelados adequadamente pelo projetista quando das etapas de cálculo e dimensionamento.

Assim sendo, a consideração das forças devidas à ação estática e dinâmica do vento apresenta importância singular em situações correntes da engenharia civil como, por exemplo, a avaliação dessas cargas de vento sobre o comportamento estrutural de torres metálicas de telecomunicações e de transmissão de energia elétrica.

Deste modo, este trabalho de pesquisa apresenta como objetivo principal o desenvolvimento de um software didático, de forma a incluir em sua versão final, os efeitos devidos à ação estática de cargas translacionais, cargas de vento, sobre torres metálicas de

transmissão e de telecomunicações. Ao longo do trabalho será apresentado, de forma resumida, o desenvolvimento de um programa educacional, programa THOR, concebido para avaliação do efeito do vento sobre o comportamento de torres metálicas de transmissão e de telecomunicações.

A idéia do desenvolvimento deste software didático foi calcada em um trabalho anterior (Velasco *et al*, 1999). A implementação desse tipo de programa é um dos principais elementos motivadores para o desenvolvimento de novos aplicativos para o ensino de Engenharia na graduação por parte de alunos e professores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, FEN/UERJ.

2 CONSIDERAÇÃO DO EFEITO DAS CARGAS DE VENTO

Segundo (Velasco *et al*, 1999), apesar de todo esforço despendido por grande parte dos cursos de engenharia civil em ensinar a avaliação correta do efeito do vento em estruturas, desastres continuam a acontecer, como os mostrados nas Fig. 1 e Fig. 2 (Velasco *et al*, 1999).

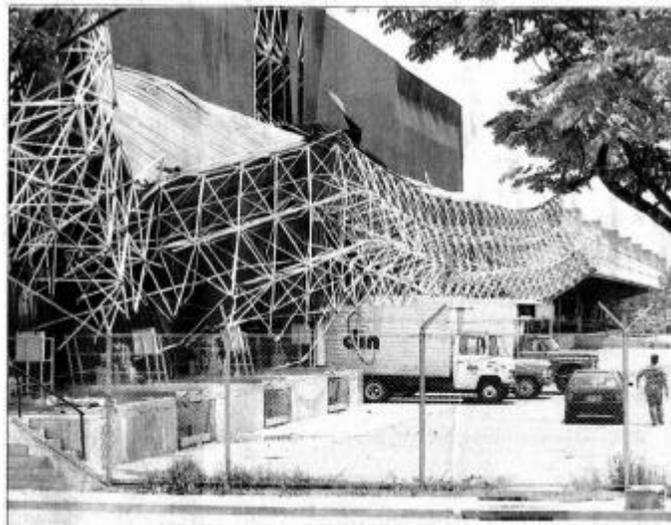


Figura 1. Cobertura do estacionamento do aeroporto de Cumbica, Guarulhos, 06/02/1999.



Figura 2. Torres de sustentação de um painel de propaganda em Osasco, 23/01/1999.

A principal razão para isto vem do fato de que em estruturas de concreto armado convencionais, que possuem peso próprio e rigidez consideráveis, o efeito do vento geralmente não controla o dimensionamento estrutural. Isto não é verdade para estruturas mais leves e esbeltas tais como as estruturas de aço. Nessas estruturas, o vento pode gerar uma reversão nos esforços e, conseqüentemente, induzir o colapso das mesmas.

Objetivando motivar estudantes e profissionais de engenharia a entenderem e se familiarizarem melhor com o processo de avaliação das ações estáticas provenientes do vento sobre o comportamento estrutural de torres metálicas de telecomunicações e de transmissão de energia elétrica, foi concebido um programa gráfico interativo, denominado THOR, que será mais bem descrito na próxima seção.

3. PROGRAMA THOR

O programa THOR foi desenvolvido em linguagem DELPHI (Santos e Reis, 1998), a partir de uma arquitetura baseada em janelas sucessivas, com base na plataforma Windows. Cada janela gerada pelo programa permite a aquisição de valores numéricos, associados ao cálculo das cargas de vento, fornecidos previamente pelo usuário. Esses valores devem ser colocados nos espaços a serem preenchidos e/ou botões.

De acordo com a utilização seqüencial do programa THOR, procede-se ao cálculo das ações estáticas devidas ao efeito do vento sobre o comportamento estrutural de torres metálicas, com base na Norma Brasileira de Vento, NBR-6123, (ABNT, 1988) e na Norma Brasileira de Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica, NBR-5422, (ABNT, 1985).

O software gráfico desenvolvido permite, ainda, uma possibilidade de consulta através de inúmeras janelas explicativas e/ou consulta a NBR-6123 (ABNT, 1988). O programa THOR foi concebido para ser utilizado em disciplinas da graduação como, por exemplo, Estruturas Metálicas e Estruturas Hiperestáticas. O desenvolvimento do presente trabalho compreendeu as seguintes etapas:

- 1ª. Revisão bibliográfica sobre o assunto em questão, ação do vento em estruturas;
- 2ª. Estudo detalhado das Normas Brasileiras de Vento (ABNT, 1988) e (ABNT, 1985);
- 3ª. Estudo da linguagem de programação DELPHI (Santos e Reis, 1998);
- 4ª. Elaboração e implementação do programa THOR;
- 5ª. Execução dos testes no programa desenvolvido;
- 6ª. Conclusão do trabalho com base em exemplos rodados no programa THOR.

Ressalta-se que, ao longo do desenvolvimento do trabalho, é considerado um exemplo associado a uma torre de aço do tipo reticulada com base quadrada constituída por barras prismáticas de faces planas.

O primeiro passo na execução do programa THOR está associado à região do país em que a estrutura a ser dimensionada está localizada, de forma a ser determinada a velocidade básica do vento, V_0 , como mostra a Fig. 3.

Na seqüência, o usuário do programa informa as principais características geométricas da torre em estudo referentes as suas dimensões, tais como: altura, largura da base e a altura de cada seção. Esses valores devem ser colocados nos espaços a serem preenchidos, como apresentado na Fig. 4.

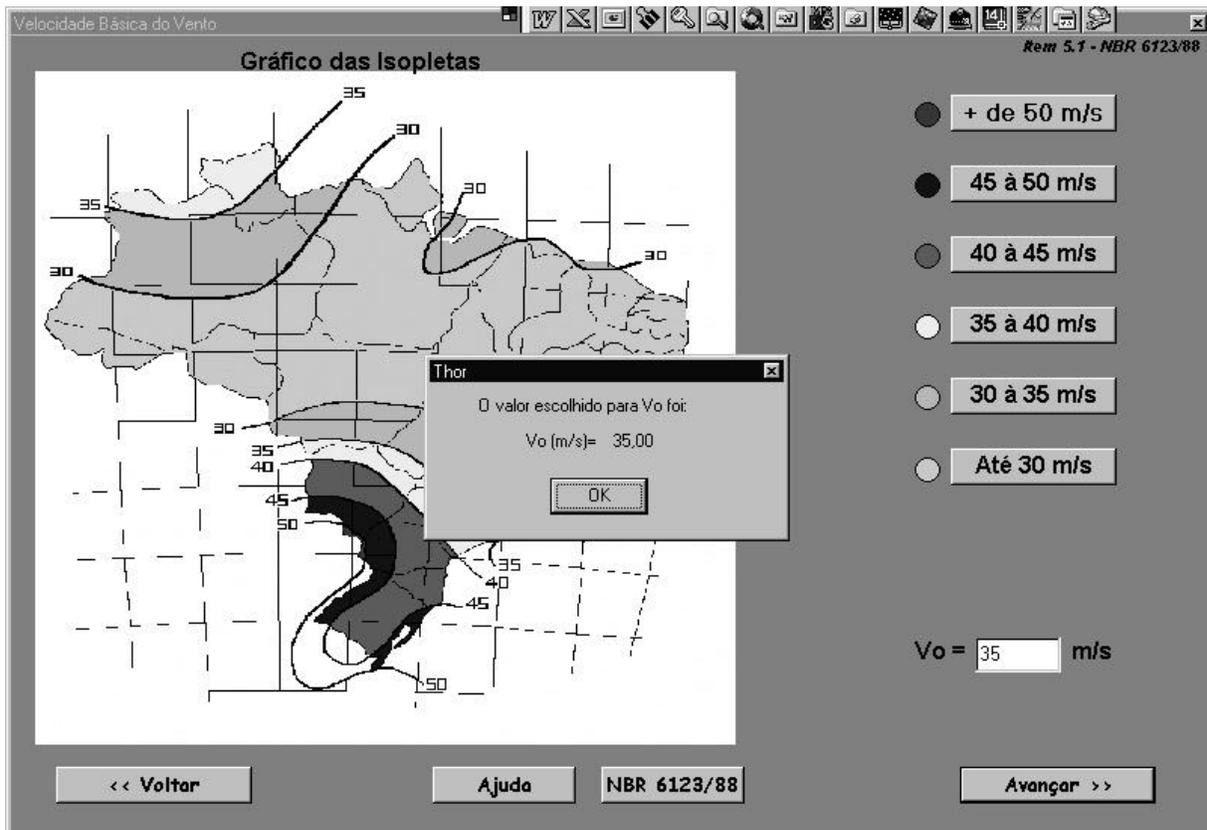


Figura 3. Definição da velocidade básica do vento, V_o .

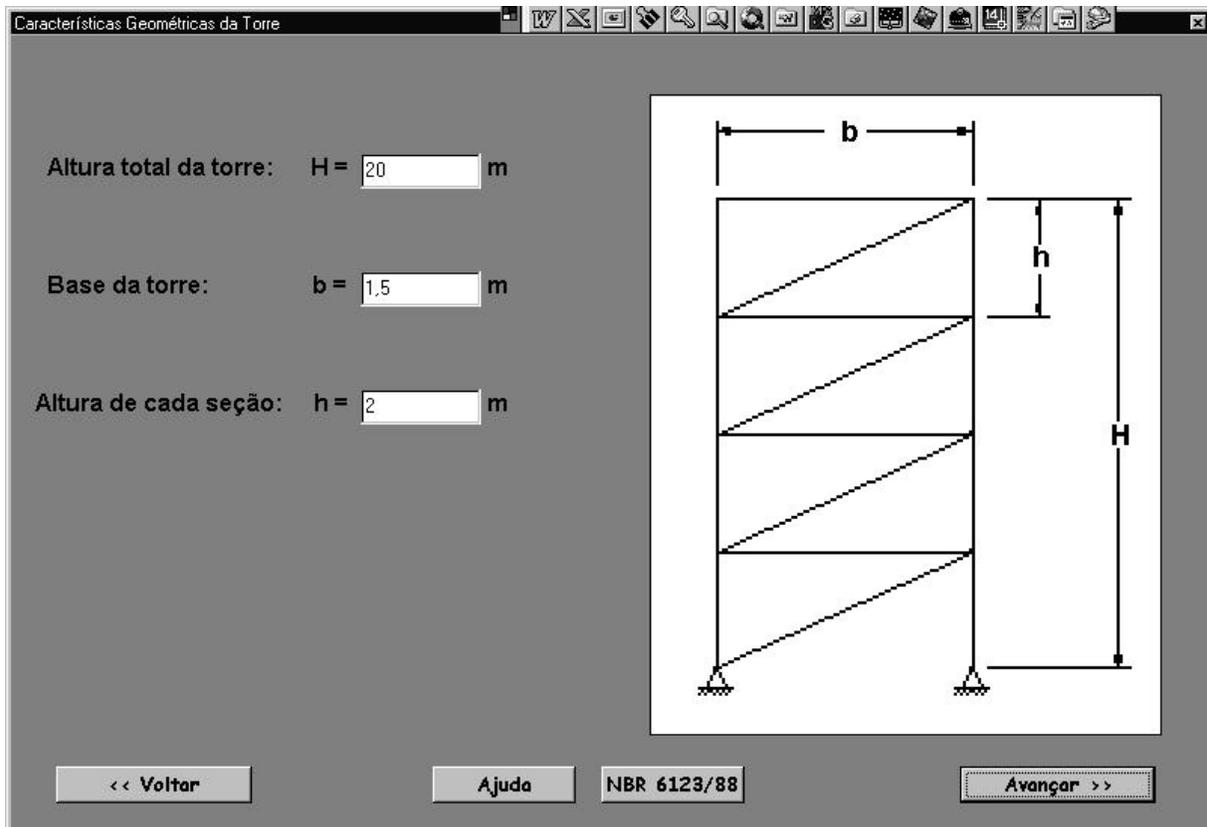


Figura 4. Definição das características geométricas da torre

Segue-se com a escolha do fator topográfico, S_1 , o qual é definido com base nas características do terreno onde a estrutura se encontra, como mostra a Fig. 5. Caso a estrutura em estudo esteja situada em um talude ou morro, o usuário deve fornecer as características do terreno a partir de uma janela específica, como se apresenta na Fig. 6.

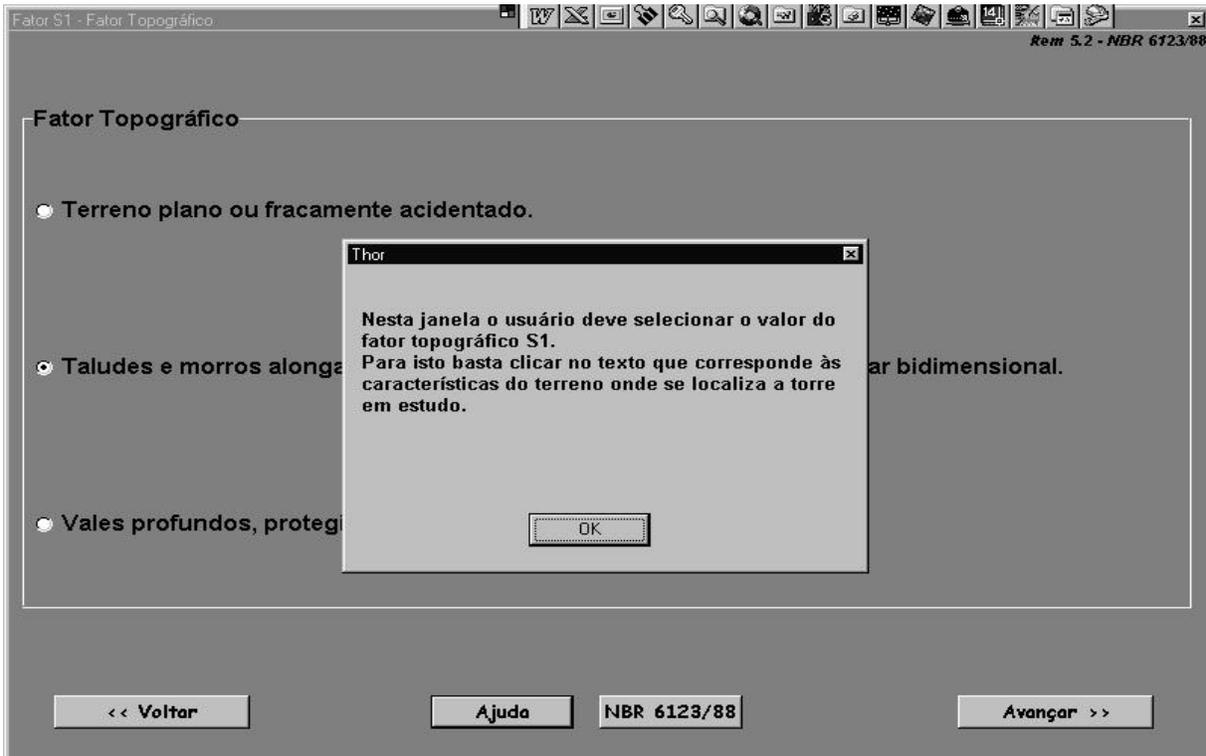


Figura 5. Obtenção do fator topográfico, S_1 .

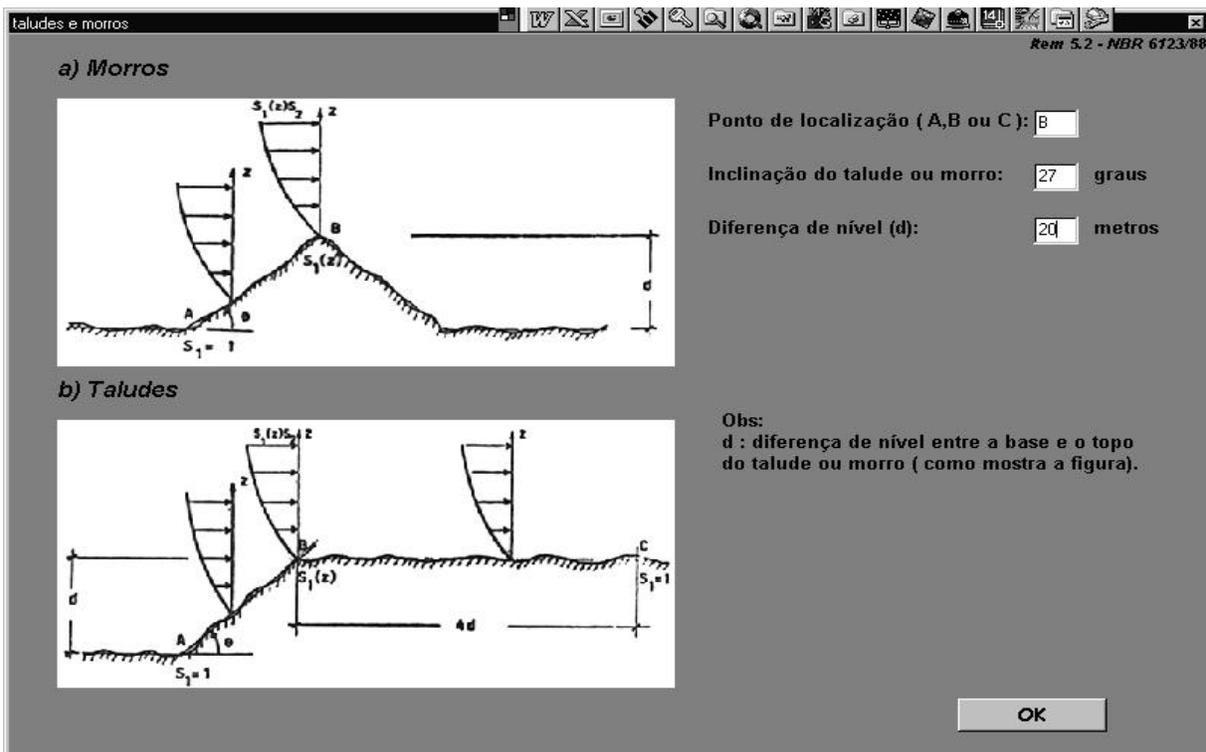


Figura 6. Janela de diálogo para a definição das características dos taludes ou morros.

O próximo passo na execução do programa, está associado à obtenção do fator de rugosidade, S2, de acordo com a seleção da categoria do terreno e da classe da edificação, ambas associadas à rugosidade do terreno e as dimensões da estrutura, respectivamente. Esta seqüência de diálogo para obtenção do fator S2 encontra-se bem ilustrada pelas Fig. 7 e Fig 8.



Figura 7. Definição das categorias de rugosidade do terreno, fator S2.

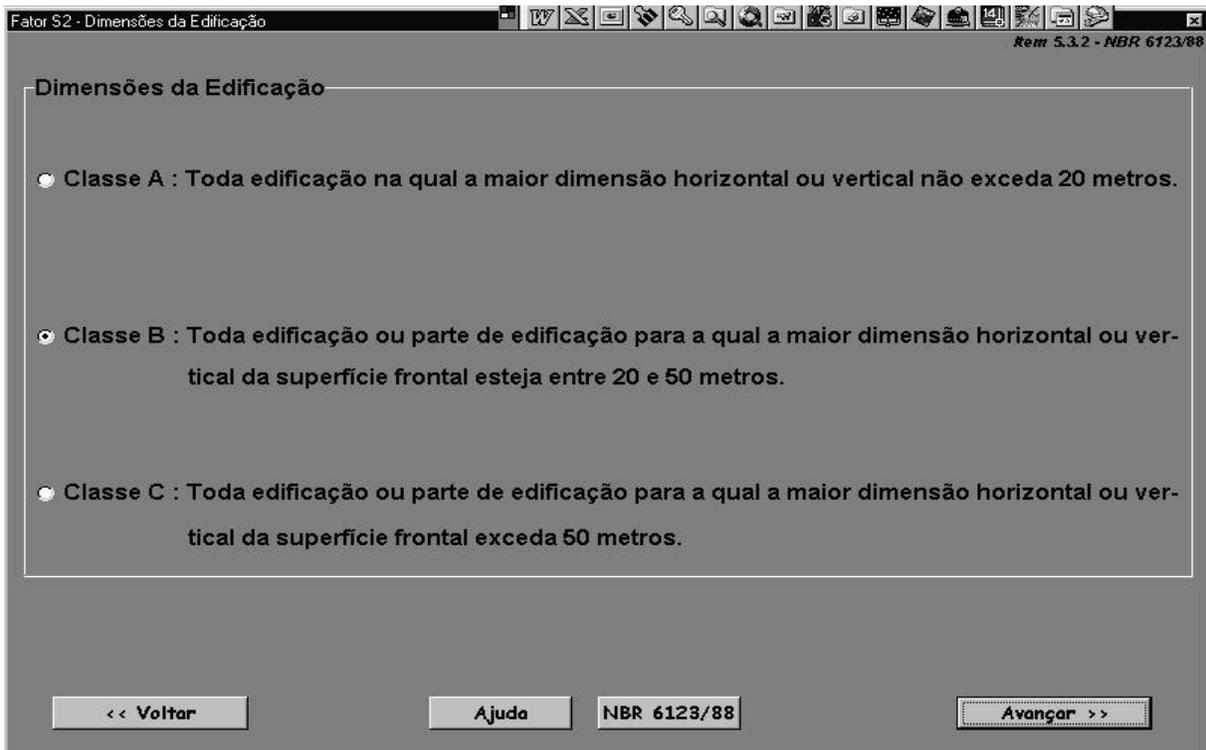


Figura 8. Definição das dimensões da edificação, fator S2.

O valor do fator estatístico, S_3 , para os casos analisados no programa THOR é igual a 1,10, já que o software em questão se destina ao cálculo das cargas de vento em torres de aço de telecomunicações e de transmissão de energia elétrica. Este fator é baseado em conceitos estatísticos, considerando o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação em estudo, como mostrado na Fig. 9.

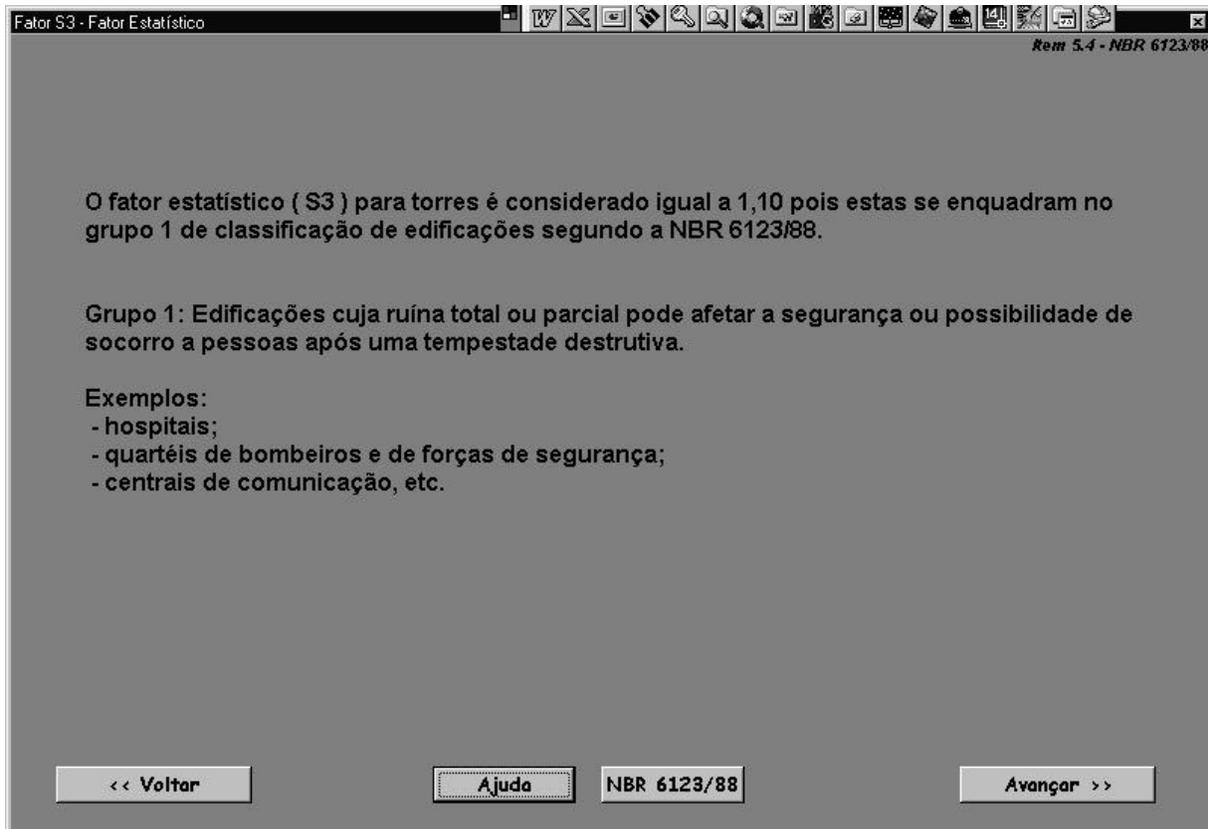


Figura 9. Definição do fator estatístico, S_3 .

Com as informações fornecidas pelo usuário do programa até esta etapa, o software procede aos cálculos do fator topográfico, S_1 , do fator de rugosidade, S_2 , da velocidade característica do vento, V_k , e da pressão dinâmica, q , em cada seção da torre metálica. Essas grandezas são exibidas para o usuário através de uma tabela, como mostrado na Fig. 10.

Como prosseguimento, o usuário tem acesso a uma janela de diálogo onde este deve fornecer as características geométricas dos perfis metálicos que compõem a estrutura da torre. Nessa seção do programa, é solicitado ao usuário que as dimensões referentes aos perfis sejam dadas em milímetros, de acordo com a prática corrente de projeto. O comprimento de cada barra é calculado pelo próprio programa THOR, com base na geometria da torre em estudo, como apresentado na Fig. 11.

As dimensões dos perfis metálicos são empregadas no cálculo da área frontal efetiva, A_e , da área bruta, A_b , do índice de área exposta, I_a , e coeficiente de arrasto, C_a . O cálculo dessas grandezas é absolutamente necessário para obtenção das cargas de vento.

A NBR-6123 (ABNT, 1988) define a área frontal efetiva, A_e , como a área da projeção ortogonal das barras de uma das faces da torre reticulada sobre um plano paralelo a esta face, e a área bruta, A_b , como a área frontal da superfície limitada pelo contorno do reticulado. O índice de área exposta, I_a , é dado pela razão entre a área frontal efetiva, A_e , e a área bruta, A_b , de acordo com a NBR-6123 (ABNT, 1988).

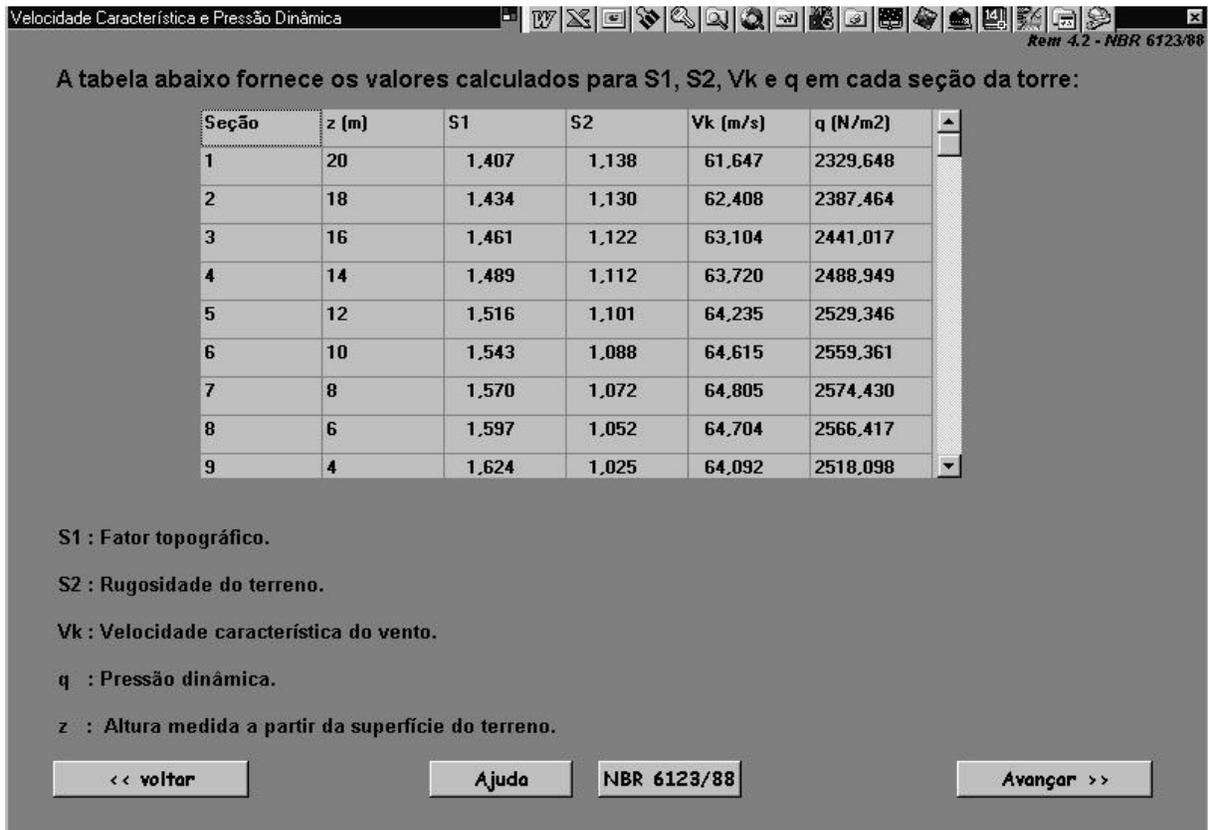


Figura 10. Cálculo da velocidade característica do vento, V_k, e pressão dinâmica, q.

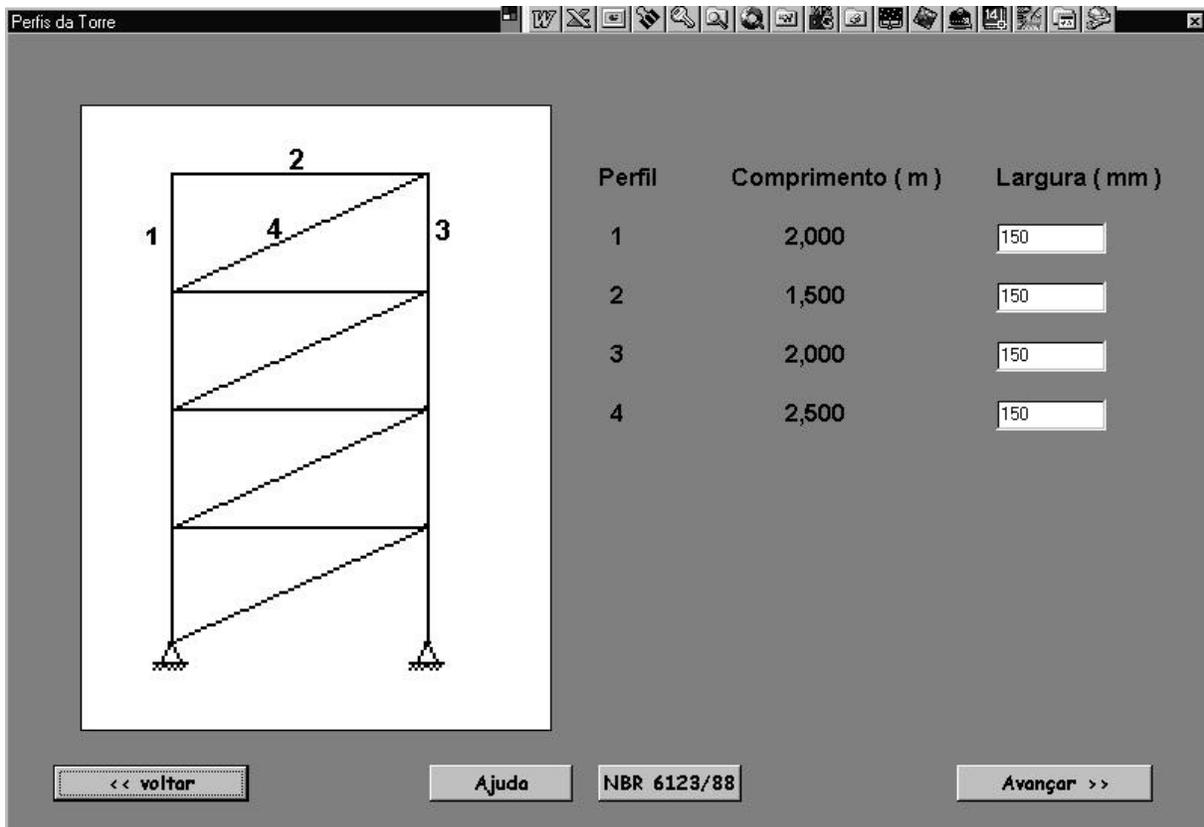


Figura 11. Definição das características geométricas dos perfis da torre de aço.

O coeficiente de arrasto, C_a , para torres reticuladas com base quadrada constituídas por barras prismáticas de faces planas associadas, por exemplo, a torre mostrada nas janelas de diálogo do programa, é determinado a partir do índice de área exposta, I_a (ABNT, 1988). As Fig. 12 e Fig. 13 apresentam, respectivamente, as janelas do programa THOR, nas quais o software fornece ao usuário as forças de arrasto, F_a , obtidas para cada seção da torre e as cargas de vento associadas às direções perpendicular e diagonal a base da estrutura.

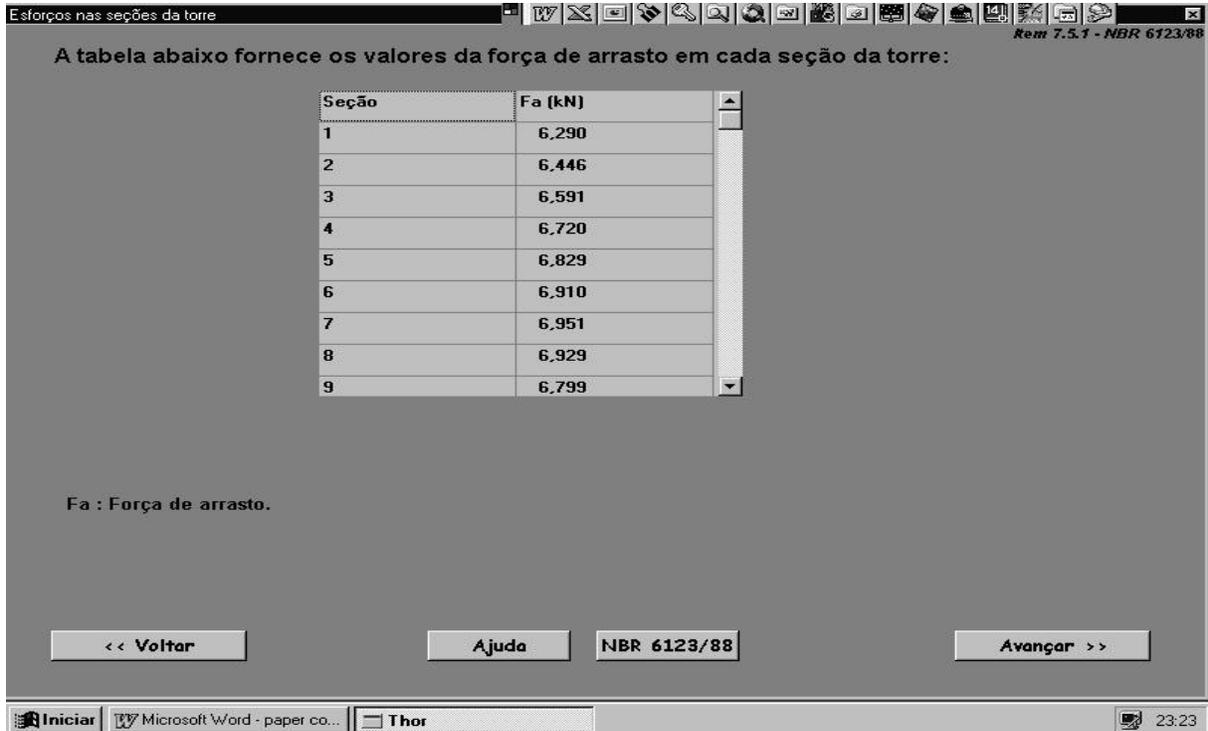


Figura 12. Cálculo da força de arrasto, F_a , nas diversas seções da torre de aço.

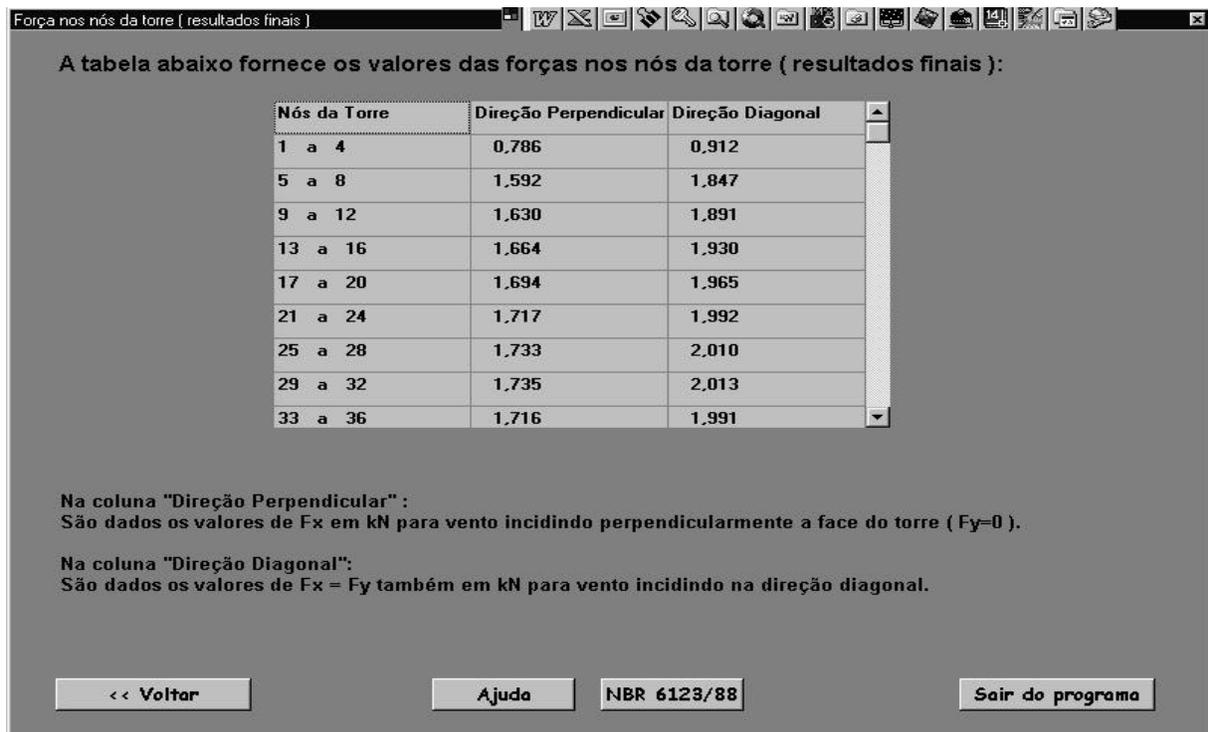


Figura 13. Cálculo das cargas de vento nas direções perpendicular e diagonal a base da torre.

4 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

No presente momento, o programa THOR apresenta uma limitação associada à geometria das torres a serem analisadas. O software desenvolvido procede a todas as rotinas de cálculo, de acordo com a NBR-6123 (ABNT, 1988), necessárias para a obtenção das cargas de vento aplicadas aos nós da estrutura, e posterior análise do efeito dessas sobre o comportamento estrutural de torres reticuladas com base quadrada constituídas por barras de faces planas, a partir de uma definição prévia de sua geometria.

Pretende-se dar continuidade a este projeto de pesquisa de forma a tornar o programa THOR mais geral. Deste modo, se faz necessário à implementação de novas rotinas de cálculo que incorporem torres metálicas associadas aos mais variados tipos de geometria, como, por exemplo, aquelas onde a seção transversal varia ao longo da altura. Em etapas subseqüentes objetiva-se, também, incluir no programa THOR a possibilidade de se considerar torres que apresentem em sua geometria outros tipos de perfis como, por exemplo, os de seção circular.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho de pesquisa apresenta uma primeira iniciativa de desenvolvimento e utilização de uma ferramenta gráfica educacional, programa THOR, de forma a incluir em sua versão final os efeitos devidos à ação estática das cargas de vento, sobre torres metálicas de telecomunicações e transmissão de energia elétrica. A implementação de programas dessa natureza está associada a um dos principais elementos motivadores no desenvolvimento de novos aplicativos para o ensino de Engenharia por parte de alunos e professores da Faculdade de Engenharia da UERJ, FEN/UERJ.

O desenvolvimento desta linha de pesquisa ressalta a importância singular referente ao emprego de ferramentas gráficas nos cursos de engenharia e, conseqüentemente, permite um aproveitamento mais eficiente dos alunos de graduação, visto que esses passam a visualizar e compreender com mais clareza o comportamento de sistemas estruturais de engenharia, como também dos fenômenos físicos envolvidos.

Respaldo por essa experiência didática, pode-se afirmar que, sem sombra de dúvida, o emprego dessas ferramentas computacionais, com base em interfaces gráficas bastante amigáveis, faz com que os alunos se sintam mais motivados para estudar e discutir conceitos e assuntos referentes às disciplinas de graduação, o que torna o aprendizado mais dinâmico, interativo e eficiente.

Agradecimentos

Os autores do trabalho agradecem a Faculdade de Engenharia, FEN, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, e ao Laboratório de Computação das Ciências do Ciclo Básico, LabBas/FEN/UERJ.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT; “Forças Devidas ao Vento em Edificações”, NBR-6123; 1988.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT; “Projeto de Linhas Aéreas e Transmissão de Energia Elétrica”, NBR-5422; 1985.
- Santos, L. do N. L. e Reis, R. “Programação de Computadores. Linguagem DELPHI”; Diretoria de Informática, DINFO, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ; 1998.
- Velasco, P.C.G. da S. *et al*; “Um Sistema Gráfico para o Ensino e Projeto do Efeito do Vento em Estruturas”; XXVII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia; 1999.