



## **USO DO PROGRAMA CASTEM NO ENSINO DE MECÂNICA DOS SÓLIDOS**

**Thiago Martins D'Albuquerque**

Universidade de Brasília  
tdalbuquerque@hotmail.com

**Dianne Magalhães Viana**

diannemv@unb.br

**Resumo:** O CASTEM é um programa para análise de tensões através do método dos elementos finitos. Foi desenvolvido originalmente pelo Departamento de Pesquisa Mecânica e Térmica (DEMT) da Agência de Energia Nuclear (CEA) da França. Esse software oferece um sistema completo abrangendo tanto funções para construção do modelo (pré-processamento) e resultados (pós-processamento). Apesar da grande flexibilidade do programa e da disponibilidade para uso gratuito, este carece de documentação suficiente, dificultando o seu uso no ensino de engenharia. O usuário precisa descrever uma seqüência de comandos em um arquivo a ser executado e, para tanto, é importante entender como uma análise utilizando o método dos elementos finitos é estruturada. Cabe ressaltar que o programa pode ser utilizado sem custos no ambiente acadêmico para fins de ensino e pesquisa. A proposta do presente trabalho é apresentar o procedimento para análise de tensões através do programa CASTEM, e realizar aplicações da ferramenta em estudo de casos que podem ser aplicados no ensino de disciplinas da mecânica dos sólidos.

**Palavras-chave:** CASTEM, Análise de Tensões, Elementos Finitos.

### **1. INTRODUÇÃO**

A partir do desenvolvimento de novos materiais, estruturas cada vez mais leves e esbeltas podem ser concebidas. Com isso, a análise computacional de elementos finitos tem se tornado cada vez mais importante. Porém, bons programas numéricos possuem licenças muito caras. Por isso, a necessidade de se encontrar programas completos com acesso gratuito no ambiente acadêmico para fins de ensino e pesquisa.

Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo difundir as potencialidades do programa de elementos finitos CASTEM, desenvolvido pela Commissariat français à l'Energie Atomique (CEA), da França, cuja licença permite ser usado sem custo no ambiente acadêmico para fins de ensino e pesquisa.

### **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **2.1. Método dos Elementos Finitos (MEF)**

O método dos elementos finitos (MEF) é uma ferramenta poderosa na pesquisa de soluções aproximadas de problemas de campo em diversas ciências físicas. Nas engenharias, no que se refere a problemas envolvendo escoamento de fluidos, distribuição de temperaturas, determinação de esforços e deformações em sólidos, análise modal, etc., o método dos elementos finitos é hoje uma das ferramentas mais populares de análise entre projetistas do setor produtivo. Embora as bases teóricas do método sejam relativamente complexas, o método numérico resultante se caracteriza pela versatilidade no tratamento de problemas envolvendo materiais elásticos ou inelásticos, pequenas ou grandes deformações e pela alta qualidade dos resultados que o mesmo é capaz de fornecer.

Em geral, o objetivo de análise de elemento finito é aproximar com um grau suficiente de precisão os valores desconhecidos de uma equação diferencial a pontos selecionados no domínio de um sistema físico contínuo ou estrutura.

A equação diferencial pode definir uma larga variedade de fenômenos físicos. A função principal do programa de elemento finito é reduzir a equação diferencial diretamente a um jogo de rendimentos de equações algébricas simultâneas, ou por meio de computação adicional secundária, às quantidades desconhecidas desejadas, como deflexões, temperaturas, ou tensões.

O modelo de elemento finito é uma representação geométrica da estrutura física atual ou corpo que são analisadas. O modelo é criado dividindo-se a estrutura em várias sub-regiões chamadas "elementos". Os valores das quantidades desconhecidas serão computados a pontos selecionados nos elementos, normalmente aos cantos. Estes pontos são chamados "nodos". O processo de dividir o corpo é chamado, freqüentemente, de "discretização" e normalmente é executado pelo usuário. Discretização do corpo ou estrutura é a fase mais importante da análise e afeta a precisão dos resultados.

Etapas de um programa de Elemento Finito:

**Pré-processamento:** Construção do modelo de elemento finito, construção da geometria do problema, especificação do(s) material(is) que compõem a estrutura, aplicação das condições de contorno (restrições, carregamento...) e geração da malha de elementos finitos.

**Pós-processamento:** Resolução do problema de elementos finitos: Cálculo de matrizes de elementares, montagem das matrizes do sistema de equações a ser resolvido e solução do sistema de equações através de métodos diretos ou indiretos.

## 2.2. O CASTEM

O CASTEM é um código numérico para análise de estrutura pelo método de elemento finito. Este código foi desenvolvido originalmente pelo "Département des Etudes Mécaniques et Thermiques (DEMT)" (Departamento de Pesquisa Mecânica e Térmica) do francês "Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) (Agência de Energia Nuclear, equivalente ao britânico AEA)". Seu desenvolvimento é parte de um programa de pesquisa no campo de engenharia mecânica que tem como objetivo definir uma ferramenta avançada a ser usada como apoio próprio para o desígnio, resistência-avaliação, e análise de estruturas e componentes nuclear e qualquer outra área industrial. Deste ponto de vista, oferece um sistema completo: não só tem funções para a construção de modelo (pré-processamento), mas tem funções para visualização dos resultados (pós-processamento).

Este código possui a seguinte característica distintiva: permite o usuário a personalizar e compor o sistema disponível para adaptar às suas próprias exigências; além disso, o programa possui flexibilidade total que facilita a resolução de problemas. Permite também que o usuário possa adaptar às suas próprias necessidades. Na prática, o programa está composto de uma série de operadores; cada operador só pode executar uma operação. O usuário só tem que chamar qualquer operador por meio da instrução apropriada para executar; como resultado, o usuário pode definir ou pode adaptar a sucessão de resolução a qualquer problema.

Apesar da grande flexibilidade do programa, o usuário ainda precisa aprender formular os seus cálculos de acordo com o método adotado pelo código. Como resultado, é importante para entender como uma análise de elemento finito é estruturada e é organizada, para ser capaz de estabelecer uma conexão direta entre a operação matemática ou lógica a ser formulada e os operadores a serem usados.

A Linguagem de programação utilizada nesse programa é a GIBIANE. Esta linguagem permite o usuário a comunicar diretamente com o programa por troca de dados. Todas as operações executadas com esta linguagem consistem dentro objetos existentes controlando com uma visão de modificar ou criar um novo. A sintaxe de uma operação elementar pode requerer vários objetos; leva várias formas dependendo em se o resultado obtido consiste em um ou vários objetos modificados ou recentemente criado.

A organização do processo de cálculo é dividida em três fases: definição do modelo matemático, resolução da discretização do problema e análise e pós-processamentos dos resultados. As fases em questão podem ser descritas como segue: Na primeira fase ocorre a discretização geométrica da região estudada e definição de dados que caracterizam o modelo. Esta fase inclui: o tipo de análise (tensões planas ou tensões assimétricas, etc.), o tipo de elemento (viga, casca, etc.), as propriedades dos materiais, as características geométricas, as malhas e as condições de limite. Já na segunda fase ocorre o cálculo da matriz de massa para cada elemento finito, montagem da matriz de massa da estrutura completa, aplicação dos carregamentos externos, aplicação das condições de limite e resolução do sistema de equações de equilíbrio. Na última fase são estruturados programas de computação habituais rigorosamente de acordo com esta lógica, cada fase, sendo associado com um módulo específico definido para o código: um pré-processamento para definir o modelo completo para o qual transmite os dados ao programa de computação próprio, assim que os dados sejam elaborados, um programa de computador que envia uma série de processos que o usuário é compelido para usar dentro “caixa preta” assim que um procedimento de resolução fosse selecionado e um pós-processamento que leva a cabo os processos exigidos assim que tenha recebido os resultados dos processos anteriores.

É claro que o usuário não tem que intervir neste tipo de estrutura em qualquer uma das fases para provocar modificações que satisfazem as suas próprias necessidades. Porém, por mais flexibilidade seja o benefício ao usuário que tem a intenção de resolver vários problemas localizado a diferentes pontos do processo de resolução.

Além disso, este programa se destaca por permitir que sua licença seja utilizada sem custo no ambiente acadêmico para fins de ensino e pesquisa.

### **2.3. Exemplos de Utilização do CASTEM:**

No programa o usuário precisa descrever uma seqüência de comandos em um arquivo a ser executado e, para tanto, é importante entender como uma análise utilizando o método dos elementos finitos é estruturada. Este programa apresenta grande flexibilidade, porém carece de documentação suficiente, dificultando o seu uso. Reuniu-se toda informação encontrada sobre a utilização do programa. Em posse dessas informações realizaram-se testes para familiarização com o programa. Os exemplos obtidos foram analisados de duas formas: analítica e numérica. Para a análise analítica foi utilizado o livro do Timoshenko (1959). Na análise numérica foram considerados inicialmente dois tipos de elementos: elemento de casca quadrilateral e o elemento tetraédrico de 10 nós. Com o intuito de analisar a eficiência e a precisão de todos os exemplos estudados, a análise numérica foi realizada utilizando as mesmas dimensões e propriedades dos materiais dos artigos e livros tomados como referência.

Foram realizados testes utilizando outros elementos tridimensionais como cúbico de 20 nós e o piramidal de 15 nós.

Com o objetivo de garantir mais uma fonte de comparação e garantir a confiabilidade dos resultados, os mesmos testes propostos também foram realizados no programa comercial.

Para iniciar os testes para otimizar o cálculo computacional de elemento finito considerou-se uma placa com as seguintes características: 1000 mm de comprimento, 750 mm de largura e 10 mm de espessura (Figura 2). O material utilizado na placa possui módulo de Young de 200 MPa e coeficiente de Poisson de 0,3. Foram realizados os teste descritos a seguir:

- Caso 1 → Simplesmente apoiada com carregamento distribuído;
- Caso 2 → Simplesmente apoiada com carregamento concentrado no centro;
- Caso 3 → Engastada com carregamento distribuído;
- Caso 4 → Engastada com carregamento concentrado no centro.

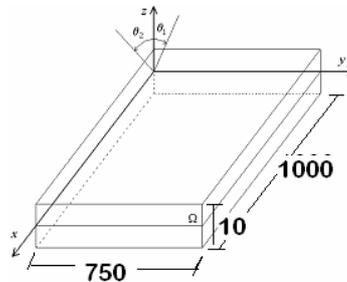


Figura 1. Placa retangular.

**Primeiro caso:** Placa simétrica simplesmente apoiada com carregamento distribuído.

Na Figura 2 são representadas as configurações típicas das malhas geradas pelo CASTEM. Devido à simetria do problema, utilizou-se somente  $\frac{1}{4}$  da placa para diminuir o tempo de processamento. As condições de contorno usadas para elemento de casca foram as seguintes: bloqueio do deslocamento na direção Z nas faces  $x = 0$  e  $y = 0$  e todos os deslocamentos e rotação no ponto da placa localizado na origem do sistema coordenado, bloqueou-se também o deslocamento em X e a rotação em Y em  $y = b/2$ , o deslocamento em Y e a rotação em X em  $x = a/2$ , para garantir a simetria utilizada. As condições de contorno para o elemento tridimensional foram às mesmas utilizadas no elemento de casca, porém em vez de serem aplicadas nas linhas foram aplicadas na superfície. O carregamento considerado nos dois casos foi uma pressão normal com valor de 0,01 MPa.

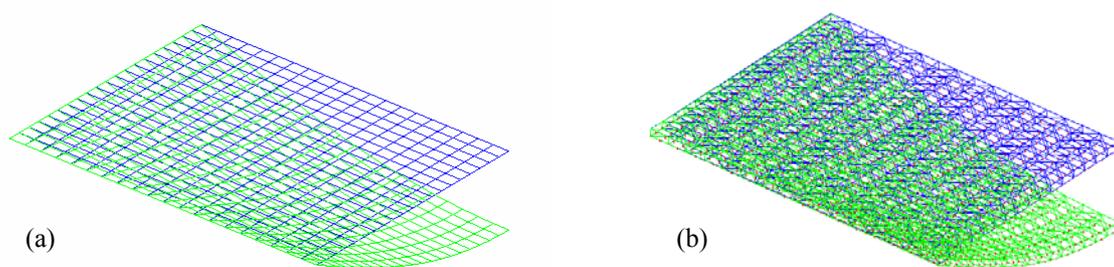


Figura 2. Malhas – (a) elemento de casca, (b) elemento tetraédrico.

Neste caso, para a determinação da deflexão máxima sofrida pela placa foi utilizada a relação de Levy (Timoshenko et al., 1959), representada pela Equação (1).

$$W_{\max} = (\alpha \cdot q \cdot a^4) \frac{12 \cdot (1 - \nu^2)}{E \cdot h^3} \quad (1)$$

onde o  $\alpha$  é um fator numérico que depende da razão  $b/a$ , que para o caso específico é igual a  $\alpha = 0,006603$ ;  $q$  é a pressão normal atuante na placa,  $q = 0,01$  MPa;  $a$  é o comprimento da placa,  $a = 1000$  mm;  $E$  é o módulo de Young,  $E = 200$  Gpa;  $\nu$  é coeficiente de Poisson,  $\nu = 0,3$  e  $h$  é a espessura da placa,  $h = 10$  mm.

Com base na Equação (1), a deflexão máxima assume um valor igual a  $W_{max} = 1,140719$ mm. Tal valor foi utilizado como referência da análise de convergência dos resultados das modelagens em elementos finitos usando o programa CASTEM e o comercial. Na Figura 3 são apresentados os resultados dessa análise de convergência. A título ilustrativo, na Figura 4 são apresentadas as deformadas obtidas com modelos contendo 2.646 graus de liberdade e na Figura 5 são apresentadas as tensões regularizada por nós na direção X para o elemento de casca obtidas com o mesmo modelo.

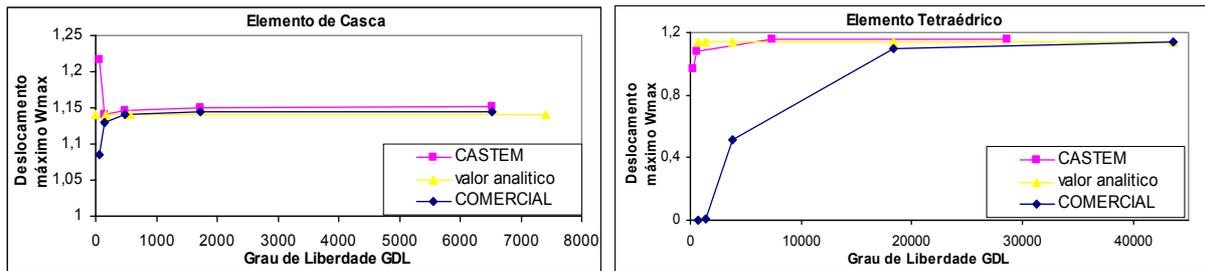


Figura 3. Gráfico grau de liberdade Vs deslocamento máximo.

Observando os resultados da análise de convergência pode-se verificar que, independentemente do programa utilizado os resultados obtidos utilizando-se elementos de casca convergem rapidamente para a solução analítica. Entretanto, os resultados obtidos com base em elementos tetraédricos estimados utilizando-se o programa comercial apresentam uma fraca convergência quando comparado com resultados obtidos com o CASTEM.

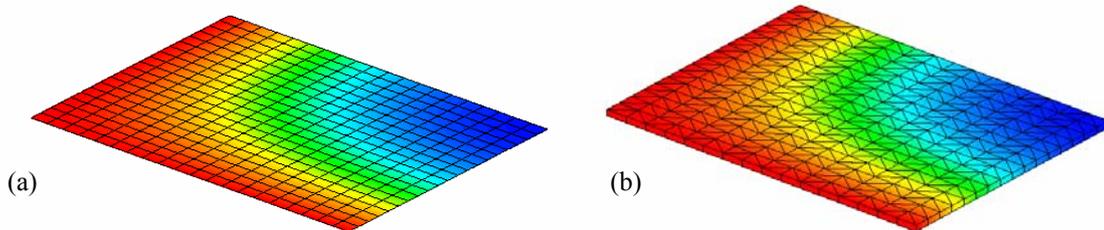


Figura 4. Deflexão Total – (a) elemento de casca, (b) elemento tetraédrico.

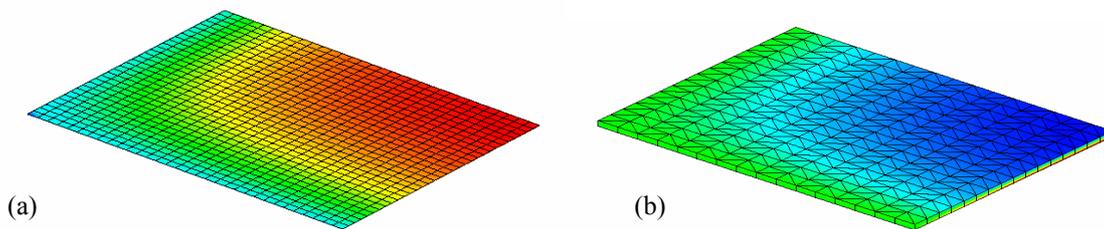


Figura 5. Tensão  $S_{xx}$  regularizada por nós – (a) elemento de casca, (b) elemento tetraédrico.

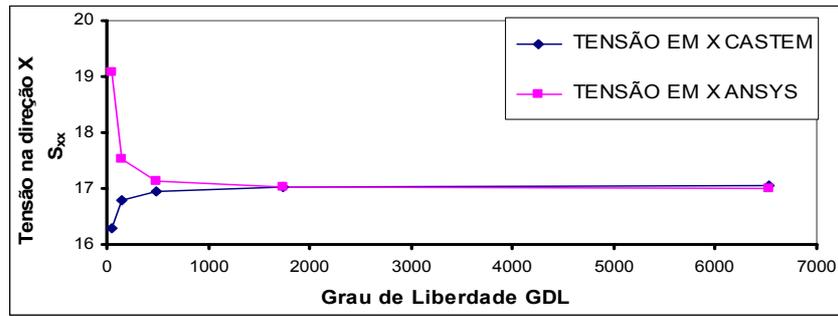


Figura 6. Gráfico de convergência da tensão regularizada por nós na direção X para o elemento de casca.

Na Figura 6 apresenta-se o gráfico de convergência para a tensão regularizada por nós na direção X para o elemento de casca. Analisando o gráfico percebe-se que os dois programas convergem rapidamente. Como a tensão na direção Y apresenta o mesmo comportamento que a tensão na direção X, as ilustrações e o gráfico de convergência foi omitido.

**Segundo caso:** Placa simétrica simplesmente apoiada com carregamento concentrado.

Na Figura 7 são representadas as configurações típicas das malhas geradas pelo CASTEM para este caso. As condições de contorno neste caso é igual a do primeiro caso mudando apenas o carregamento. Neste caso, o carregamento é concentrado no centro da placa P com valor de (0, 0, -2500) em Newton.

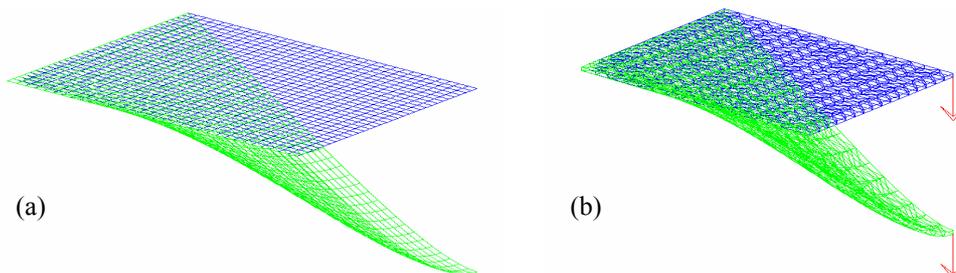


Figura 7. Malhas – (a) elemento de casca, (b) elemento tetraédrico.

Neste caso, para deflexão máxima sofrida pela placa foi considerado o método de Navier (Timoshenko et al., 1959), representada pela Equação (2):

$$W_{\max} = (\alpha \cdot P \cdot a^2) \frac{12 \cdot (1 - \nu^2)}{E \cdot h^3} \quad (2)$$

onde, P é o carregamento concentrado no centro da placa, P= 10000N;  $\alpha$  é um fator numérico que depende da razão b/a, que para o caso específico é igual a  $\alpha = 0,0144033$ ; a é o comprimento da placa, a = 1000 mm; E é o módulo de Young, E = 200 Gpa;  $\nu$  é coeficiente de Poisson,  $\nu = 0,3$  e h é a espessura da placa, h = 10 mm.

Substituindo os valores na Equação (2), a deflexão máxima assume um valor igual a  $W_{\max} = 4,4236\text{mm}$ . Tal valor foi utilizado como referência da análise de convergência dos resultados das modelagens em elementos finitos usando o programa CASTEM e o comercial. Na Figura 8 são apresentados os resultados dessa análise de convergência. A título ilustrativo, na Figura 9 são apresentadas as deformadas obtidas com modelos contendo 2.646 graus de liberdade e na Figura 10 são apresentadas às tensões na direção X para o elemento de casca obtida com o mesmo modelo.

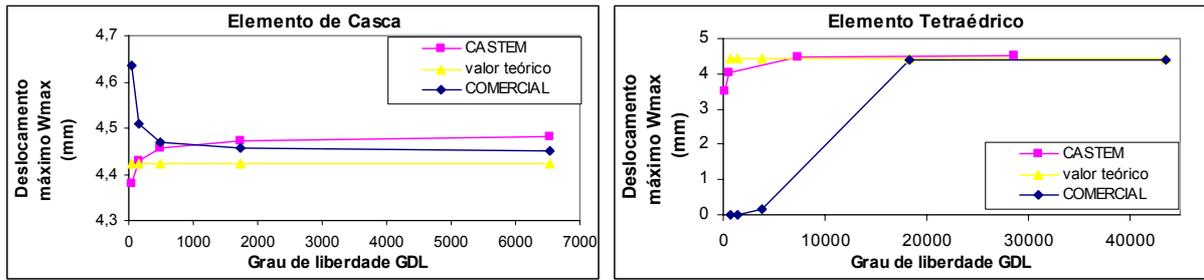


Figura 8. Gráfico grau de liberdade Vs deslocamento máximo.

Assim como visto no caso anterior, a análise de convergência também apresentou a rápida convergência dos elementos de casca. Os elementos tetraédricos estimados com o programa comercial apresentam uma fraca convergência quando comparado com resultados obtidos com o CASTEM.

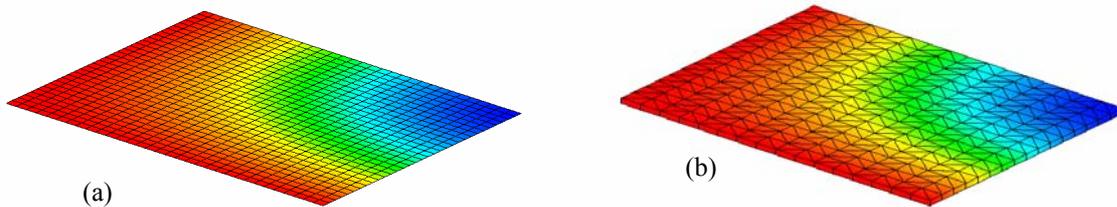


Figura 9. Deflexão Total – (a) elemento de casca, (b) elemento tetraédrico.

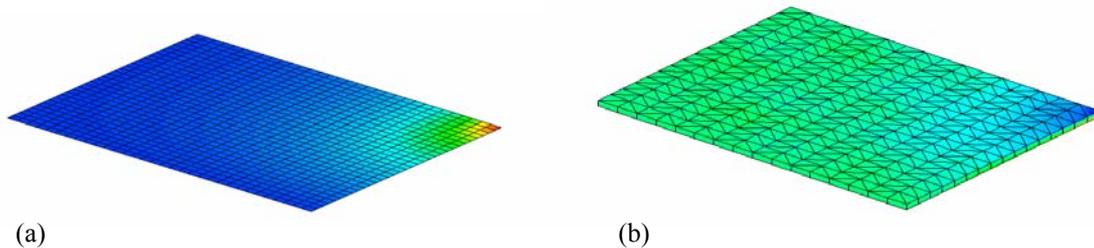


Figura 10. Tensão  $S_{xx}$  regularizada por nós – (a) elemento de casca, (b) elemento tetraédrico.

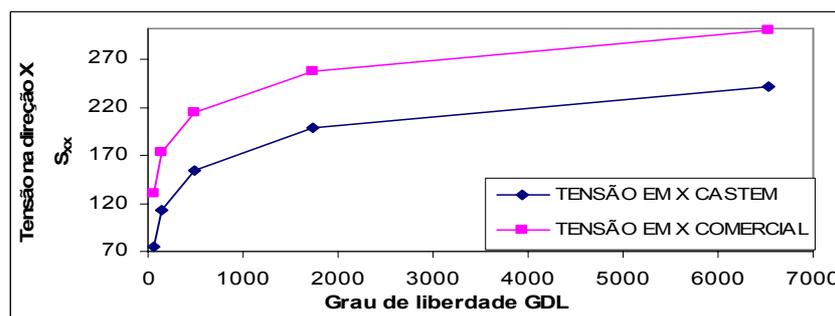


Figura 11. Gráfico de convergência para a tensão regularizada por nós na direção X para o elemento de casca.

Na Figura 11 apresenta-se o gráfico de convergência para a tensão regularizada por nós na direção X para o elemento de casca. Analisando o gráfico percebe-se que os dois programas apresentaram o mesmo comportamento e convergência para valores próximos. Como a tensão na direção Y apresenta o mesmo comportamento que a tensão na direção X, as ilustrações e os gráficos foram omitidos.

**Terceiro caso:** Placa simétrica simplesmente apoiada com carregamento distribuído.

Na Figura 12 são representadas as configurações típicas das malhas geradas pelo CASTEM para este caso. Devido à simetria do problema, utilizou-se somente  $\frac{1}{4}$  da placa e as condições de contorno usadas para o elemento de casca foram as seguintes: bloqueio de todos os deslocamentos e rotações na direção Z nas faces  $x = 0$  e  $y = 0$  e todos os deslocamentos e rotação no ponto da placa localizado na origem do sistema coordenado, bloqueou-se também o deslocamento em X e a rotação em Y em  $y = b/2$ , o deslocamento em Y e a rotação em X em  $x = a/2$  para garantir as condições iniciais. As condições de contorno para o elemento tridimensional foram às mesmas utilizadas no elemento de casca, porém em vez de serem aplicadas nas linhas foram aplicadas na superfície. O carregamento considerado nos dois casos foi uma pressão normal com valor de 0,01 MPa.

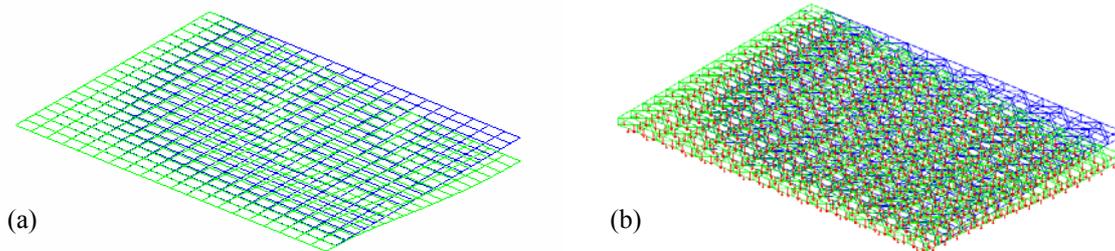


Figura 12. Malhas – (a) elemento de casca, (b) elemento tetraédrico.

Neste caso será considerado a mesma relação de Levy utilizada para o primeiro caso, representada pela Equação (1). Porém, o fator numérico para este caso é igual a  $\alpha = 0,00191533$ .

Substituindo os valores na Equação (1), a deflexão máxima assume um valor igual a  $W_{max} = 0,33089$  mm. Tal valor foi utilizado como referência da análise de convergência dos resultados das modelagens em elementos finitos usando o programa CASTEM e o comercial. Na Figura 13 são apresentados os resultados dessa análise de convergência. A título ilustrativo, na Fig. 14 são apresentadas as deformadas obtidas com modelos contendo 2.646 graus de liberdade e na Fig. 15 são apresentadas as tensões regularizadas por nós para a direção X com a mesma modelagem.

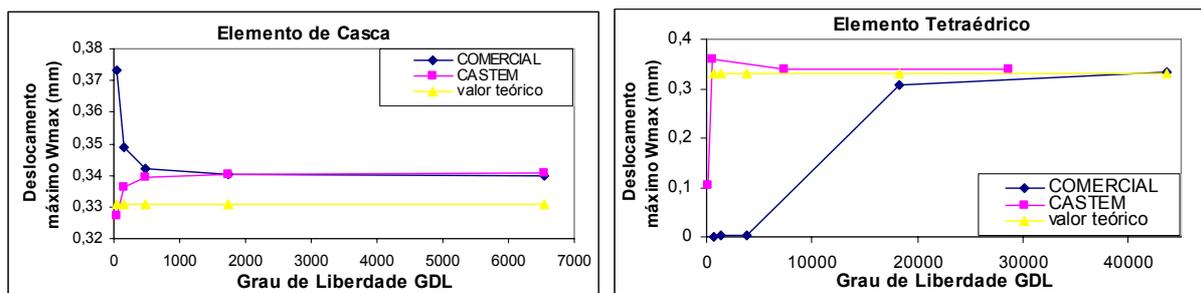


Figura 13. Gráfico grau de liberdade Vs deslocamento máxima.

Assim como nos casos anteriores, a análise de convergência apresenta rápida convergência dos elementos de casca e os elementos tetraédricos estimados com o programa comercial apresentam uma fraca convergência quando comparado com resultados obtidos com o CASTEM.

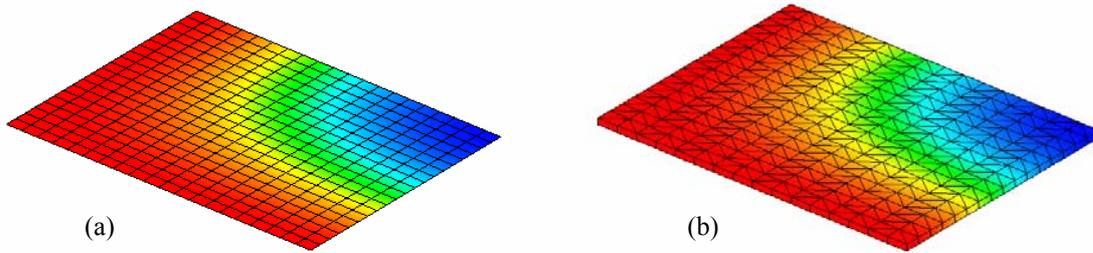


Figura 14. Deflexão Total – (a) elemento de casca, (b) elemento tetraédrico.

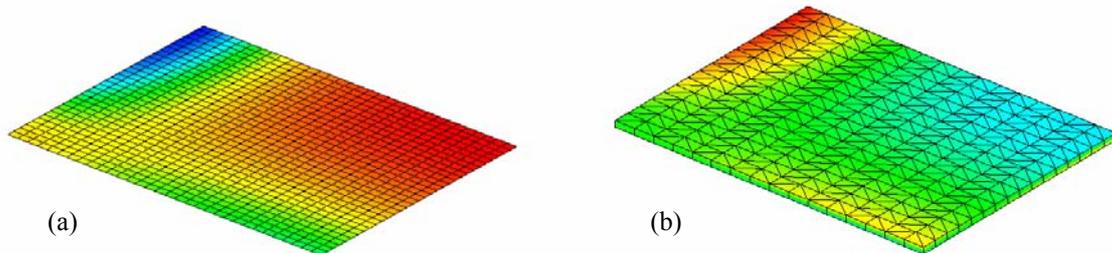


Figura 15. Tensão  $S_{xx}$  regularizada por nós – (a) elemento de casca, (b) elemento tetraédrico.

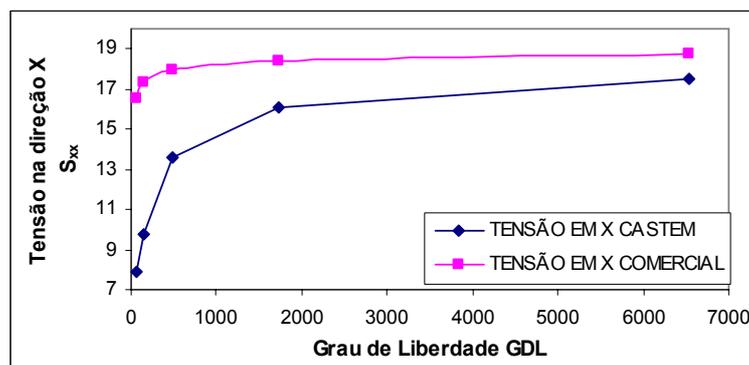


Figura 16. Gráfico de convergência para a tensão regularizada por nós na direção X para o elemento de casca.

Na Figura 16 apresenta-se o gráfico de convergência para a tensão regularizada por nós na direção X para o elemento de casca. Analisando o gráfico percebe-se que os dois programas convergem para valores próximos, porém o CASTEM convergiu mais rapidamente. Como a tensão na direção Y apresenta o mesmo comportamento que a tensão na direção X, as ilustrações e os gráficos foram omitidos.

**Quarto caso:** Placa simétrica engastada com carregamento concentrado no centro.

Na Figura 17 são representadas as configurações típicas das malhas geradas pelo CASTEM para este caso. Assim como no caso anterior, este caso também prevê a condição de placa engastada. Assim, as condições de contorno são as mesmas utilizadas para o terceiro caso. Porém, o carregamento considerado neste caso é um carregamento concentrado da placa com valor de (0, 0,-2500) em Newton.

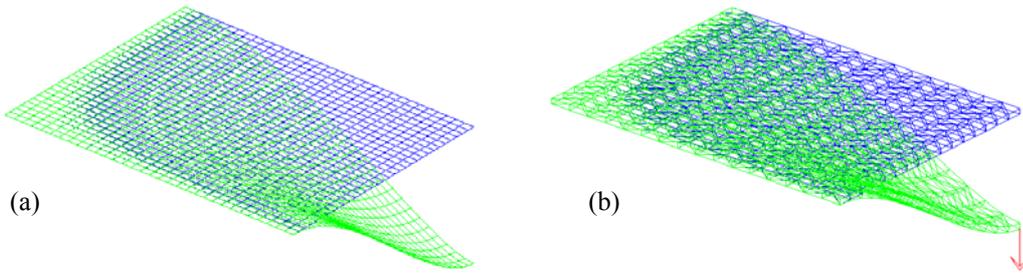


Figura 17. Malhas – (a) elemento de casca, (b) elemento tetraédrico.

Neste caso será considerado o mesmo método de Navier utilizado para o segundo caso, representado pela Equação (2). Porém, o fator numérico para este caso é igual a  $\alpha = 0,006528$ . Substituindo os valores na Equação (2), a deflexão máxima assume um valor igual a  $W_{max} = 2,00511$  mm. Tal valor foi utilizado como referência da análise de convergência dos resultados das modelagens em elementos finitos usando o programa CASTEM e o comercial. Na Figura 18 são apresentados os resultados dessa análise de convergência. A título ilustrativo, na Figura 19 são apresentadas as deformadas obtidas com modelos contendo 2.646 graus de liberdade e na Figura 20 são apresentadas as tensões regularizadas por nós para a direção X com a mesma modelagem.

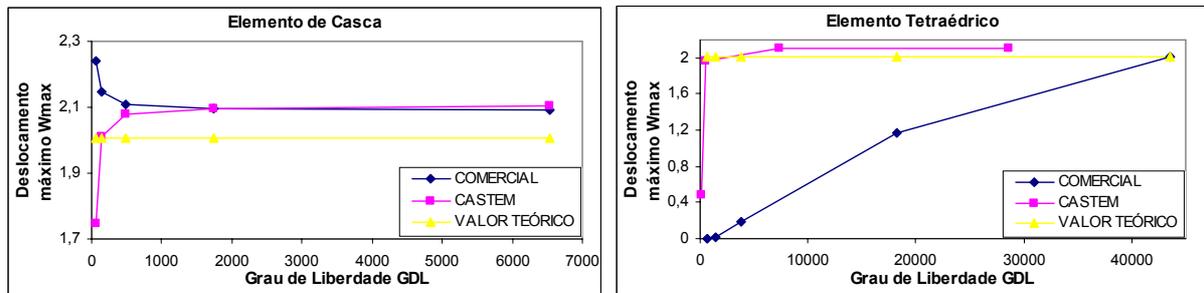


Figura 18. Gráfico grau de liberdade Vs deflexão máxima.

Assim como nos casos anteriores, a análise de convergência apresenta rápida convergência dos elementos de casca e os elementos tetraédricos estimados com o programa comercial apresentam uma fraca convergência quando comparado com resultados obtidos com o CASTEM.

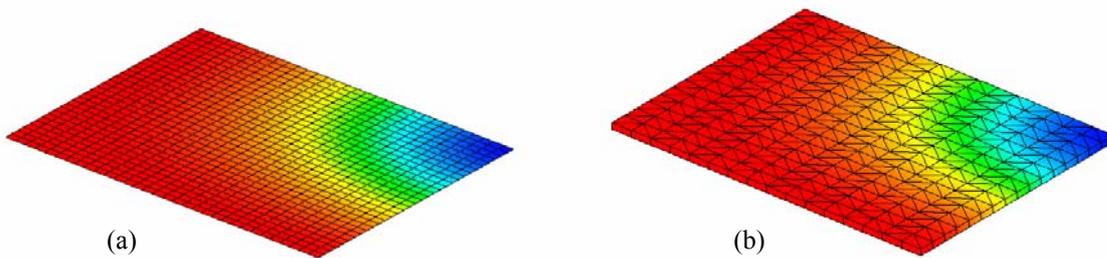


Figura 19. Deflexão Total – (a) elemento de casca, (b) elemento tetraédrico.

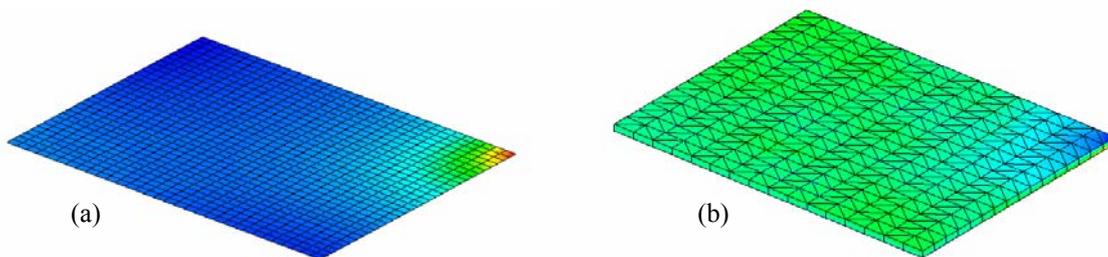


Figura 20. Tensão Sxx regularizada por nós – (a) elemento de casca, (b) elemento tetraédrico.

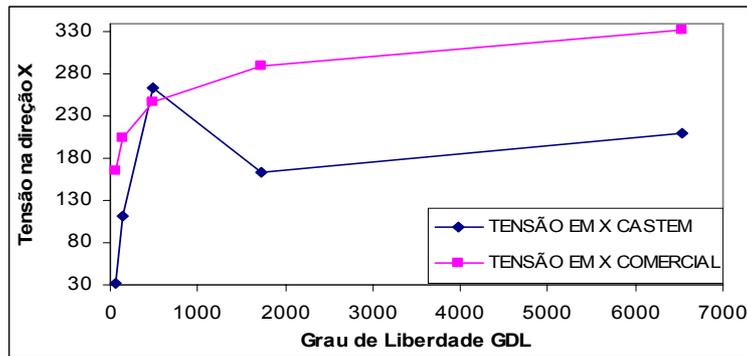


Figura 21. Gráfico de convergência para a tensão na direção X para o elemento de casca.

Na Figura 21 apresenta-se o gráfico de convergência para a tensão regularizada por nós na direção X para o elemento de casca. Analisando o gráfico percebe-se que o ponto com 486 graus de liberdade, utilizando o programa CASTEM, apresenta uma singularidade.

### Variação do tipo de elemento:

Todos os exemplos até aqui considerados utilizavam o elemento de casca e o elemento tetraédrico de 10 nós. Foram considerados outros elementos tridimensionais para verificar o comportamento destes elementos no programa CASTEM. Assim, considerou-se o primeiro caso variando apenas o tipo de elemento considerado. Como este caso é idêntica ao primeiro caso, a deflexão máxima analítica apresenta mesmo valor  $W_{max} = 1,140719$  mm. Na Figura 22 é apresentado uma análise de convergência do grau de liberdade pelo deslocamento máximo para os diferentes elementos tridimensionais.

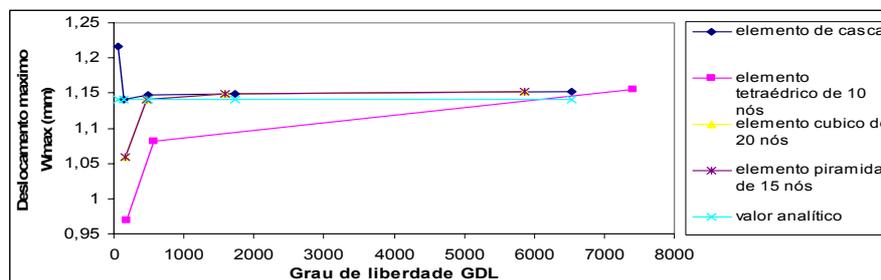


Figura 22. Gráfico GDL Vs deslocamento máximo para vários elementos tridimensionais.

Analisando a Figura 22 percebe-se que o elemento piramidal de 15 nós e o elemento cúbico de 20 nós, neste caso, apresentam rápida convergência quando comparados com o elemento tetraédrico de 10 nós. Para este caso, a utilização destes elementos tridimensionais pode ser utilizada, pois apesar do custo computacional é pequeno, pois as facilidades de construção do elemento tetraédrico em relação ao elemento de casca compensam tal perda de processamento.

### 3. CONCLUSÃO

Este trabalho mostrou a eficácia do programa CASTEM 2000 na análise de tensões utilizando o método dos elementos finitos. Com isso, pode-se perceber que o programa é completo, ou seja, possui tanto funções para construção do modelamento como funções para visualização dos resultados. Além disso, mostrou-se a grande flexibilidade do programa onde o usuário descreve uma seqüência de comandos em um arquivo a ser executado. Para criação deste arquivo o usuário deve entender como uma análise de elementos finitos é estruturada. Sendo assim, uma ótima ferramenta para auxiliar no ensino de disciplinas de mecânica dos sólidos. Além de todas as funcionalidades do programa apresentadas, este programa se destaca ainda por ser gratuito para uso de ensino de engenharia. A grande desvantagem deste programa é a carência de bibliografia.

### 3. AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores Jorge, Dianne e Edgar pela confiança depositada no meu trabalho e, principalmente, por todo ensinamento transmitido. Agradeço ainda, meus pais e amigos que sempre estiveram ao meu lado nos momentos difíceis dando todo apoio.

### 4. REFERÊNCIAS

- ZIENKIEWICZ, O.C. & TAYLOR, R.L., The Finite element Method, vol. 2, Solid and Fluid Mechanics Dynamics and Non-linearity, 4th ed, McGraw-Hill, Londres, 1991.
- HUGHES, T. J. R., The finite element method: linear static and dynamic finite element analysis, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1987.
- HUGHES, T. J. R., e LIU, W. K., Nonlinear finite element analysis of shells: Part I. Three-dimensional shells, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 26, p.p. 331-362, 1981.
- TIMOSHENKO, S. e WOINOWSKY-KRIEGER, S., “Theory of plates and shells”, McGraw-Hill, New York, 1959.
- REICHNER, P., Wear induced profiles of brushes on eccentric rotors, Wear, pp.207-217, 1982.
- CASTEM 2000, User Guide, 1993.

## USE OF PROGRAM CASTEM IN THE EDUCATION OF MECHANICS OF SOLIDS

**Thiago Martins D'Albuquerque**

Universidade de Brasília  
tdalbuquerque@hotmail.com

**Dianne Magalhães Viana**

diannemv@unb.br

***Abstract.** The CASTEM is a computer code for structure analysis by the finite element method. This code was originally developed by the “Département des Etudes Mécaniques et Thermiques (DEMT)” (Department of Mechanical and Thermal Research) of the French “Commissariat à l’Energie Atomique (CEA) (Nuclear Energy Agency, equivalent to the British AEA). This software offers a complete system for the model construction (preprocessor) and result processing (postprocessor). Otherwise the CASTEM is more flexible program and free use, it is necessary a complex documentation of use to disseminate this using for teaching of engineer. The user needs to describe a sequence of commands to execute the dates and, for that, it is important understanding how to use the analyzing method of finite elements is structured. It’s program can be used with no costs in academic work to develop teaching and researches. The principal point of this article is to present the analyzing process of strain through CASTEM program and to demonstrate the use of this complex software to study cases that can be applied on teaching Mechanics of solids.*

***Keywords.** CASTEM, Analysis of Tensions, Finite Elements.*