

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
CURSO DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

COMPUTER AIDED ENGINEERING - CAE

FABIANO RAMOS DOS SANTOS
SERGIO DA COSTA FERREIRA
JOELSON PIAIA

PROFESSOR MARCELO DA SILVA HOUNSELL

Automação Industrial

Joinville

2004

1. INTRODUÇÃO

Em determinada fase do processo de pesquisa e desenvolvimento de um novo produto, o engenheiro depara-se com a necessidade de prever o comportamento real de seu projeto. Encontramos esta situação quando projetamos uma nova suspensão de veículo, um quadro de bicicleta, uma estrutura metálica sujeita a cargas dinâmicas, e em muitos outros casos.

Uma solução tradicional seria a construção de protótipos ou modelos reduzidos para ensaios em laboratórios, onde instrumentos de medição estrategicamente distribuídos coletariam dados de tensões, deformações, velocidades, forças, etc. Entretanto, a metodologia de construção e ensaio de diversos protótipos costuma consumir mais tempo e recursos do que seria o desejável, não sendo, portanto, a solução ideal. A tecnologia de CAE mudou radicalmente este cenário, pois tal ferramenta permite a realização de uma grande quantidade de cálculos em tempo reduzido. O atual estágio de desenvolvimento tecnológico já permite que softwares simulem situações físicas reais de maneira bastante completa, resultando em verdadeiros protótipos virtuais. Ficando o projetista liberado do trabalho braçal, concentrando-se na atividade de projetar com mais criatividade.

A simulação computacional de um modelo permite a avaliação de um maior número de variações do projeto, com custos e prazos menores - reduzindo a necessidade de construção de protótipos.

2. CONCEITO DE CAE

Computer Aided Engineering ou Engenharia Assistida por Computador é uma ferramenta de trabalho que utiliza o computador para dar suporte à engenharia, auxiliando no desenvolvimento de projetos, por meio de análises pré-definidas, tais como: análises estáticas, dinâmicas, térmicas, magnéticas, de fluidos, acústicas, de impacto e simulações (TEKNICAL). A essência do CAE é o método de Análise por Elementos Finitos (FEA), o qual discretiza o desenho de CAD em muitas partes pequenas, resolvendo então um conjunto de equações algébricas para obter os resultados desejados em função do carregamento e das condições de contorno. Os softwares de CAE baseados em análise por elementos finitos (FEA) são largamente utilizados para o cálculo de tensões, deslocamentos, vibração, transferência de calor, escoamento de fluidos, instalações industriais e outras aplicações.

3. CONCEITO DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

O método de elementos finitos fornece uma técnica geral para a resolução de problemas de equações diferenciais parciais. Sua idéia principal é que as funções de interpolação podem ser definidas de maneira independente sobre as sub-regiões do domínio e que, em cada subdomínio, podem aparecer funções simples, geralmente polinomiais de baixa ordem.

De maneira geral, pode-se dizer que a idéia central do método de elementos finitos é subdividir o domínio em pequenas regiões finitas e adjacentes chamadas elementos finitos. O comportamento da grandeza física é aproximado por um polinômio, preferencialmente de baixa ordem. Em cada elemento, são identificados pontos chamados de nós ou pontos nodais. O conjunto de elementos que formam o domínio é chamado de malha de elementos finitos (Figura 1). São resolvidas as equações para cada elemento, para depois se conseguir uma solução geral do problema.

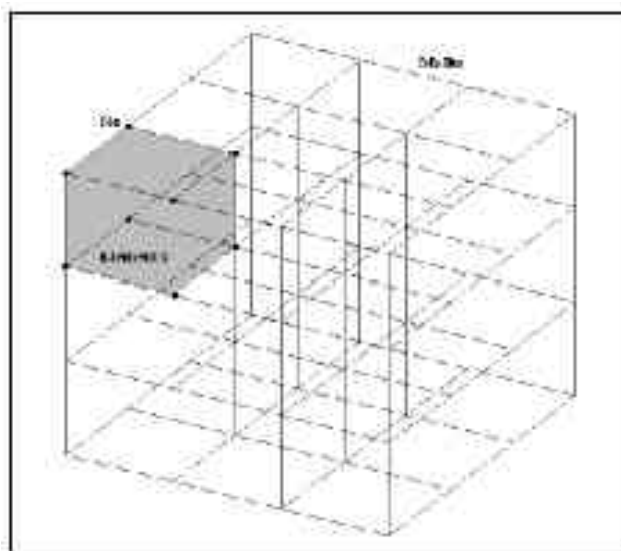


Figura 1: Elementos Finitos / malha / nós

4. ETAPAS DE UTILIZAÇÃO DE SOFTWARE DE CAE

4.1. PRÉ-PROCESSAMENTO

É a etapa onde se prepara o problema que será solucionado. Modelar-se o fenômeno, introduzem-se condições iniciais e de contorno, carregamentos, escolhe-se os elementos, propriedades dos materiais e são feitas simplificações que venham a facilitar a análise sem influir negativamente nos resultados. Esta etapa subdivide-se em:

4.1.1. Discretização do modelo

O modelo ou contínuo é subdividido em um número equivalente de elementos finitos (figura 2), os quais podem ser triângulos ou quadriláteros para problemas em duas dimensões ou tetraedros e hexaedros para três dimensões. Os elementos possuem nós, os quais podem ser internos ou externos, isto é, pertencem ao interior do elemento ou estão localizados nas arestas do mesmo. Assume-se que estes elementos são interligados entre si por nós localizados no contorno dos mesmos (os deslocamentos destes nós são as incógnitas básicas do problema). O processo de discretização do contínuo depende primordialmente do julgamento e do conhecimento do engenheiro.

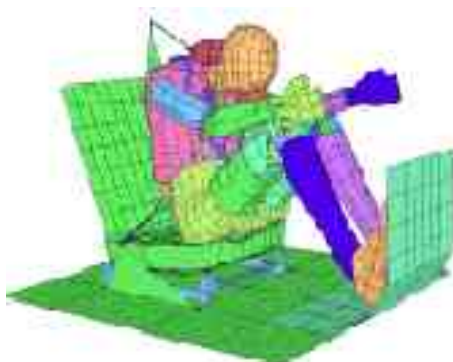


Figura 2 – Modelo (contínuo) discretizado por elementos finitos.

4.1.2. Seleção das funções de interpolação

De acordo com o tipo de elemento escolhido na primeira etapa, existem funções de interpolação ou deslocamento associadas classicamente aceitas. Portanto, não é preciso determiná-las para cada problema. As funções assumidas representam aproximadamente a distribuição exata ou real dos deslocamentos. Geralmente, a forma adotada para as funções de interpolação é a polinomial, pela simplicidade de manipulação matemática. Existem três fatores inter-relacionados que influenciam a seleção da função de interpolação: escolha do tipo e do grau da função (como normalmente o tipo adotado é o polinomial, apenas o grau deve ser escolhido), o tipo das variáveis de campo que descrevem o modelo (normalmente, os deslocamentos nos nós ou suas derivadas) e, finalmente, o modelo deve satisfazer certos requisitos que garantam que o resultado numérico se aproxime da solução correta.

4.2. SOLUÇÃO (OU PROCESSAMENTO)

Esta etapa depende da configuração do modelo na etapa anterior. A solução baseia-se num algoritmo numérico que objetiva solucionar eficientemente uma equação diferencial com todas as restrições (condições) impostas ao modelo na primeira etapa. Esta etapa subdivide-se em:

4.2.1. Obtenção da matriz de rigidez elementar

A matriz de rigidez é constituída pelos coeficientes das equações de equilíbrio derivadas das propriedades geométricas do material de um elemento e pode ser obtida pelo uso do princípio da mínima energia potencial. A rigidez relaciona os deslocamentos modais às forças aplicadas nos nós. A relação de equilíbrio entre a matriz de rigidez $[k]$, o vetor força modal $\{F\}$ e o vetor deslocamento nodal $\{u\}$ é expressa como um conjunto de equações algébricas lineares simultâneas, $\{F\} = [k]\{u\}$. A matriz de rigidez para um elemento depende da função de interpolação, da geometria do elemento e das propriedades locais do material, selecionadas na etapa anterior.

4.2.2. Montagem das equações algébricas para todo o domínio

Inclui a montagem da matriz de rigidez global para todo o modelo a partir das matrizes de rigidez elementares e do vetor força global a partir dos vetores força elementares. A base para um método de montagem é a exigência das interconexões nodais. Os deslocamentos em um nó devem ser os mesmos para todos os elementos adjacentes.

4.2.3. Soluções para os deslocamentos desconhecidos

As equações algébricas montadas no passo anterior são resolvidas para os deslocamentos desconhecidos. Em problemas lineares, esta é uma aplicação relativamente direta das técnicas de álgebra matricial. Entretanto, para problemas não-lineares, as soluções desejadas são obtidas por uma seqüência de passos, cada qual envolvendo a modificação da matriz de rigidez e/ou do vetor força.

4.2.4. Cálculo das deformações e tensões elementares a partir dos deslocamentos nodais

Em certos casos (deformação de corpos elásticos), os deslocamentos nodais são as variáveis em estudo para a solução. Muitas vezes, entretanto, outras quantidades derivadas das variáveis desconhecidas, tais como tensões e deformações, devem ser calculadas. Em geral, tensão e deformação são proporcionais às derivadas dos deslocamentos.

4.3. PÓS-PROCESSAMENTO

Depende somente das necessidades do engenheiro que está modelando o problema. Pode fornecer dados como:

- Deslocamentos nodais;
- Deformações da geometria;
- Gradientes de tensão de acordo com o critério de resistência escolhido;
- Gradientes de temperatura;
- Deslocamentos nodais ao longo do tempo;
- Frequências naturais e modos de vibrar da estrutura.

5. VANTAGENS E DESVANTAGENS

5.1. VANTAGENS

- **Maior eficiência**, pois os cálculos e análises são rapidamente feitos por métodos numérico-computacionais.
- **Menor Custo**, a simulação de protótipos virtuais é muito mais barata em relação a um protótipo real.
- **Engenharia Preditiva**, “A utilização de uma abordagem de engenharia preditiva ataca problemas já no ciclo de projeto, reduzindo o número de correções de alto custo, na fase de implementação.”
- **Aprimoramento do Produto**, as simulações virtuais permitem rapidamente avaliar o desempenho do projeto com o meio em que irá atuar.
- **Reutilização**, tanto cálculos como desenhos de partes do projeto podem ser reaproveitadas em novos projetos aumentando a velocidade do design.
- **Rápida Alteração**, as alterações podem ser testadas imediatamente, sem a necessidade de construção de protótipos a cada alteração do projeto.

5.2. DESVANTAGENS

- **Custo de implantação**, o alto custo das ferramentas e também dos equipamentos necessários para a utilização dessas ferramentas tende a ser muito elevado.
- **Requer grande variedade de produtos ou produtos sofisticados**, para justificar a aquisição e ter o retorno financeiro esperado, é necessário que a empresa trabalhe com grande variedade de produtos ou com produtos sofisticados e caros.
- **Poucos profissionais na área**, com a falta de profissionais na área é necessário que além de um investimento na ferramenta, seja feito um investimento no treinamento de profissionais.

- **Necessita de mão de obra especializada**, os sistemas de CAE não apontam problemas ou soluções, eles realizam cálculos e simulações e os resultados precisam ser interpretados por um especialista.

6. TIPOS DE PROBLEMAS

- **Nem sempre é possível realizar todas as simulações** necessárias para assegurar a qualidade dos produtos, em alguns casos pode ser necessário o protótipo físico.
- **Compatibilidade**, pode ser enfrentados problemas de integração com outras ferramentas como por exemplo CAM.
- **A solução pode ser lenta**, dependendo do problema analisado e do equipamento utilizado, o tempo de processamento pode ser muito grande.

7. CONCLUSÃO

A tecnologia de CAE reúne em um único sistema a análises de tensões por elementos finitos, a análise cinemática e a análise dinâmica de corpos rígidos/flexíveis. Temos assim um sistema de simulação computacional permitindo que uma série de protótipos e ensaios de laboratórios sejam substituídos por simulações virtuais. O engenheiro testará um maior número de alternativas de projeto, com custos reduzidos e menos tempo, resultando em uma maior competitividade geral para a empresa.

8. BIBLIOGRAFIA

- **XAVIER, Ademir L. Jr . Computer Assisted Engineering - Fundamentos e perspectivas da Engenharia Assistida Por computador.**
<http://www.cptec.br/stm/teceduc/CAEaula/caeindx2.html>, 14 set. 2004. (internet)
- **WESTIN, Michelle Fernandino e RIBEIRO, Rafael Teixeira da Silva. Método Dos Elementos Finitos Na Simulação De Tensão E Elasticidade Em Placas.**
www.mat.ufmg.br/~gaal/aplicacoes/elementos_finitos.pdf, 13 set. 2004. (internet)
- **MOTTA, Gastão Dias. Comparativo de Tecnologias CAE: Simulação de Eventos Mecânicos x Análise Estática Linear de Tensões.**
http://www.cae.com.br/materia_6.htm, 12 set. 2004 (internet).
- **TEKNIKAL**, <http://www.teknikal.hpg.ig.com.br/cae.html>, 14 set. 2004 (internet)
- **GARCIA, Fabiano Luiz Santos. Visualização de problemas eletromagnéticos 3D baseados em MEF utilizando VRML.**
www.lrv.eps.ufsc.br/recursos/artigos/SRV2001_VRML_2.pdf, 15 set. 2004 (internet)
- **PCE ENGENHARIA. Simulação Computacional.**
http://www.pce.com.br/intro_fea.htm, 15 set. 2004. (internet)