

PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE DINÂMICA DE PÓRTICOS TRIDIMENSIONAIS E SUA APLICAÇÃO NO ENSINO DE ENGENHARIA

Wellison José de S. Gomes¹; Francisco Patrick A. Almeida²; Luciano B. dos Santos³

¹Escola de Engenharia de São Carlos, USP, Departamento de Engenharia de Estruturas
Avenida Trabalhador São Carlense, 400
CEP: 13566-590, São Carlos, SP
wellison@sc.usp.br

²Unidade Acadêmica CTEC, UFAL, Departamento de Engenharia Estrutural
BR 104-Norte, Km 97, Cidade Universitária
CEP: 57072-970, Maceió, AL
patrick@ctec.ufal.br

³Unidade Acadêmica CTEC, UFAL, Departamento de Engenharia Estrutural
BR 104-Norte, Km 97, Cidade Universitária
CEP: 57072-970, Maceió, AL
lbsantos@ctec.ufal.br

Resumo: *O uso de novas tecnologias tem papel cada vez mais importante no ensino de Engenharia atualmente, apresentando crescente destaque os programas de computador, que estão entre as ferramentas mais utilizadas pelos projetistas desta área. Ocorre, no entanto, que a grande maioria desses pacotes comerciais são caros e isso dificulta o contato do estudante de engenharia com os mesmos, deixando uma lacuna na formação do futuro profissional. A partir do desenvolvimento de um programa computacional para análise elastodinâmica ou estática de pórticos tridimensionais, propõe-se analisar as potencialidades da utilização deste como uma ferramenta de ensino. As características mais importantes do programa em estudo foram: a utilização do Método dos Elementos Finitos, que é base da maioria dos programas computacionais da área, e o desenvolvimento de uma interface gráfica que permite ao usuário tratar desde a geração de seu modelo estrutural (pré-processamento) até a análise de seus resultados (pós-processamento), através de gráficos e animações diversas. Pretende-se verificar e discutir as características supracitadas e o impacto decorrente das mesmas no desenvolvimento da sensibilidade do aluno de Engenharia Civil no que diz respeito à análise de pórticos tridimensionais com geometrias diversas submetidos a carregamentos diversos. Os resultados obtidos são satisfatórios. A ferramenta desenvolvida apresenta resultados confiáveis e a interface gráfica atingiu seus objetivos.*

Palavras-chave: *Pórticos tridimensionais, Ensino de engenharia civil, Análise dinâmica de estruturas*

1 INTRODUÇÃO

O uso de novas tecnologias tem papel cada vez mais importante no ensino de Engenharia atualmente. Dentre as ferramentas mais utilizadas pelos projetistas desta área estão os programas de computador, que permitem realizar cálculos bastante complexos, mas que ainda assim exigem a sensibilidade e o conhecimento para interpretação de seus resultados.

Ocorre, no entanto, que a grande maioria desses pacotes comerciais são caros e isso dificulta o contato do estudante de engenharia com os mesmos, deixando uma lacuna na formação do futuro profissional.

A partir do desenvolvimento de um programa computacional para análise elastodinâmica ou estática de pórticos tridimensionais, propõe-se analisar as potencialidades da utilização deste como uma ferramenta de ensino.

A seguir são mostrados os conceitos de pórticos planos e tridimensionais, e mostrada a importância da análise estrutural destes para a Engenharia Civil.

2 PÓRTICOS PLANOS E TRIDIMENSIONAIS

Os pórticos são estruturas formadas por pilares alinhados ligados por vigas. Segundo a NBR 6118 (2003), os pilares são elementos lineares de eixo reto usualmente dispostos na vertical em que as forças normais de compressão são preponderantes, e as vigas são elementos lineares em que a flexão é preponderante. A função principal das vigas é receber parcelas das ações atuantes nas lajes, telhados, dentre outras ações e transmiti-las aos pilares que conduzirão as cargas até as fundações.

As ações verticais são transferidas aos pórticos pelas estruturas dos andares, e as ações horizontais decorrentes do vento são levadas aos pórticos pelas paredes externas. São os pórticos que devem resistir às ações do vento e às outras ações que atuam no edifício, sendo os mais utilizados elementos de contraventamento (PINHEIRO, 2005).

Os pórticos podem ser considerados planos, quando os eixos de seus elementos estiverem contidos em um mesmo plano, ou tridimensionais, quando os eixos de seus elementos estiverem contidos em dois ou mais planos.

Um exemplo da aplicação de pórticos planos em Engenharia Civil pode ser encontrado em SOARES & HANAI (2001), que trata da análise estrutural de pórticos planos de elementos pré-fabricados de concreto com sistema estrutural de duas águas, comumente denominados galpões, considerando a deformabilidade das ligações.

Como exemplo de aplicação de pórticos 3D, não se tratando de um caso usual de uma estrutura formada realmente por pórticos, tem-se NETO E CORRÊA (2002), no qual é desenvolvida uma análise tridimensional de edifícios em alvenaria estrutural submetidos à ação do vento. Neste caso, as paredes de contraventamento são discretizadas por elementos de barra tridimensional, cada barra é posicionada no centro de gravidade da seção da parede que representa e possui as mesmas características geométricas da mesma.

Constata-se que a utilização de pórticos para análises de estruturas não está restrita a estruturas formadas por vigas e pilares. De fato, a própria NBR 6118 (2003) permite a adoção de pórticos múltiplos para obtenção dos esforços internos solicitantes nos casos de lajes lisas e lajes-cogumelo em que os pilares estiverem dispostos em filas ortogonais, de maneira regular e com vãos pouco diferentes. Mesmo em casos de estruturas tais como de edifícios em concreto armado, onde nem todos os elementos estruturais podem ser considerados como barras, é comum analisar o comportamento global ou parcial da estrutura utilizando-se um modelo de barras (MARTHA, 2004).

Por fim é importante ressaltar que os pórticos podem ser constituídos por materiais bastante diversificados. Por exemplo: nas estruturas de concreto, o próprio concreto

constituente dos pórticos apresenta grande variabilidade de resistência à compressão e de outras características. Além disso, existem também particularidades geométricas em cada caso, e estes fatos somados tornam a análise de pórticos um procedimento bastante trabalhoso e até mesmo de difícil (ou inexistente) solução analítica, o que leva à busca pela solução aproximada através de métodos numéricos, tais como o Método dos Elementos Finitos.

Na próxima seção são mostrados detalhes da ferramenta desenvolvida, que é o objeto de estudo deste trabalho: uma ferramenta computacional para análise estática e dinâmica de pórticos tridimensionais utilizando o Método dos Elementos Finitos.

3 IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL DA FERRAMENTA

O algoritmo para análise elastodinâmica de pórticos 3D foi desenvolvido em ambiente MATLAB® (HANSELMAN & LITTLEFIELD, 2002), utilizando-se os recursos e facilidades desse ambiente em operações matriciais, indexação de matrizes, entre outros, bem como também os recursos existentes para plotagem de gráficos e criação de animações.

A etapa de pré-processamento, a etapa de análise propriamente dita e a etapa de pós-processamento foram integradas em uma única interface gráfica conforme será detalhado na subseção 3.1.

A etapa de pré-processamento engloba a geração da malha de Elementos Finitos, a definição das propriedades dos elementos e aplicação das condições de contorno e carregamentos, enquanto que o pós-processamento é constituído pela geração de diagramas de esforços internos solicitantes, plotagem da configuração deformada da estrutura, entre outros.

Os dados do problema em estudo são definidos por meio de um arquivo de texto, que é também o formato de saída do pré-processador anteriormente citado, sendo este arquivo uma pequena variação do modelo de arquivo de dados conhecido por *neutral file*. O *neutral file* é baseado em um formato usado por programas computacionais desenvolvidos pelo Grupo de Tecnologia em Computação Gráfica – Tecgraf/PUC-RIO. Uma descrição completa deste formato pode ser encontrada em TECGRAF (2004).

A “Figura 1” apresenta uma visão geral dos dados contidos no arquivo de entrada.



Figura 1 - Visão geral dos dados de entrada.

3.1 Interface gráfica de usuário

O objetivo de uma interface gráfica com o usuário é tornar o código computacional mais fácil de ser utilizado, organizando as funcionalidades deste código de forma intuitiva e disponibilizando ferramentas que agilizem sua utilização.

A estrutura da interface gráfica em si foi dividida em cinco partes: menu principal, quadros de estado, conjunto de painéis selecionado, área de visualizações e quadro de opções gráficas, conforme a “Figura 2”. Dentre esses, são explicados primeiramente os mais simples: os quadros de estado, a área de visualizações e o quadro de opções gráficas.

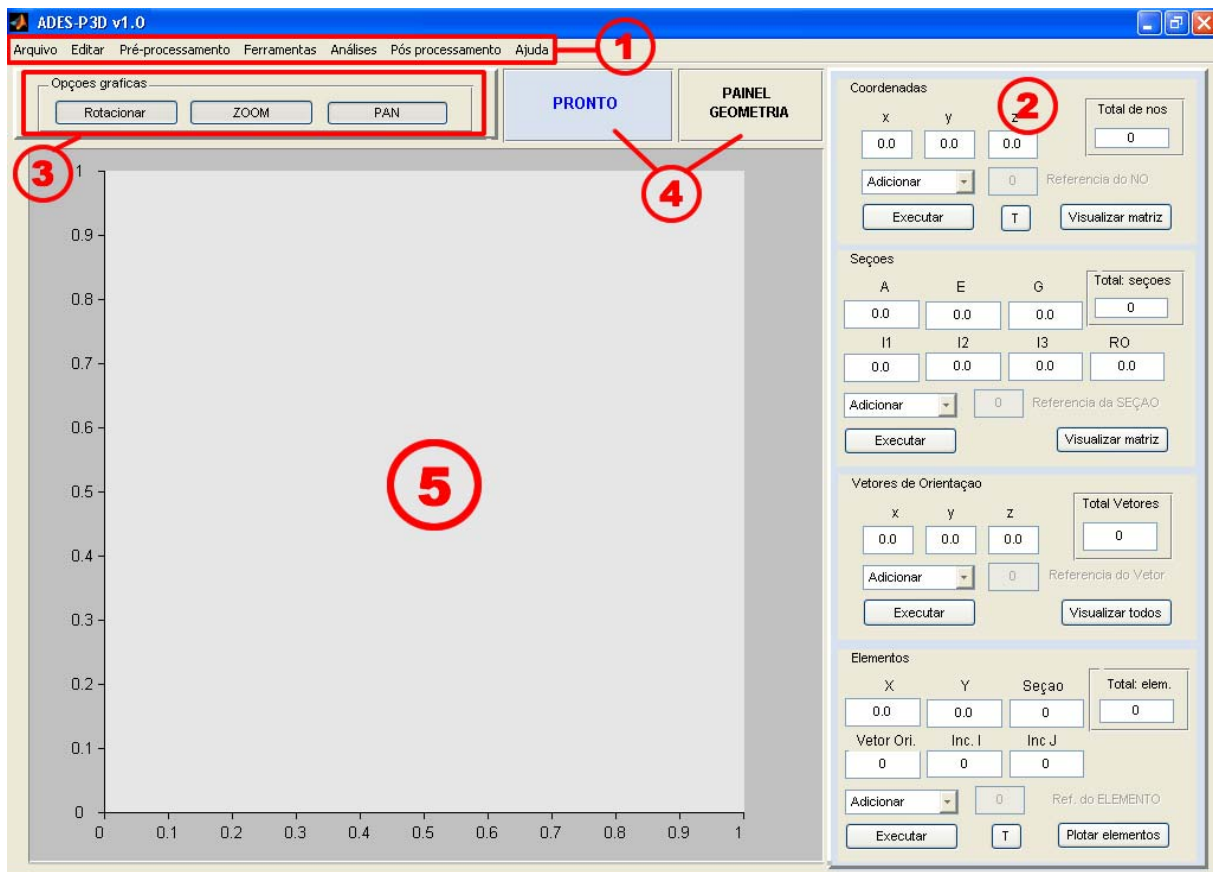


Figura 2 - Janela principal do programa

(1) Menu principal; (2) Conjunto de painéis selecionado; (3) Quadro de opções gráficas; (4) Quadros de estado e (5) Área de visualizações.

Existem dois quadros de estado: o quadro de estado esquerdo, que exibe mensagens sobre o estado atual do programa, tais como ‘em espera’, ‘analisando’, ‘concluído’, entre outros; e o quadro de estado direito, que serve apenas para indicar qual conjunto de painéis está selecionado.

A área de visualizações é o local onde são plotados os gráficos diversos e o próprio modelo que está sendo analisado, enquanto que o quadro de opções gráficas traz algumas opções de manipulação do que está impresso na área de visualizações, tais como a opção de rotacionar ou mover o objeto.

A interface gráfica foi desenvolvida procurando-se manter uma ordem lógica das etapas, podendo-se notar a seqüência no menu principal, mostrado na “Figura 3”.

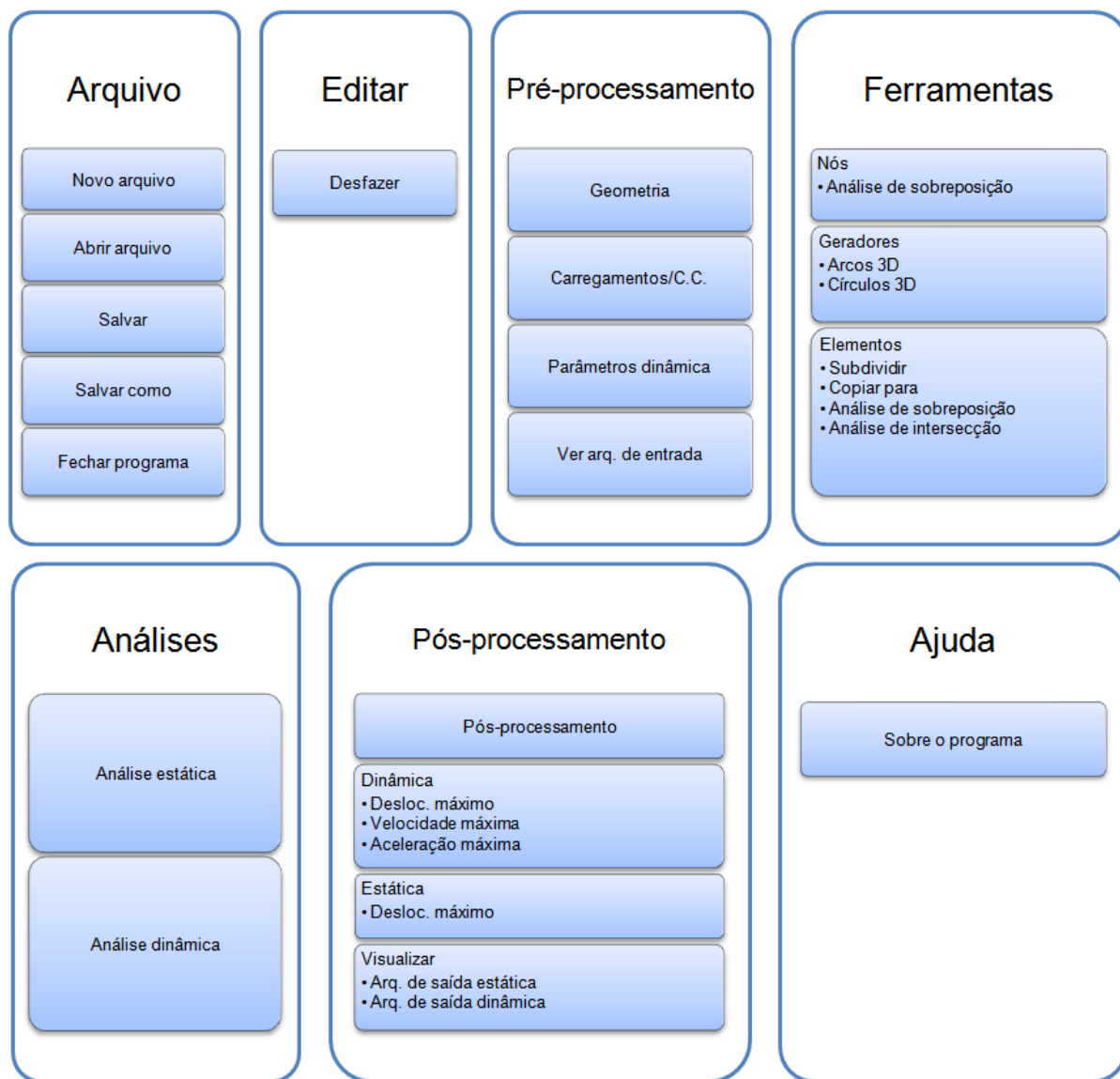


Figura 3 - Menu principal do programa.

Inicialmente, o usuário pode abrir um arquivo já existente no formato *neutral file* modificado (extensão *.nf*) e trabalhar em cima deste ou iniciar a criação de um novo arquivo.

Dentro da etapa de pré-processamento existem três conjuntos de painéis que permitem a definição de todo o problema. Os painéis de geometria possibilitam a criação de nós, seções, vetores de orientação e elementos. No conjunto de painéis de carregamento e condições de contorno é possível definir funções de carregamento variáveis com o tempo ou constantes, e aplicá-las como carregamentos nodais ou distribuídos. Também é neste conjunto de painéis que se definem os deslocamentos prescritos do problema. E por fim, o conjunto de painéis de parâmetros da dinâmica permite ao usuário definir os parâmetros para cálculo da matriz de amortecimento proporcional, os parâmetros do algoritmo de Newmark e os detalhes de tempo total de análise e número de passos de tempo. Para o caso da análise estática não se precisa definir os dados do terceiro conjunto de painéis.

No menu ferramentas encontram-se algoritmos diversos que facilitam o processo de criação do modelo geométrico. Dentro do sub-menu 'Nós' pode-se fazer uma análise de sobreposição de nós, eliminando nós que estejam sobrepostos no espaço tridimensional. No sub-menu Geradores é possível criar arcos ou círculos 3D com quantos nós se deseje entrando

apenas com alguns dados simples. No sub-menu Elementos pode-se subdividir um elemento existente em vários outros elementos, copiar um ou mais elementos para um outro local do espaço e analisar sobreposição ou intersecção de elementos. No caso de sobreposição, é deletado um dos elementos, modificando-se outros dados que dependam dos elementos, tais como os carregamentos distribuídos. Ou seja, caso exista um carregamento distribuído sobre o elemento que foi deletado, este carregamento é transmitido automaticamente para o elemento que estava sobreposto. A análise de intersecção cria novos nós entre elementos que se cruzam, no ponto de intersecção dos mesmos.

É interessante notar que todo o processo de montagem do arquivo de dados pode ser visualizado durante a própria montagem. A “Figura 4” mostra uma estrutura formada por quatro nós e três elementos, sujeita a três carregamentos nodais e um carregamento distribuído com variação linear, todos aplicados no sentido negativo do eixo z.

Ressalta-se que toda a modelagem é feita ainda por meio de caixas de texto, não tendo sido implementada a criação de barras interativamente usando o mouse.

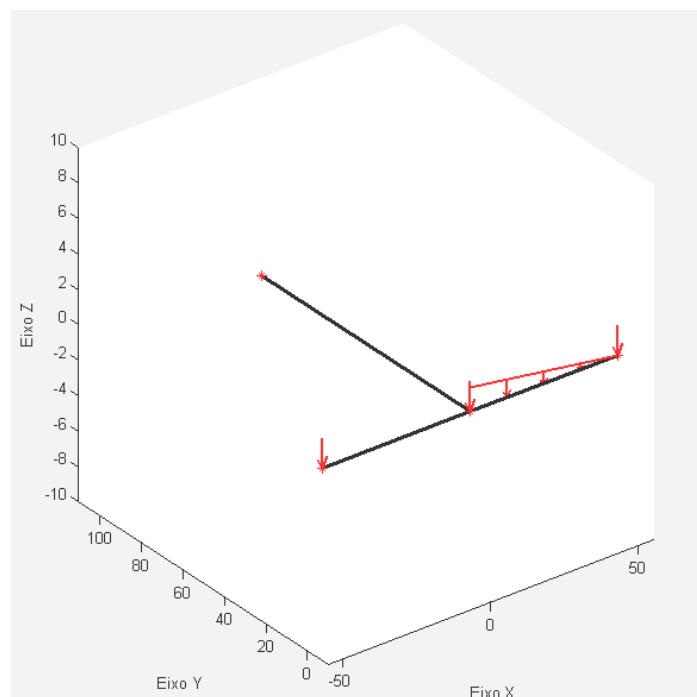


Figura 4 - Estrutura sujeita a carregamentos nodais e distribuídos.

Depois de definidos todos os detalhes e parâmetros do problema em estudo, pode ser efetuada a análise estática e/ou análise dinâmica. O processo de solução pode ser acompanhado pela janela de comandos do MATLAB®, onde são impressas mensagens mostrando o andamento da análise.

Por fim, após ter sido processado o problema, é possível plotar gráficos dos esforços internos solicitantes, verificar deslocamentos, acelerações e velocidades máximas, plotar a configuração deformada da estrutura ao longo do tempo, dentre outras informações, através do conjunto de painéis de pós-processamento e do menu de mesmo nome.

O menu ajuda traz ainda alguns detalhes sobre a versão do programa, sobre os autores e data de criação, e um navegador de ajuda com explicações sobre como tirar maior proveito das funcionalidades do programa.

A seguir são descritos superficialmente os detalhes teóricos dos cálculos necessários para a efetuação das análises estática e dinâmica, um estudo mais aprofundado pode ser encontrado em GOMES (2007).

3.2 Análises estática e dinâmica de pórticos tridimensionais

A parte referente aos cálculos em si das análises estática e dinâmica desta ferramenta baseou-se no Método dos Elementos Finitos (MEF), método este cuja aplicação na mecânica estrutural já está consagrada pela prática (VENTURINI, 1988). Além disso, o MEF permite o estudo de estruturas de geometrias quaisquer, constituídas por um ou mais materiais diferentes e sujeitas a carregamentos de qualquer tipo, mostrando-se ideal para a análise de pórticos tridimensionais.

Nesta aplicação do Método dos Elementos Finitos, vigas e pilares foram modelados por elementos finitos de barra geral, sendo cada um desses elementos definido pelos nós i e j e possuidores de 6 graus de liberdade (gdl) por nó, conforme pode ser visto na “Figura 5”. O comprimento da barra é designado por L .

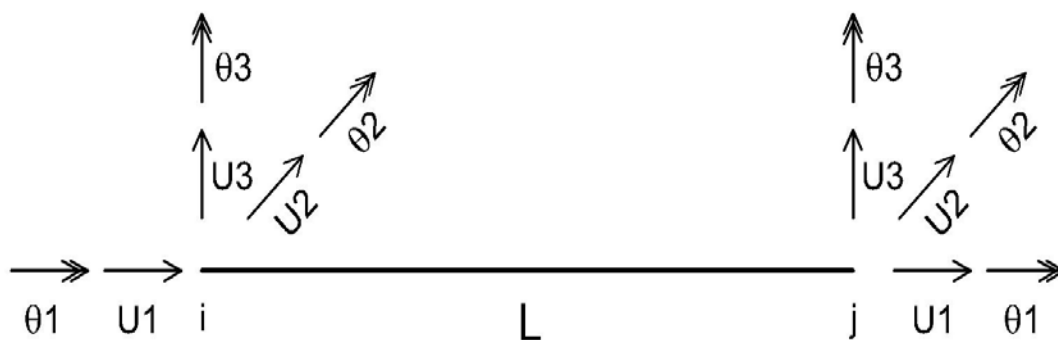


Figura 5 - Graus de liberdade do Elemento Finito de Barra.

Para a análise dinâmica, foi necessário recorrer a um algoritmo de integração numérica temporal. O algoritmo escolhido foi o de Newmark, que é considerado um dos melhores para aplicações estruturais via Método dos Elementos Finitos (ALMEIDA, 2003).

Depois de conhecida a estrutura da ferramenta computacional e um pouco de sua fundamentação teórica, a subseção seguinte traz algumas discussões sobre os aspectos educacionais da utilização da mesma por estudantes de Engenharia Civil.

4 ASPECTOS EDUCACIONAIS DA FERRAMENTA DESENVOLVIDA

O uso de novas tecnologias tem papel cada vez mais importante no ensino de Engenharia atualmente. Dentre as ferramentas mais utilizadas pelos projetistas desta área estão os programas de computador, que permitem realizar cálculos bastante complexos, mas que ainda assim exigem a sensibilidade e o conhecimento para interpretação de seus resultados.

A melhor forma de adquirir essa sensibilidade e conhecimento é através da utilização destas ferramentas ou de ferramentas semelhantes, no entanto, a grande maioria desses pacotes comerciais são caros e isso dificulta o contato do estudante de engenharia com os mesmos, deixando uma lacuna na formação do futuro profissional.

Nesta última seção serão levantadas as características intrínsecas ao programa desenvolvido que fazem com que o mesmo possa ser aplicado de forma educacional no ensino

de Engenharia Civil, buscando suprir essa lacuna e desenvolver as capacidades necessárias à interpretação dos resultados de programas de análise estrutural. Primeiramente é feita uma breve comparação com outros programas computacionais e em seguida são discutidos os aspectos educacionais da ferramenta.

4.1 Comparação com outros programas computacionais

Uma importante característica da ferramenta desenvolvida é a utilização do MEF como método de cálculo, visto que ele é a base da maioria dos programas computacionais da área. Dessa forma, a utilização do programa traz a definição de alguns termos comuns ao MEF, fazendo com que o estudante possa se familiarizar com esses termos.

Além disso, todo o processo de cálculo é informado ao usuário durante a análise por meio da janela de comandos do MATLAB, de forma que sejam apresentados termos tais como Matriz de Rigidez do Elemento, Matriz de Incidência Cinemática, Matriz de Amortecimento Proporcional, entre outros. A simples menção destes termos pode levar o aluno a relacioná-los com os conhecimentos adquiridos nas disciplinas que tratam da Análise Matricial de Estruturas e despertar a curiosidade dos estudantes, fazendo com que os mesmos procurem entender um pouco mais sobre os fundamentos do MEF.

É importante ressaltar a importância de se conhecer os fundamentos do método com o qual se está trabalhando, mesmo que todos os cálculos sejam feitos automaticamente. O desconhecimento dos fundamentos do MEF quando da utilização de um programa baseado no mesmo, por exemplo, pode conduzir a resultados desastrosos, como aconteceu no caso da perda da plataforma petrolífera Sleipner A, na Noruega, com um custo de cerca de 700 milhões de dólares (PEREIRA, 2005).

O programa desenvolvido apresenta ainda uma vantagem do ponto de vista educacional com relação aos outros programas, no que diz respeito à simplicidade. A ferramenta foi criada especialmente para análise de pórticos tridimensionais, permitindo uma abordagem direta a este assunto, enquanto que os pacotes comerciais existentes englobam diversos tipos de análise. De fato, os outros programas trazem em uma única interface análises termodinâmicas, análises de fluidos, entre outras, fazendo com que um usuário inexperiente se perca em meio a tantas opções, e dificultando o aprendizado de uma análise específica.

4.2 Discussão sobre os aspectos educacionais da ferramenta desenvolvida

Como citado anteriormente, O desenvolvimento da interface foi baseado na própria seqüência de solução do problema estrutural, permitindo ao usuário tratar desde a geração de seu modelo estrutural (pré-processamento) até a análise de seus resultados (pós-processamento), através de gráficos e animações diversas.

Inicialmente, a montagem do problema possibilita ao estudante o desenvolvimento de sua capacidade de transformar o problema real contínuo em um modelo numérico discreto a ser resolvido. Neste sentido, o programa desenvolvido garante grande liberdade na geração dos modelos e de suas propriedades, por meio de um conjunto de painéis e de outras ferramentas de auxílio, apresentando ainda visualização imediata do que está sendo modelado.

A “Figura 6” apresenta o modelo numérico discreto de um prédio, construído a partir do projeto arquitetônico do mesmo, tomando-se sua planta baixa e alguns cortes e definindo sua estrutura com as prováveis dimensões. É importante ressaltar que mesmo depois de construído todo o modelo numérico é possível alterar propriedades de quaisquer elementos constituintes, inserir novos elementos ou deletar elementos existentes, o que torna possível, por exemplo, verificar as alterações da distribuição de esforços internos solicitantes na estrutura quando da inserção de um novo pilar.

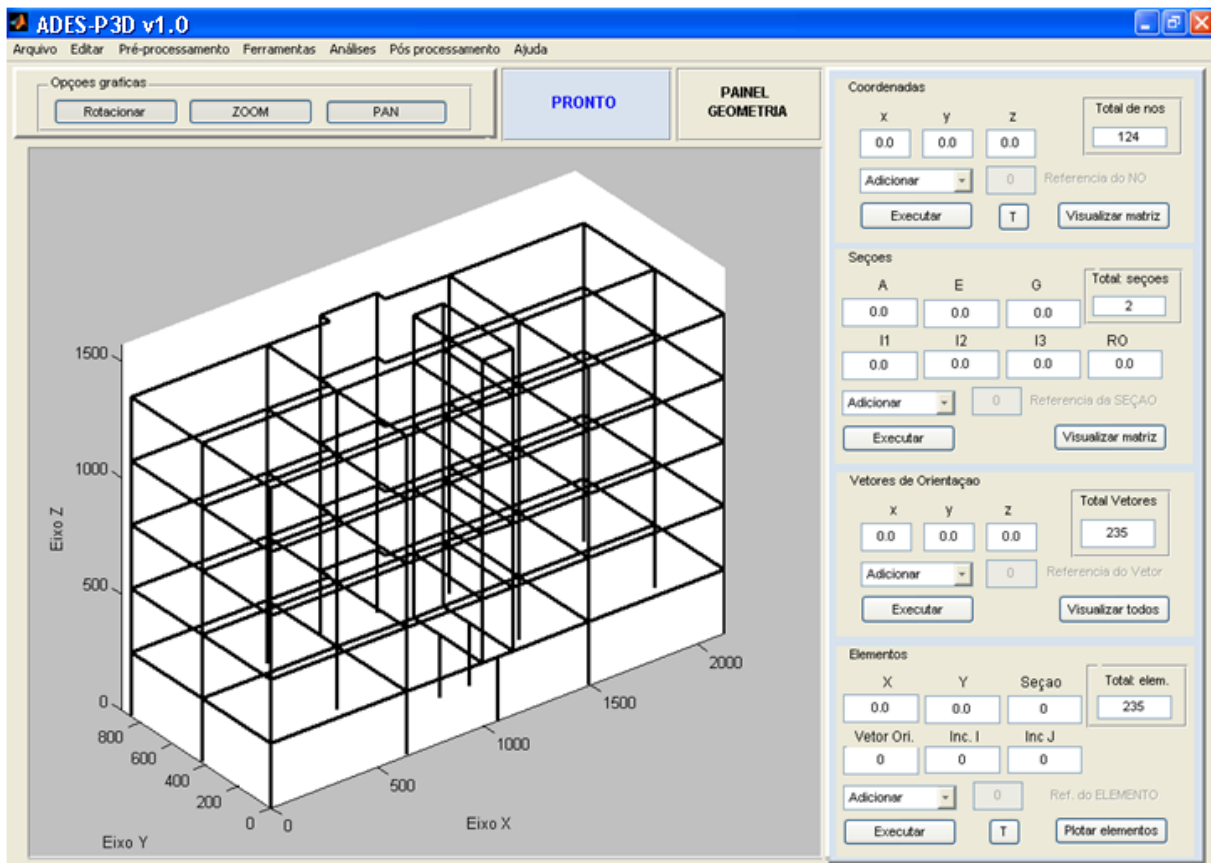


Figura 6 - Modelagem e visualização de um prédio.

Depois de montado o modelo em si, com todos os seus elementos e respectivas propriedades, passa-se à etapa de aplicação de carregamentos e condições de contorno. Nesta etapa é possível aplicar carregamentos nodais ou distribuídos, digitando em sintaxe MATLAB a função que descreve o carregamento ao longo do tempo, e inserir apoios de qualquer gênero onde quer que se deseje apoiar a estrutura.

A possibilidade de inserir uma função qualquer de carregamento é uma característica bastante interessante, podendo-se simular, por exemplo, os efeitos de um motor acoplado a um trecho qualquer da estrutura.

O fato de se poder retirar ou modificar os apoios e seus gêneros poderia ser utilizado para verificar o que ocorreria com a estrutura se um pilar dito engastado na verdade não o fosse, por exemplo.

Percebem-se claramente as vantagens presentes na simulação numérica de estruturas, nas quais, após a etapa de modelagem, é possível fazer alterações nas condições de contorno, de carregamento ou, nesse caso, no próprio modelo, e verificar o que ocorreria à estrutura nas diversas situações simuladas.

Por fim, o último passo antes de efetuar as análises consiste na definição dos parâmetros de análise dinâmica, não sendo necessário preencher esses parâmetros caso se deseje apenas efetuar a análise estática. Nesta etapa o estudante de Engenharia se depara com parâmetros geralmente não estudados nos cursos de graduação, são estes: os parâmetros de amortecimento proporcional, os parâmetros de Newmark e os parâmetros de tempo. Uma breve consulta a GOMES (2007) pode esclarecer para que serve cada um desses parâmetros e mostrar quais são os valores usuais dos mesmos.

Seguindo-se a seqüência presente no menu principal da interface gráfica, pode-se efetuar a análise estática ou a dinâmica, bastando clicar sobre a opção desejada no item análise. Conforme citado anteriormente, todas as etapas da análise são apresentadas na janela de comandos do MATLAB durante sua execução.

Por fim, a possibilidade de visualização dos resultados estáticos e/ou dinâmicos faz com que o estudante melhore sua capacidade de visualização espacial, observando e manipulando o modelo tridimensional na tela do computador, podendo vê-lo de ângulos diferentes e focar em alguns elementos ou no modelo todo.

Ao mesmo tempo, desenvolve-se a capacidade de verificação dos efeitos decorrentes dos carregamentos sobre a estrutura, visualizando qualquer um dos esforços internos solicitantes por meio de uma plotagem em cores da estrutura, juntamente com os carregamentos aplicados, como pode ser visto na “Figura 7”, ou observando o diagrama dos esforços internos solicitantes de alguns elementos.

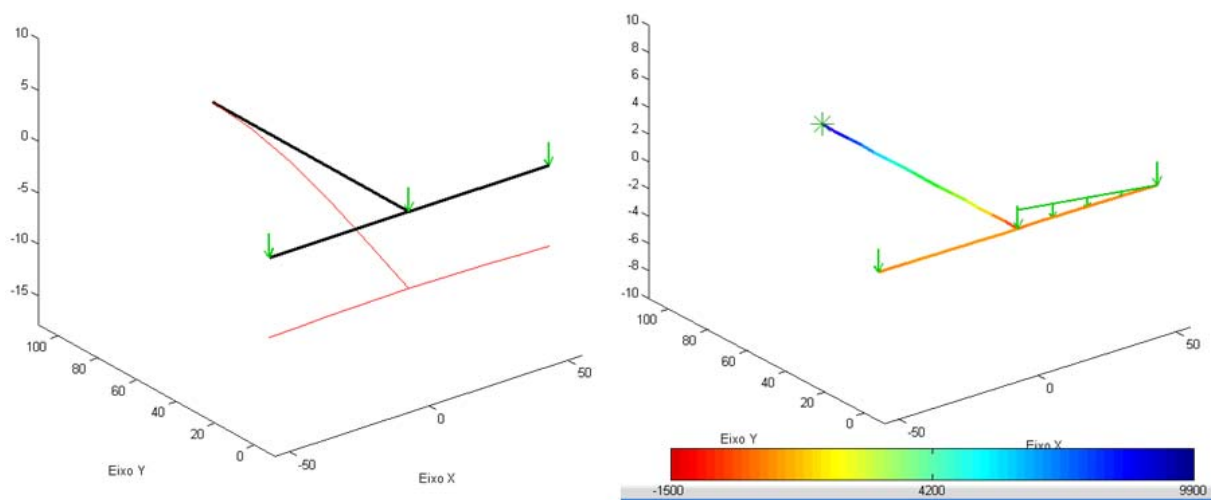


Figura 7 - Visualização dos carregamentos, configuração deformada e esforços internos solicitantes através de cores de uma estrutura engastada em uma das extremidades e composta por três vigas.

No caso de análises dinâmicas ainda é possível visualizar gráficos bidimensionais de velocidades, acelerações ou deslocamentos ao longo do tempo, de um nó qualquer da estrutura.

Além disso, pode-se verificar ainda animações tridimensionais com a configuração deformada ao longo do tempo. Em se tratando da plotagem de configurações deformadas da estrutura, um fator de ampliação dos deslocamentos é importante no sentido de facilitar a percepção do comportamento em si da estrutura ao se acomodar diante da aplicação dos carregamentos quaisquer.

A “Figura 8” mostra o modelo supracitado de um prédio, submetido a algumas cargas nodais, e logo após, em vermelho, sua configuração deformada quando em equilíbrio com as cargas aplicadas.

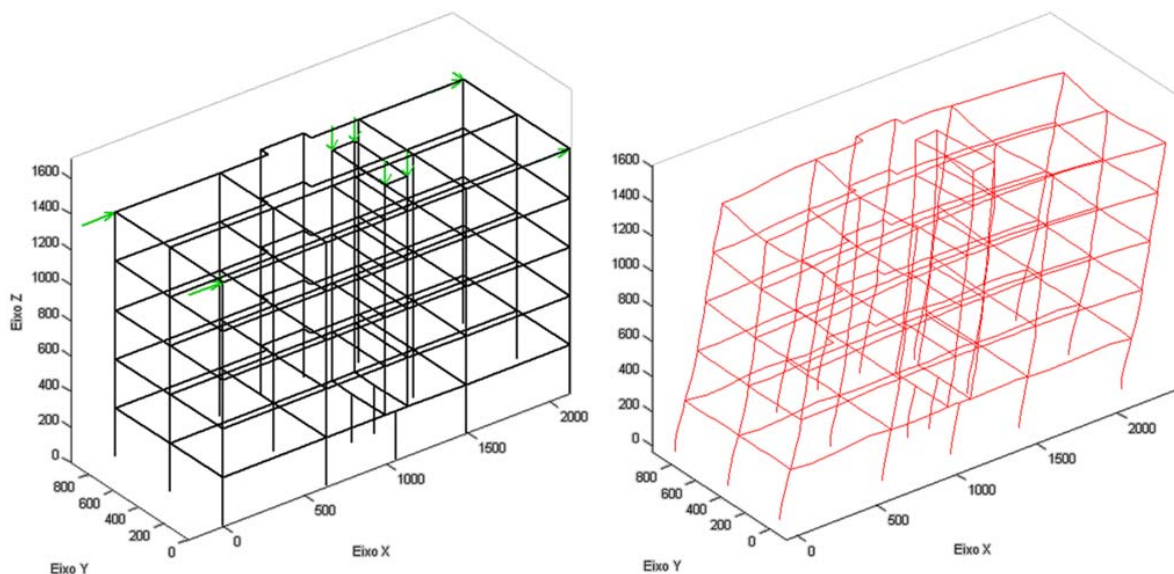


Figura 8 - Modelo de um prédio - aplicação de cargas e configuração deformada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ferramenta desenvolvida e aqui discutida apresenta resultados satisfatórios, o que foi constatado durante a validação do mesmo, confrontando os valores obtidos com resultados analíticos e resultados numéricos de outros programas já existentes no mercado. Do ponto de vista da interface gráfica de usuário, os objetivos também foram alcançados, o código computacional se tornou bem mais fácil de ser utilizado, foram criadas ferramentas que agilizam bastante principalmente a etapa de modelagem do problema, e a disposição dos elementos da interface é bastante intuitiva. Todavia, existem ainda outras ferramentas e algumas melhorias que se pretende inserir em versões futuras do mesmo, ampliando suas vantagens no que diz respeito à agilidade, facilidade e didática do uso do programa.

Agradecimentos

Os autores agradecem à SESu, pelo incentivo financeiro através do Programa de Educação Tutorial – PET, e aos colegas do Grupo de Novos Materiais da Unidade Acadêmica CTEC, que colaboraram por meio de discussões para a melhoria da ferramenta desenvolvida, ajudando no aperfeiçoamento dos aspectos educativos da mesma.

6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. P. A. **Aplicação do acoplamento entre o MEC e o MEF para o estudo da interação dinâmica elastoplástica entre o solo e estruturas**. São Carlos, 283 p., 2003. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2003 – Projetos de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro - RJ, ABNT.

GOMES, W. J. S. **Análise Elastodinâmica de Pórticos 3D Utilizando o Método dos Elementos Finitos**. Maceió, 92 p., 2007. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Alagoas.

HANSELMAN, D. & LITTLEFIELD, B. **MATLAB 6 - Curso Completo**. São Paulo: Prentice Hall (Pearson), 2002.

MARTHA, L. F. **Métodos básicos da análise de estruturas**. Rio de Janeiro, 2004. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

NETO, J. A. N. & CORRÊA, M. R. S. Análise tridimensional de edifícios em alvenaria estrutural submetidos à ação do vento. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. n. 19, p. 81-100, 2002.

PEREIRA, O. J. B. A. **Introdução ao Método dos Elementos Finitos na análise de problemas planos de elasticidade**. DECivil, Instituto Superior Técnico, 2005.

PINHEIRO, L. M. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. São Carlos, 2005. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.

SOARES, A. M. M. & HANAI, J. B. Análise estrutural de pórticos planos de elementos pré-fabricados de concreto considerando a deformabilidade das ligações. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. n. 17, p. 29-57, 2001.

MOURA, G. C. de M. **Citação de referências e documentos eletrônicos**. Disponível em: <<http://www.elogica.com.br/users/gmoura/refere.html>> Acesso em: 09 out. 1996.

TECGRAF – Grupo de Tecnologia em Computação Gráfica (2004). **Neutral File – The file format for finite element pre-, post-, and analysis pro.** Disponível em: <<http://www.tecgraf.puc-rio.br/neutralfile/>> Acesso em: 04 fev. 2007.

VENTURINI, W. S. **Um estudo sobre o método dos elementos de contorno e suas aplicações em problemas de engenharia**. São Carlos, 1988. Tese (Livre docência) – Universidade de São Paulo.

COMPUTATIONAL PROGRAM FOR ELASTO-DYNAMIC ANALYSIS OF THREE-DIMENSIONAL FRAMES AND ITS APPLICATION ON THE LEARNING OF ENGINEERING

Abstract: *Nowadays, the use of new technologies has an increasing application on the learning of Engineering, with a growing eminence for the computational programs. This programs are between the tools more utilized by the professionals of this area. However, most of this programs are so expensive, and this becomes difficult the contact of the engineering students with it, what leaves a gap in the professional training. By the development of a computational code which makes possible elasto-dynamic or static analysis of three-dimensional frames, seeks to exam the potential of using this as a education's tool. The most important features of this program were: the Finite Element Method, which is used in many programs of this area, and the development of a graphical interface that allows the user to handle since the generation of its structural model (pre-process) until the analysis of its*

results (post-process), through various graphics and animations. It is intended to check and discuss the key features of this program and its impact in the development of the sensibility of the Civil Engineering's student with regard to the analysis of three-dimensional beams with different geometries subject to various loads. The results are satisfactory. The tool developed gives reliable results and the graphical interface reached their goals.

Key-words: *first one, second one, third one (maximum: 5 key-words)*