

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA**

HOMERO MARAK SILVEIRA

**Contribuição à métrica computacional para avaliação
de transferência de dados via ISO 10303 – STEP**

São Paulo

2005

HOMERO MARAK SILVEIRA

note final
(6,0 sis)
HOM

**Contribuição à métrica computacional para avaliação
de transferência de dados via ISO 10303 – STEP**

45-6

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Mecatrônica e Sistemas
Mecânicos da Universidade de São Paulo
para obtenção da graduação no curso de
Engenharia Mecatrônica.

Área de concentração: Sistemas de
Automação

Orientador: Prof. Dr. Edson Gomes

São Paulo

2005

News
757

HOMERO MARAK SILVEIRA

Contribuição à métrica computacional para avaliação
de transferência de dados via ISO 10303 – STEP

TF.05
S: 39c

DEDALUS - Acervo - EPMN



31600011879

1505246

FICHA CATALOGRÁFICA

Silveira, Homero Marak

**Contribuição à métrica computacional para avaliação de
transferência de dados via ISO 10303 – STEP / H.M. Silveira. –
São Paulo, 2005.**

53 p.

**Trabalho de Formatura – Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e
Sistemas Mecânicos.**

**1.CAD/CAM 2.Garantia de qualidade I.Universidade de São
Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e Sistemas
Mecânicos.**

Resumo

Este trabalho tem como objetivo a construção de uma métrica para avaliação de consistência da intercambialidade da transferência de dados entre sistemas CAD e FEA.

A ISO propôs a norma ISO 10303 – STEP para melhorar a consistência nas transferências de dados entre diversos aplicativos como CAD, FEA, CAT, CAM tendo o objetivo de melhorar a intercambialidade de dados entre sistemas computacionais, eliminando problemas que ocorrem na prática, levando a custos em torno de 500 mil dólares, mesmo com a utilização do ANSI-IGES. Nem todas implementações IGES são consistentes e isso se verifica na prática.

A construção da métrica foi baseada em propriedades de invariantes matriciais como matriz de rigidez K , matriz de inércia de massa M e matriz de amortecimento viscoso C , que surgem na formulação do método dos elementos finitos.

A métrica consiste na avaliação de desvio quadrático entre valores de invariantes matriciais obtidos de K e M de modo que os mesmos sejam mínimos.

Pode se constatar que o terceiro invariante é uma métrica diretamente relacionada com as leis da dinâmica e mostra ser a melhor métrica para avaliar desvios na intercambialidade de dados entre CAD e FEA.

Abstract

This work has as objective the construction of a metric for evaluation of consistency of interchangeability of transference of data between systems CAD and FEA.

ISO considered norm ISO 10303 - STEP to improve the consistency in transferences of diverse data between applicatory as CAD, FEA, CAT, CAM having the objective to improve interchangeability of data between computational systems, eliminating problems that occur, taking costs around 500 thousand dollars, even with the use of the ANSI-IGES. Not all implementations IGES are consistent and this is verified in real examples .

The construction of the metric was based on invariants of stiffness matrix K , mass matrix M and viscous damping matrix C , that appear in the formularization of the finite elements method. The metric consists of quadratic shunting line evaluation between values of matrical invariants of K and M in way that the same ones are minimum.

It can be verified that the third invariant is a metric directly related with dynamic's laws and shows to be the best metric to evaluate shunting lines in the interchangeability of data between CAD and FEA.

Lista de ilustrações

Figura 1.1 Transferência de dados utilizando tradutores diretos.....	12
Figura 1.2 Transferência de dados utilizando formato neutro	13
Figura 1.3 STEP VS IGES	16
Figura 1.4 Interconectividade da informação.....	23
Figura 1.5 Problema dos quatro ou mais.....	24
Figura 1.6 Arquivo.stp	26
Figura 1.7 Arquivo.igs.....	27

Lista de tabelas

Tabela 1 Comparação entre tradução direta e arquivo neutro....13

Lista de siglas

ANSI	American National Standards Institute
AP	Application Protocol
ASME	American Society of Mechanical Engineers
CAD	Computer-Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer-Aided Manufacturing
CAX	Generic term for Design, Engineering and Manufacturing
DFX	Drawing Exchange File
FEA	Finite Element Analysis
IGES	Initial Graphics Exchange Specification
ISO	International Standardization Organization
SET	Standard D'Exchange et de Transfert
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data
VDA-FS	Verband Der Automobilindustrie-Flachen-Schnittstella

Sumário

1.	Introdução	9
2.1	Histórico	12
2.2	STEP X IGES	15
2.3	Casos de Sucesso.....	17
2.4	STEP Atualmente	19
2.5	Problemas do STEP.....	20
2.6	Futuro do STEP	21
3	Integração do ciclo de vida do produto.....	22
4	Metodologia utilizada para a transferência de dados	25
5	Resultados da transferência	26
6	Método dos elementos finitos	28
7	Matriz de Rigidez	32
8	Conclusão	48
9	STEP on a Page.....	49
10	Referências.....	52
	ANEXO.....	54

1. Introdução

Através da análise de elementos finitos fazemos a simulação de problemas multifísicos presentes na área de engenharia mecânica para determinação da dinâmica de sistemas complexos de componentes mecânicos, como por exemplo: aviões, veículos, navios, máquinas em geral e estruturas dinâmicas. Alguns exemplos de programas para análise de elementos finitos são: Ansys, Nastran, Ábacus, Algor, Adina.

Em geral, esses programas recebem dados de CADs via IGEs e após simulação e avaliação deve devolver formato IGEs para otimização via CAD. Nessa transferência detectamos problema de inconsistência nas transferências detectadas na prática levando a análises incorretas.

A ISO propôs a norma ISO 10303 – STEP para melhorar a consistência nas transferências de dados entre diversos aplicativos como CAD, FEA, CAT, CAM tendo o objetivo de melhorar a intercambiabilidade de dados entre sistemas computacionais.

A ISO com proposta do STEP objetiva eliminar problemas que ocorrem na prática levando a custos em torno de 500 mil dólares, mesmo com a utilização do ANSI-IGES.

Nem todas as implementações IGES são consistentes e isso se verifica na prática.

É objetivo desse trabalho construir uma métrica baseada em propriedades de invariantes matriciais como matriz de rigidez K , matriz de inércia de massa M e matriz de amortecimento viscoso C , que surgem na formulação do método dos elementos finitos.

A importância da eficiência do intercâmbio de informações entre os bancos de dados durante todo o desenvolvimento de um produto para a engenharia simultânea fica evidente se observarmos que a globalização propiciou a terceirização nos diversos setores da indústria na cadeia de desenvolvimento do produto tornando imprescindível que a troca de informações entre as indústrias parceiras se dessem de forma eficiente.

Entretanto encontramos dificuldades nesse intercâmbio de informações, pois é grande a variedade de formas de representação de entidades de desenho (linhas, circunferências e elementos sólidos) e propriedades do desenho (massa e rigidez) em ambientes CAD/CAM, além de outros complicadores como a complexidade dos sistemas, a diversidade de requisitos das empresas, restrições de acesso e o rápido avanço tecnológico.

A intercambialidade de informação com alta qualidade torna-se cada vez mais essencial, tendo em vista a enorme quantidade de softwares CAD/CAM que surgem no mercado a cada dia e a alta complexidade dos modelos. Uma das soluções encontrada pela indústria nos dias atuais para resolver esse problema se resume à reconstrução completa dos modelos com dados perdidos, que apresenta custos realmente expressivos. Através de pesquisas e estudos de caso, estima-se que nas indústrias estudadas a completa implementação do STEP resultaria numa economia de 928 milhões de dólares por ano. Mais da metade dessa economia seria observado nas indústrias automotivas e aeroespaciais.

A transferência de dados entre os ambientes CAD/CAM pode ocorrer de duas maneiras: a direta e a indireta. A conversão direta, como o próprio nome já diz, resume-se em converter os dados de um desenho de um ambiente para outro em uma única etapa, contudo isso requer tradutores específicos para cada tipo de conversão, e são necessários dois deles para transferir dados entre dois sistemas (um em cada direção). A conversão indireta é mais genérica e consiste em criar uma estrutura de banco de dados neutra e independente de qualquer sistema. Esta estrutura atua como intermediário na comunicação entre diferentes estruturas de dados envolvidas. Nesta solução são necessários dois tradutores indiretos para transferir dados entre cada sistema e o formato neutro.

A grande desvantagem que torna o método direto inviável para a sua normalização, é que o número de tradutores aumenta com o aumento do número de software de CAD.

Do custo elevado da tradução direta surgiram os arquivos neutros, como o IGES, como forma de reduzir os números de tradutores.

A aplicação dos arquivos neutros limita para dois o número de algoritmos tradutores, um que escreve e outro que lê o arquivo neutro.

Porém o foco continuava sendo a transferência apenas entre desenhos CAD, persistindo, portanto os erros nas conversões entre os sistemas CAx.

Embora possam ocorrer vários problemas, o padrão de transferência de dados é a melhor solução para integrar sistemas CAD/CAM para o desenvolvimento do produto em toda sua cadeia produtiva. Com esse objetivo a norma internacional para transferência de dados nos diversos ambientes CAD/CAM/CAE está sendo adotada como sendo ISO 10303 STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data).

2.1 Histórico

As primeiras soluções encontradas consistiam em tradutores específicos para cada formato. Os dados geométricos de um determinado formato eram convertidos para um formato aceito por outro aplicativo. O grande problema dessa solução é que devido a enorme quantidade de sistemas CAD essa solução se tornaria inviável uma vez que existem N programas existentes e que necessitariam de $(N-1)$ algoritmos tradutores, resultando em um total de $N(N-1)$ tradutores necessários para que todos os sistemas fossem abrangidos e o custo para a empresa adquirir um tradutor é da ordem de US\$ 500.000. Além disso, deve se levar em conta o custo das atualizações periódicas desses tradutores que elevariam ainda mais os custos em longo prazo.

Embora a solução com arquivos neutros exijam um longo tempo de desenvolvimento, e possam não considerar algumas características alguns programas existentes devido a sua grande diversidade, revela-se a solução mais adequada, pois conduz a uma possível padronização.

Figura 1.1 Transferência de dados utilizando tradutores diretos

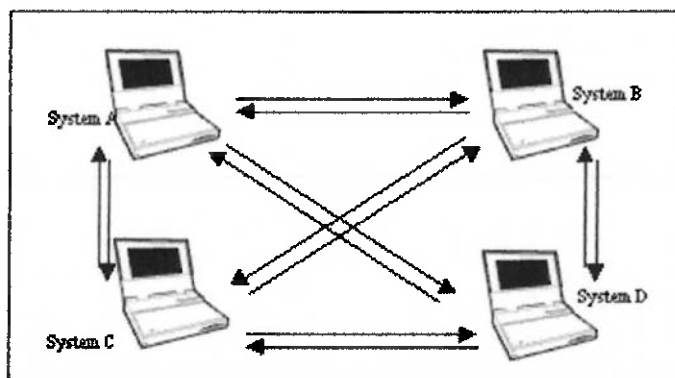
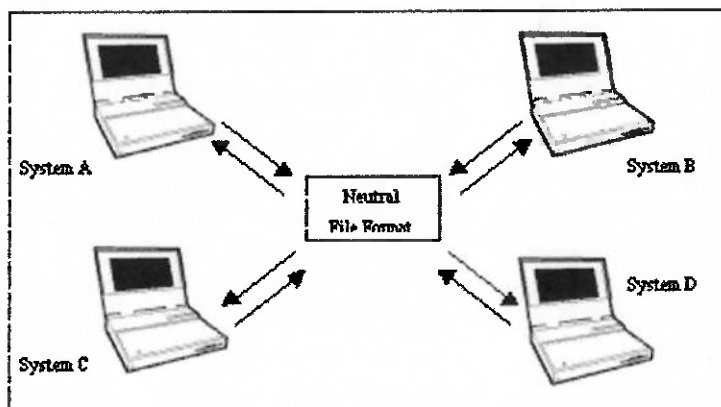


Figura 1.2 Transferência de dados utilizando formato neutro



Critério de comparação	Tradução direta	Arquivo Neutro
Direito de uso formato	Arquivo privado	Arquivo público
Número de tradutores	$N(N-1)/2$	$2N$
Número de traduções	Uma	Duas traduções
Atualização do sistema	Todos tradutores dos sistemas relacionados devem ser atualizados	Um tradutor de leitura e um de escrita devem ser implementados
Custo	Mais custosa	-

Tabela 1 – Comparação Tradução Direta por Arquivo Neutro

Antes da introdução do STEP diversos esforços nesse sentido foram realizados recebendo aprovações formais. Um modelo informal amplamente utilizado na indústria é o DXF, desenvolvido pela Autodesk que propicia a transferência de desenhos CAD. Entretanto existem outros formatos que discutiremos a seguir.

Os esforços para definir um padrão formal para a transferência de dados do produto começaram em 1979 com o desenvolvimento de IGES. O desenvolvimento de IGES foi baseado no conceito de usar um formato neutro para as traduções. O padrão inicial de IGES foi lançado em janeiro de 1980. Porém existiam problemas tais como o escopo limitado (CAD somente), a exatidão, e a inabilitye certificar ou fornecer uma verificação para assegurar execuções consistentes.

Estes problemas fizeram surgir grandes esforços de pesquisa da NASA, força aérea, exército e marinha americana, que começaram a corrigir tais deficiências. À medida que melhorava, o uso do IGES foi adotado por várias indústrias ao redor do mundo para solucionar o problema de transferência de dados, e em 1981 ele se tornou padrão ANSI (American National Standards Institute). Está sendo revisada atualmente a versão 6. A versão 6 provável será a última versão do IGES. O foco agora é o STEP devido à sua maior abrangência.

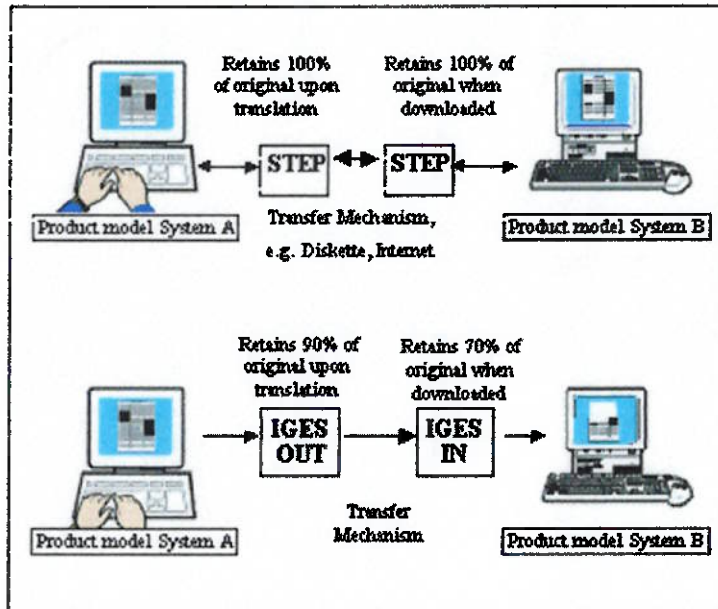
O SET era um esforço francês criar um padrão para transferir dados do CAD. Estes esforços foram dirigidos pela indústria francesa, uma das mais notáveis indústrias automobilísticas e aeroespaciais do mundo. O SET, como IGES nos Estados Unidos transformou-se em um padrão nacional francês. No reconhecimento da necessidade para um único padrão internacional da transferência de dados, os esforços franceses são focados agora no desenvolvimento do STEP.

O desenvolvimento do padrão de VDA-FS foi um esforço alemão em resposta às exigências da transferência de dados de sua indústria automobilística na década de 80. VDA focou em definir um padrão que permitisse transferir dados surface e shell. Os alemães agora estão dirigindo também seus esforços no desenvolvimento dos padrões da transferência de dados STEP

2.2 STEP X IGES

O IGES foi o primeiro esforço na transferência de dados, entretanto, muitas lições foram aprendidas com seu desenvolvimento e sua execução. Estes foram: escopo do IGES era limitado e não fornecia nenhum meio de checagem e verificação da exatidão das traduções. O IGES está sendo continuamente atualizado, requerendo a compatibilidade entre versões. As indústrias necessitam um escopo maior do que a transferência de dados CAD. Os usuários identificaram a necessidade da transferência de dados no ciclo de vida inteiro do produto. O desenvolvimento destes padrões da transferência, que devem ser aplicáveis mundialmente, deve ser desenvolvido por uma equipe internacional. Os esforços iniciais do STEP deveram realizar a transferência de dados do CAD. O STEP inclui os seguintes dados na transferência, por exemplo, instruções de conjunto, resultados dos dados de teste, pontos iniciais dos critérios do projeto, cor, peso, tamanho total, manual de manutenção, dados de superfície do revestimento do produto, etc. O IGES captura somente dados geométricos e dados básicos. Uma transição é desejada pela indústria, requerendo um conversor IGES para STEP. A Figura 1.3 destaca o problema da transferência de dados com IGES e ilustra a perda dos dados com o processo da transferência.

Figura 1.3 STEP VS IGES



2.3 Casos de Sucesso

Este item descreve alguns dos sucessos atingidos pelas companhias que implementaram o STEP.

- Lockheed Martin.

Os sistemas de avião táticos de Lockheed Martin (LMTAS), Texas EUA, implementaram recentemente o padrão da STEP. Ele está sendo usado agora no F-16, no F-22 e nos programas F-2, e KTX-2. A LMTAS é que está ajudando abrir caminho para o padrão STEP para empresas de pequeno porte em sua corrente de fornecedores. Sua implementação realizou economias significativas e melhorias de processos. Por exemplo, dentro de projetos de engenharia, os projetos piloto mostraram uma melhoria de 10% na confiabilidade da troca de dados, economias de 10% nos processos para as peças não compostas, e economias um 50% no processo para compostas. Para a manufatura, as economias projetadas para o projeto da ferramenta em sistemas de CAD/CAM são 27%, e 38% para os sistemas da CAME devido à eliminação da reentrada dos dados.”Este exemplo mostra a grande economia que foi conseguida com o uso do STEP na Lockheed Martin”.

- Boeing.

O grupo Boeing acordou com a Pratt & Whitney, a rolls royce e a GE, fabricante de motores avião usar o STEP. O grupo tem executado agora um processo novo usando o STEP AP 203, que verifica o formulário e o ajuste das peças do avião. O projeto era um desenvolvimento comum sob o projeto piloto do AEROSTEP. Além dessas companhias mencionadas acima, seus fornecedores que usam sistemas de CAD, sistemas de Dassault (CATIA), EDS (Unigraphics) e Computervision (CADDs) foram envolvidos também. Mais de 1000 modelos da produção foram transferidos, conseguindo uma taxa elevada de transferência dos modelos com as taxas de erro baixas.

Nenhum relatório das economias foi publicado, porque as firmas acreditam que estes dados são proprietários. Porém fontes confiáveis indicam que as economias foram “substanciais”.

- Campbell Engineering.

“Não recebemos nenhuma mensagem de erro no processo de transferência usando o STEP”.

- Dynetics Inc.

“Não houve nenhuma discrepância detectada em nenhuma dos arquivos STEP recebidas pela Dynetics”.

2.4 STEP Atualmente

Atualmente, o desenvolvimento do STEP está progredindo firmemente com quantidades crescentes de recursos que estão sendo dirigidos para o STEP enquanto ele amadurece. Mais 500 pessoas estão envolvidas agora com o desenvolvimento dos vários protocolos de aplicação do STEP. Somente três AP's (AP201, 202, e 203) foram aprovados e publicados pela organização de padrões do ISO, entretanto muitos protocolos de aplicação estão quase concluídos.

2.5 Problemas do STEP

Os problemas mais preocupantes são os seguintes: conversões e mapeamento dos dados herdados; reorganização das bases de dados; custo dos tradutores STEP; falta de conhecimento do STEP entre os membros dos fornecedores; limitações computacionais tais como tamanho de arquivos, tamanho das bases de dados e velocidade dos processadores.

Arquivos antigos, não são bons candidatos para serem convertidos ao formato neutro STEP. Alguns desenhos existem ainda somente no papel e outros dados foram criados por um software (obsoleto) antigo. Conseqüentemente uma dificuldade a ser superada é a criação dos tradutores para versões antigas como também para versões mais novas de arquivos de dados.

Com o crescimento de aplicações STEP o conhecimento do usuário se torna necessário. Este fator resultará no custo de treinamento. Espera-se que os fornecedores principais e o governo instituirão programas de treinamento. Além disso, as universidades americanas estão começando a incorporar o STEP em seu curriculum.

O impedimento final é associado com o tamanho dos arquivos do STEP. Os tamanhos de arquivos que serão transferidos e criados serão grandes, da ordem de megabyte. Isto requererá sistemas poderosos de computador e de comunicação que possam eficientemente tratar os dados de uma maneira relativamente rápida. Espera-se que capacidade e as potencialidades do sistema aumentem quando os custos diminuïrem

2.6 Futuro do STEP

O STEP fornece um mecanismo para manufatura virtual fornecendo uma troca de dados padrão sem a necessidade conversão de formato. O STEP está sendo introduzido cada vez mais em muitas companhias e universidades. Com o sucesso dos projetos piloto e número crescente dos padrões que alcançam o status padrão internacional, o STEP terá um número maior de usuários.

3 Integração do ciclo de vida do produto

Visões contemporâneas vêem o design como sendo parte do sistema técnico no qual a integridade de cada parte leva em conta função, forma, material, tecnologia de manufatura e preço. Como um sistema, cria oportunidades para novas interpretações baseadas no entendimento da relação entre procedimentos de manufatura e a formação de certo material e as propriedades essenciais para preencher os requerimentos do produto.

Isso, entretanto, significa que as fases iniciais do design, produção e verificação como operações tecnológicas individuais para a produção e o processamento do material são tidas atualmente como procedimentos tecnológicos inseparáveis para a formação do produto final.

O uso completo dessas abordagens e a tecnologia atual tornou-se possível devido programas de computadores para design e preparação da produção usados em combinação com modelamento matemático. Para garantir uma ligação efetiva entre essas ferramentas e tornar possível uma colaboração interativa entre todos os profissionais participantes (designers e experts em tecnologia nos diferentes campos) é necessário criar um ambiente de trabalho integrado para a troca de dados.

O problema da integração da análise do design e estrutural é tipificado como a necessidade de trocar formas geométricas e informações de análise em um ambiente interativo. A figura 1.5 representa o aspecto da interconectividade que é tratada nesse trabalho. A maioria dos sistemas de produção atualmente emprega um tradutor específico ponto a ponto para esse procedimento. Somente alguns poucos sistemas de análise são capazes de retornar informações sobre formas geométricas para o modelador de design de forma. Toda a informação deve ser compartilhada com códigos de análise detalhadas de interesse da empresa ou comerciais.

Em ambientes industriais de grande escala, uma solução baseada em padrões para o processo iterativo de design, análise e manufatura se torna essencial. A figura 1.6 ilustra o problema dos quatro ou mais, que é o maior empecilho na abordagem do tradutor.

Se um modelo de dados padronizado (como na figura 1.6 à esquerda), fosse utilizado para integrar a informação, teríamos uma significativa redução no numero de tradutores e manutenção. ISO 10303 – STEP e seus protocolos de aplicação (APs) 203,209,etc, vêm sendo desenvolvidos para solucionar esse problema com a abordagem que queremos. Referente ao problema do design e análise estrutural.

Figura 1.4 Interconectividade da informação

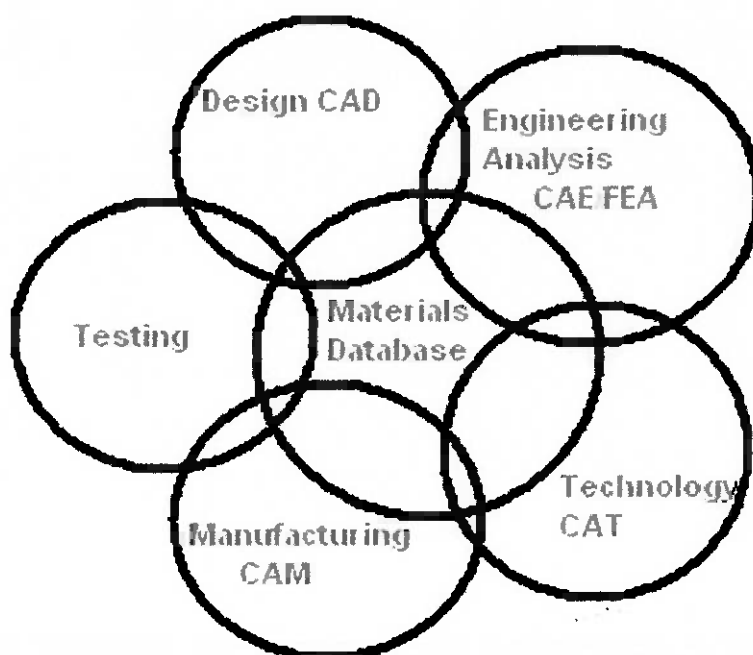
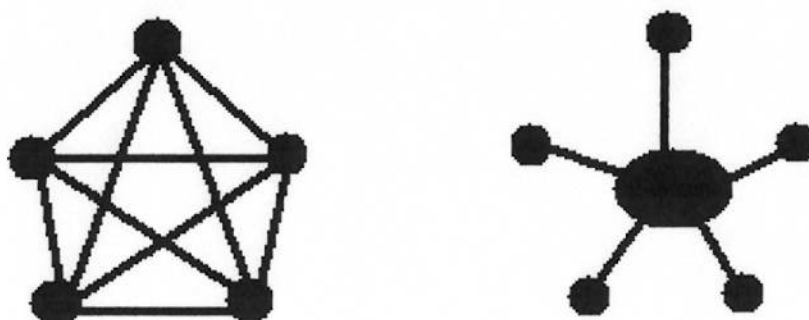


Figura 1.5 Problema dos quatro ou mais



4 Metodologia utilizada para a transferência de dados

Para que se comprove que devemos ter um arquivo neutro para a transferência entre os sistemas de CAD/CAM/CAE e que sejam observados os problemas encontrados na transferência utilizando esses arquivos, iremos utilizar a metodologia de transferência de um mesmo arquivo num formato neutro (STEP) através de vários diferentes programas e em seguida iremos efetuar a verificação da geometria e propriedades mecânicas da peça para que uma validação dessa transferência seja feita.

Uma importante propriedade a ser verificada na análise das propriedades mecânicas nos sistemas de CAM/CAE é a matriz de rigidez do sólido que será comparado nas transferências efetuadas, uma vez que em sistemas que utilizam o Método dos Elementos Finitos a matriz de rigidez é a variável básica utilizada para a determinação dos cálculos das demais variáveis de análise, tais como força, tensão, deformação, e modos de vibração.

O objetivo desse método é comprovar que realmente ocorre uma perda de informações quando os arquivos são transferidos tais como número de elementos, volume do sólido, área de superfície e dimensões.

A métrica consiste na avaliação de desvio quadrático entre valores de invariantes matriciais obtidos de K e M de modo que os mesmos sejam mínimos.

É correto avaliar o determinante da matriz por ser o que propicia a inversão de matriz, base do método matricial de resolução de problemas estruturais. Como ocorre situação de dinâmica em sistemas mecânicos, existe também a necessidade de obtenção de invariantes da matriz de inércia de massa. O primeiro invariante da matriz pode ocorrer de ser nulo. O segundo invariante poderia ser uma métrica se ocorrer da não observação de desvio na métrica terceira (terceira invariante).

A condição necessária e suficiente para a construção de uma métrica para sistemas dinâmicos é que pelo menos um dos invariantes seja não nulo e a única possibilidade, sempre, é o terceiro invariante.

5 Resultados da transferência

Os modelos a serem analisados são os seguintes:

- Arquivo no formato STEP

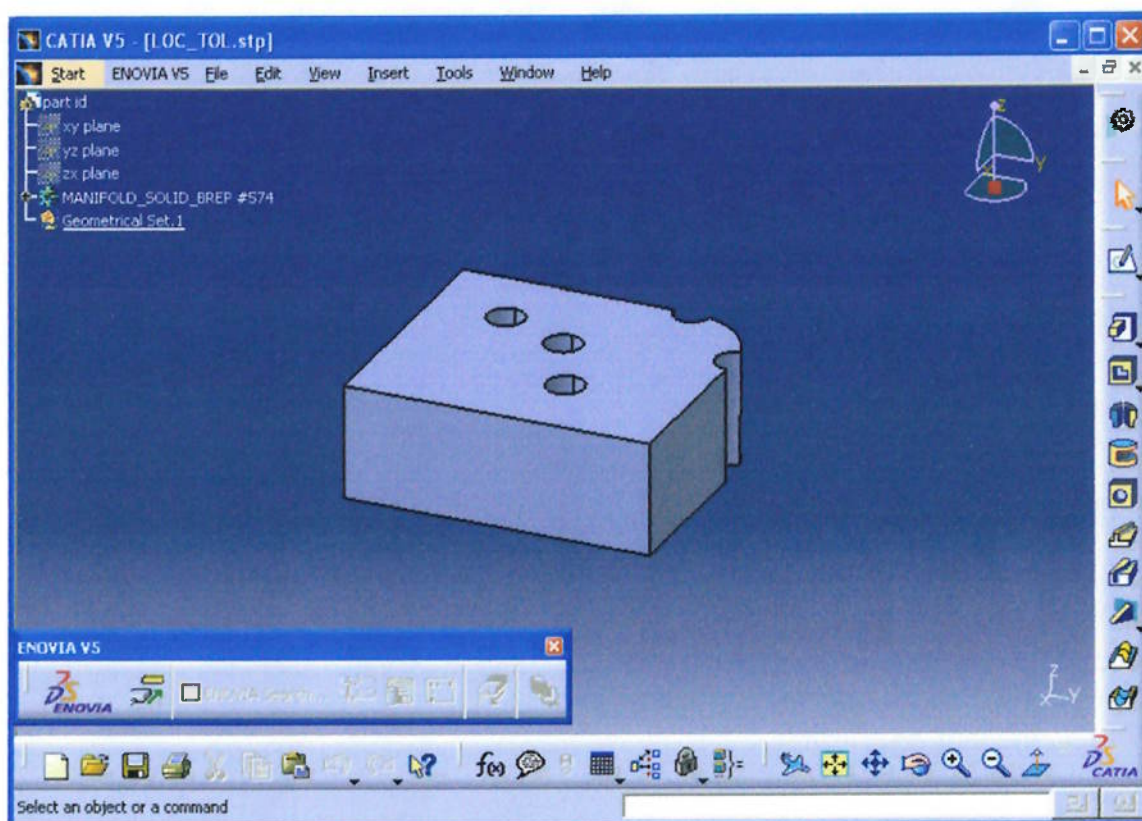


Figura 1.6 Arquivo.stp

- Arquivo no formato IGES

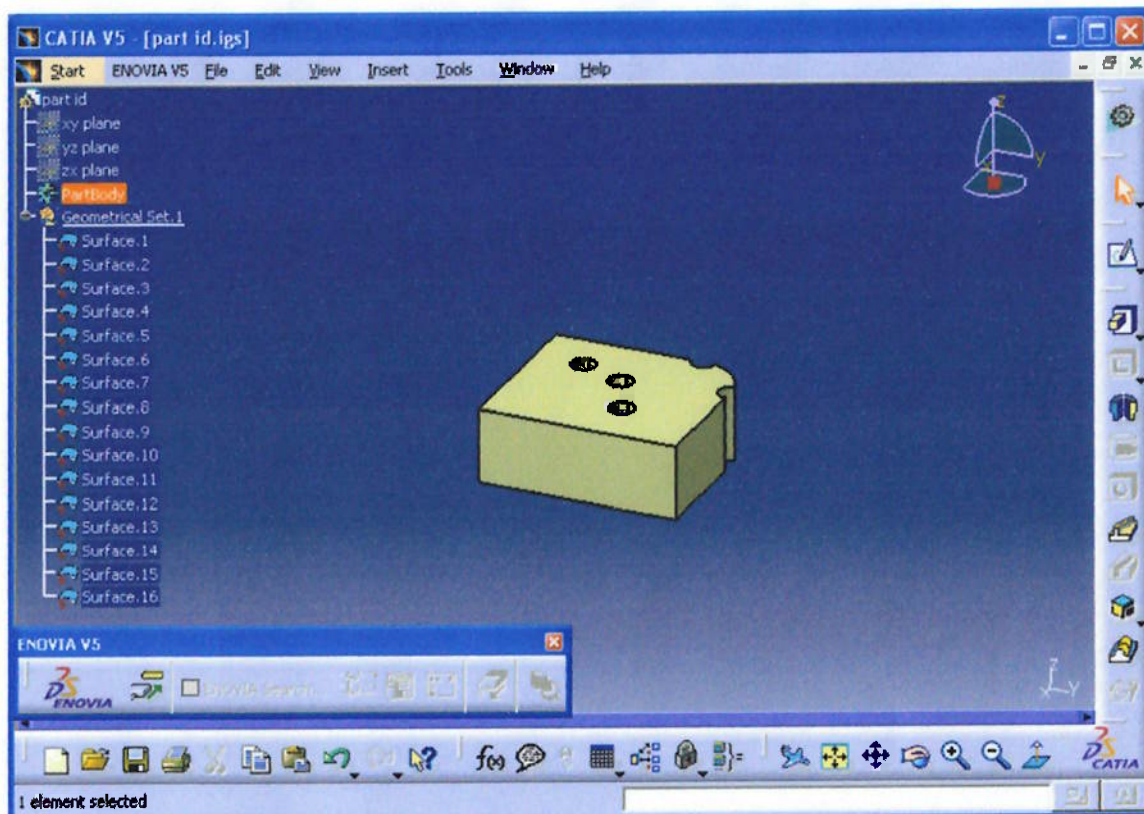


Figura 1.7 Arquivo.igs

6 Método dos elementos finitos

Uma grande variedade de problemas da dinâmica são governadas pela seguinte equação diferencial matricial:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{a}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{a}} + \mathbf{K}\mathbf{a} + \mathbf{f} = \mathbf{0}$$

com

$$\dot{\mathbf{a}} \equiv \frac{d}{dt} \mathbf{a}; \quad \ddot{\mathbf{a}} = \frac{d^2}{dt^2} \mathbf{a}$$

Na qual $\mathbf{K}$ e $\mathbf{f}$ são as matrizes de rigidez e força obtidas pela adição de coeficientes de rigidez e dos elementos de forças devido aos carregamentos especificados, tensões iniciais, etc.

As matrizes $\mathbf{C}$ e $\mathbf{M}$ são montadas pela regra das submatrizes dada por:

$$\mathbf{C}_{ij}^e = \int_{V^e} \mathbf{N}^T \mu \mathbf{N} dV$$

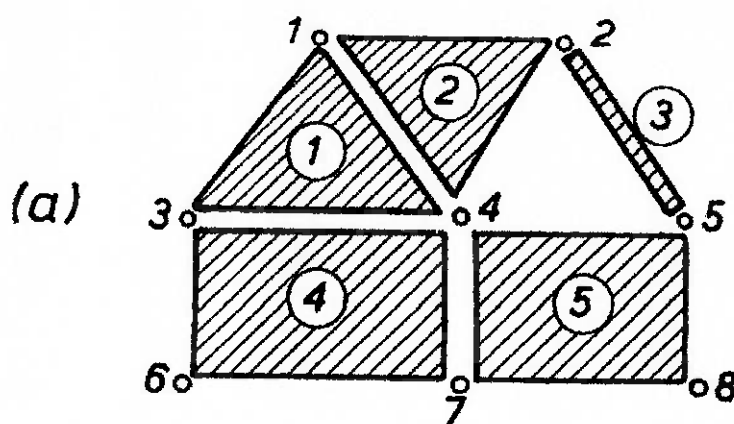
$$\mathbf{M}_{ij}^e = \int_{V^e} \mathbf{N}^T \rho \mathbf{N} dV$$

Como podemos observar $\mathbf{C}$ é uma combinação linear de $\mathbf{M}$ e $\mathbf{K}$, obtida pelo Método de Rayleigh. Portanto nos concentramos na obtenção de $\mathbf{M}$ e $\mathbf{K}$.

$$\mathbf{C} = \alpha \mathbf{M} + \beta \mathbf{K}.$$

O Padrão Geral

Para exemplificar temos o exemplo da figura abaixo no qual temos cinco elementos discretos que estão interconectados. Este pode ser um elemento estrutural, elétrico ou outro tipo linear.

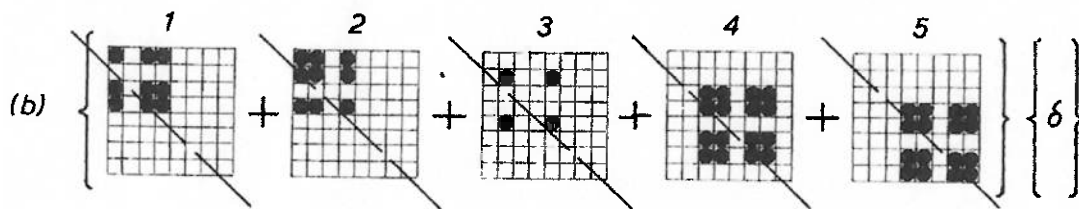


O primeiro passo é a determinação das propriedades geométricas do material e dados do carregamento. Cada elemento tem seu próprio número de identificação e uma conexão nodal específica.

Por exemplo:

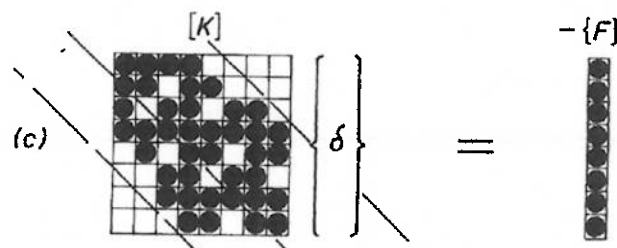
Elemento 1	conexão 1	3	4	
2	1	4	2	
3	2	5		
4	3	6	7	4
5	4	7	8	5

Assumindo que as propriedades são encontradas em coordenadas globais nos podemos colocar cada componente da rigidez ou força na sua posição da matriz global mostrada na figura b.



Cada quadrado preenchido representa um coeficiente ou uma submatriz do tipo K_{ij} se mais de uma quantidade está sendo considerada nos nós. Aqui para cada elemento, sua contribuição é mostrada e podemos verificar a posição dos coeficientes. Note que vários tipos de elementos considerados aqui não apresentam dificuldade na sua especificação. (Todas forças, incluindo as nodais, são associados a elementos por simplicidade.).

O segundo passo é montar as equações simplesmente adicionando todos os números no local apropriado na matriz global. Esse resultado é mostrado na figura c onde os coeficientes não nulos são indicados pelos preenchimentos.



Como as matrizes são simétricas somente a metade acima da diagonal necessita ser encontrada.

Todos os coeficientes não nulos são confinados dentro de uma banda ou perfil no qual pode ser calculado a priori para as conexões nodais. Portanto em programas de computador somente o armazenamento de elementos acima da metade superior do perfil é necessário.

O terceiro passo é a inserção das condições de contorno na matriz final.

E finalmente o ultimo passo é resolver o sistema de equações. O sistema pode ser resolvido por uma diversidade de métodos.

7 Matriz de Rigidez

O método de Galerkin leva a um sistema de equações lineares. Para ver isso nós necessitamos estruturas a definição de $\mathcal{U}^h$. $\mathcal{U}^h$ consiste de todas as combinações lineares das funções denotadas por $N_A : \bar{\Omega} \rightarrow \mathbb{R}$ aonde $A = 1, 2, \dots, n$. Disso temos que se $w^h \in \mathcal{U}^h$, então existem constantes c_A , $A = 1, 2, \dots, n$ tais que:

$$\begin{aligned} w^h &= \sum_{A=1}^n c_A N_A \\ &= c_1 N_1 + c_2 N_2 + \dots + c_n N_n \end{aligned}$$

Os N_A 's são funções de forma, bases e interpolação. Nós necessitamos que N_A satisfaça:

$$N_A(1) = 0, \quad A = 1, 2, \dots, n$$

E segue que $w^h(1) = 0$ como é necessário. $\mathcal{U}^h$, deve ter dimensão n por razões óbvias.

Para definir os membros de $\mathcal{S}^h$ necessitamos especificar φ^h . Para finalizar, introduzimos outra função de forma $N_{n+1} : \bar{\Omega} \rightarrow \mathbb{R}$, que tem a propriedade $N_{n+1}(1) = 1$. (Note que $N_{n+1} \notin \mathcal{U}^h$).

Então φ^h é dado por:

$$\varphi^h = q N_{n+1}$$

E, portanto:

$$\varphi^h(1) = q$$

Com essas definições, um típico $u^h \in \mathcal{S}^h$ pode ser escrito com sendo:

$$\begin{aligned} u^h &= v^h + q^h \\ &= \sum_{A=1}^n d_A N_A + q N_{n+1} \end{aligned}$$

Aonde os d_A 's são constantes e das quais fica aparente que $u^h(1) = q$.

Substituindo nas equações de Galerkin temos:

$$\begin{aligned} a\left(\sum_{A=1}^n c_A N_A, \sum_{B=1}^n d_B N_B\right) &= \left(\sum_{A=1}^n c_A N_A, \ell\right) + \left[\sum_{A=1}^n c_A N_A(0)\right]h \\ &- a\left(\sum_{A=1}^n c_A N_A, q N_{n+1}\right) \end{aligned}$$

Usando a bilinearidade de $a(\cdot, \cdot)$ e $(\cdot, \cdot)$ a equação fica:

$$0 = \sum_{A=1}^n c_A G_A$$

Aonde

$$G_A = \sum_{B=1}^n a(N_A, N_B) d_B - (N_A, \ell) - N_A(0)h + a(N_A, N_{n+1})q$$

Agora a equação de Galerkin é válida para todo $w^h \in \mathcal{U}^h$. Ou seja, para todo c_A 's, $A = 1, 2, \dots, n$. Uma vez que os c_A 's são arbitrários é necessário que cada G_A , $A = 1, 2, \dots, n$ deve ser igual a zero chegando a:

$$\sum_{B=1}^n a(N_A, N_B) d_B = (N_A, \ell) + N_A(0)h - a(N_A, N_{n+1})q$$

Note que temos todos os dados exceto pelos d_B 's. Portanto essa equação consiste de um sistema de n equações com n incógnitas, que pode ser escrita de uma forma mais concisa da seguinte maneira:

$$\begin{aligned} K_{AB} &= a(N_A, N_B) \\ F_A &= (N_A, \ell) + N_A(0)h - a(N_A, N_{n+1})q \end{aligned}$$

Então temos:

$$\sum_{B=1}^n K_{AB} d_B = F_A, \quad A = 1, 2, \dots, n$$

Adotando a notação matricial temos:

$$K = [K_{AB}] = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \dots & K_{1n} \\ K_{21} & K_{22} & \dots & K_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ K_{n1} & K_{n2} & \dots & K_{nn} \end{bmatrix}$$

$$F = \{F_A\} = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_n \end{bmatrix}$$

$$d = \{d_B\} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{bmatrix}$$

De equações anteriores:

$$Kd = F$$

As seguintes terminologias são comumente aplicadas, especialmente quando o problema em questão é um sistema mecânico:

K = stiffness matrix

F = force vector

d = displacement vector

Nesse ponto declaramos a matriz equivalente (M), do problema de Galerkin.

Dado a matriz de coeficientes **K** e o vetor **F** , encontramos **d** tal que:

$$Kd = F$$

A solução de (M) é claro, somente **$d = K^{-1} F$** (assumindo que a inversa de **K** , **K^{-1}** existe). Uma vez que **d** é conhecido, a solução de (G) pode ser obtida em qualquer ponto **$x \in \bar{\Omega}$** :

$$u^h(x) = \sum_{A=1}^n d_A N_A(x) + q N_{n+1}(x)$$

Dessa maneira, derivadas de **u^h** , se necessárias, podem ser obtidas por diferenciação termo a termo. Deve ser enfatizado que a solução de (G) é uma solução aproximada de (W).

Conseqüentemente, a equação diferencial e a solução de contorno natural são apenas satisfeitas aproximadamente. A qualidade da aproximação depende da escolha dos N_A 's e do número n .

Observações:

1. A matriz K é simétrica. Isso devido à simetria de $a(\cdot, \cdot)$ e do uso do método de Galerkin

$$\begin{aligned} K_{AB} &= a(N_A, N_B) \\ &= a(N_B, N_A) \\ &= K_{BA} \end{aligned}$$

Em notação matricial

$$K = K^T$$

A simetria de K tem uma importância computacional muito grande.

2. Às vezes é conveniente escrever:

$$u^h(x) = \sum_{A=1}^{n+1} N_A(x) d_A$$

onde

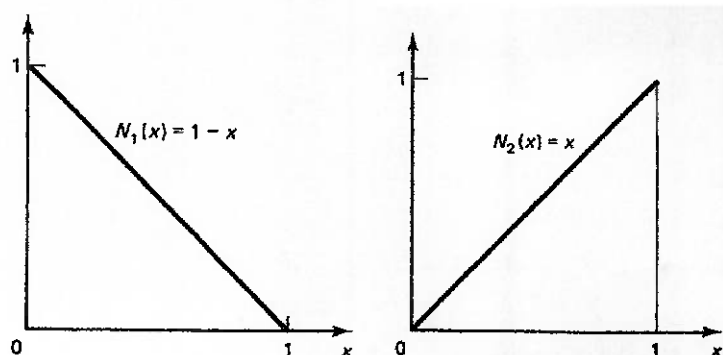
$$d_{n+1} = q.$$

EXEMPLOS

Vamos fazer cálculos detalhados envolvidos na formulação e solução do problema de Garlekin. As funções empregadas são extremamente simples, porém elas são exemplos de típicas funções de elementos finitos.

Exemplo 1 (1 grau de liberdade)

Nesse caso $n = 1$. Portanto $w^h = c_1 N_1$ e $u^h = v^h + \varphi^h = d_1 N_1 + \varphi N_2$. A única incógnita é d_1 . As funções de forma devem satisfazer $N_1(1) = 0$ e $N_2(1) = 1$. Tomemos $N_1(x) = 1 - x$ e $N_2(x) = x$. Estão ilustrados nas figuras abaixo e claramente satisfazem as condições necessárias.



Como estamos tratando somente com um grau de liberdade temos:

$$\mathbf{K} = [K_{11}] = K_{11}$$

$$\mathbf{F} = \{F_1\} = F_1$$

$$\mathbf{d} = \{d_1\} = d_1$$

$$K_{11} = a(N_1, N_1) = \int_0^1 \underbrace{N_{1,x}}_{-1} \underbrace{N_{1,x}}_{-1} dx = 1$$

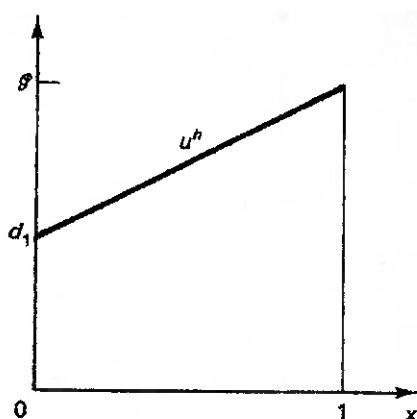
$$\begin{aligned} F_1 &= (N_1, \ell) + N_1(0)h - a(N_1, N_2)q \\ &= \int_0^1 (1-x)\ell(x) dx + h - \int_0^1 \underbrace{N_{1,x}}_{-1} \underbrace{N_{2,x}}_{+1} dx q \\ &= \int_0^1 (1-x)\ell(x) dx + h + q \end{aligned}$$

$$d_1 = K_{11}^{-1} F_1 = F_1$$

consequentemente

$$u^h(x) = \underbrace{\left[\int_0^1 (1-y)\ell(y) dy + h + q \right]}_{d_1} (1-x) + qx$$

Temos essa equação ilustrada na figura abaixo



Para ter uma idéia da natureza da aproximação, vamos comparar a solução encontrada com a solução exata. É interessante considerar formas específicas para ℓ .

Tomemos $\ell = 0$

Daí

$$u^h(x) = u(x) = g + (1 - x)h$$

Que é, a solução aproximada é exata. Na verdade, fica claro que a solução homogênea é sempre representada de maneira exata (parte da solução que corresponde a $\ell = 0$) quando analisamos a solução encontrada. A única aproximação se dá na solução particular (parte da solução que corresponde a $\ell \neq 0$).

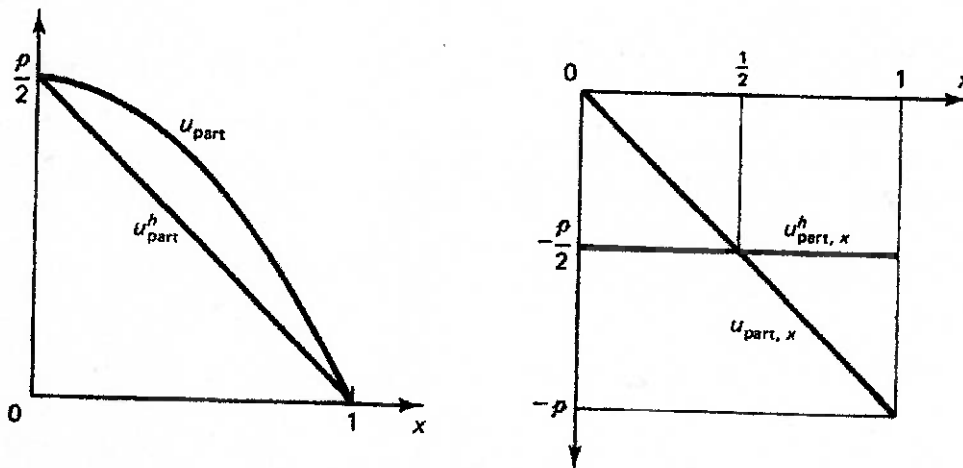
Agora vamos escolher um $\ell \neq 0$. Assuma $\ell(x) = p$, uma constante. Assim a solução particular fica:

$$u_{\text{part}}(x) = \frac{p(1 - x^2)}{2}$$

e

$$u^h_{\text{part}}(x) = \frac{p(1 - x)}{2}$$

Que são comparadas na figura abaixo.



Note que u_{part}^h é exata em $x = 0$ e $x = 1$ e que $u_{\text{part}, x}^h$ é exata em $x = \frac{1}{2}$. (Deve estar claro que é impossível que u_{part}^h seja exato para todo x . A solução exata contém um termo quadrático em x , ao passo que a solução aproximada é restrita à variação linear em x pelas definições de N_1 e N_2 .)

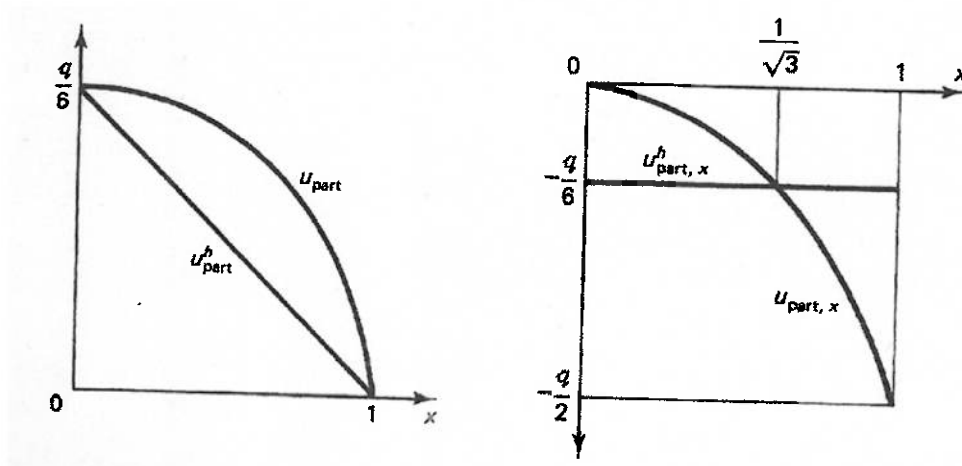
Agora tomemos $\ell(x) = qx$, com q constante. Nesse caso obtemos:

$$u_{\text{part}}(x) = \frac{q(1 - x^3)}{6}$$

e

$$u_{\text{part}}^h(x) = \frac{q(1 - x)}{6}$$

Que são comparadas na figura abaixo:



Note novamente que u_{part}^h é exata em $x=0$ e $x=1$. Tem um ponto, $x = 1/\sqrt{3}$, no qual é $u_{part, x}^h$ exata.

Nesse exemplo pudemos observar que:

- A parte homogênea de u^h é exata em todas as classes.
- Na presença de $\ell \neq 0$, u^h é exata em $x = 0$ e $x = 1$.
- Para cada caso há ao menos um ponto onde u^h é exata.

Exemplo 2 (2 graus de liberdade)

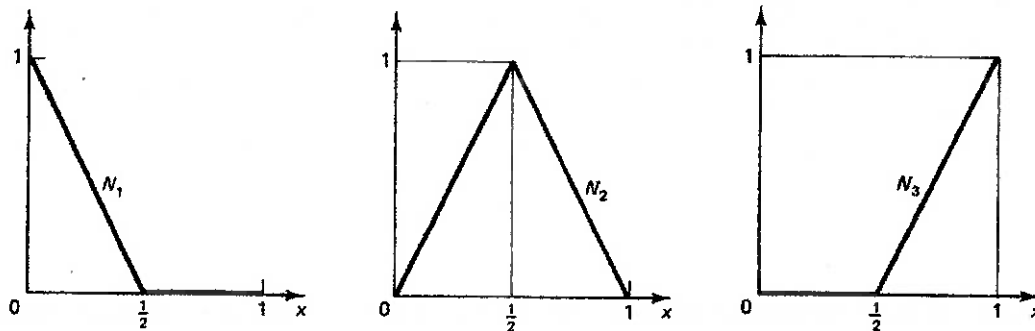
Nesse caso $n = 2$. Portanto $w^h = c_1 N_1 + c_2 N_2$, onde $N_1(1) = N_2(1) = 0$ e $u^h = d_1 N_1 + d_2 N_2 + q N_3$, onde $N_3(1) = 1$. Vamos definir N_A 's como a seguir:

$$N_1(x) = \begin{cases} 1 - 2x & 0 \leq x \leq \frac{1}{2} \\ 0 & \frac{1}{2} \leq x \leq 1 \end{cases}$$

$$N_2(x) = \begin{cases} 2x & 0 \leq x \leq \frac{1}{2} \\ 2(1 - x) & \frac{1}{2} \leq x \leq 1 \end{cases}$$

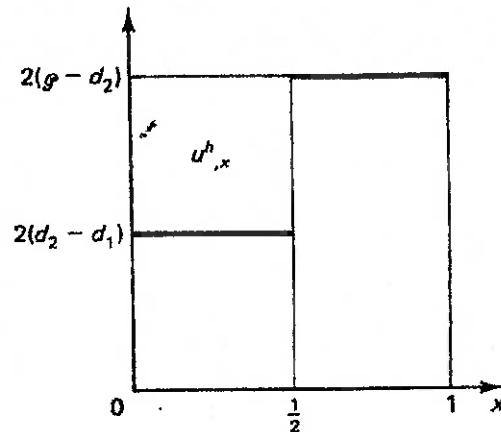
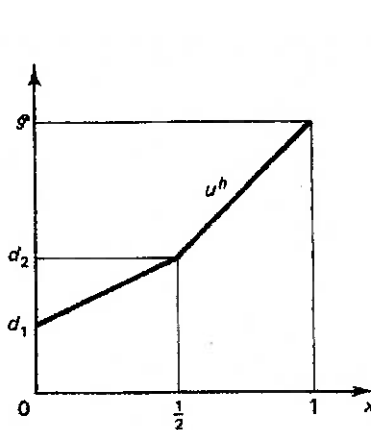
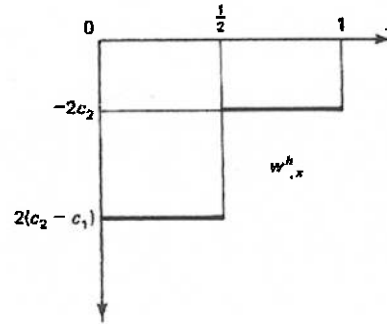
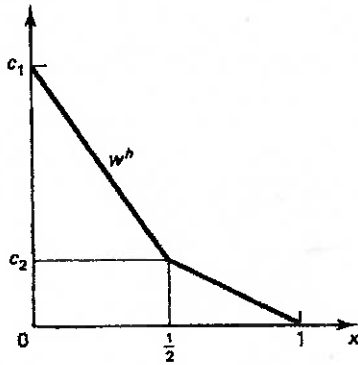
$$N_3(x) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq \frac{1}{2} \\ 2x - 1 & \frac{1}{2} \leq x \leq 1 \end{cases}$$

As funções de forma são ilustradas na figura abaixo:



Essas funções são as funções mais simples funções de elementos finitos no contexto de dois elementos.

Tipicamente $w^h \in \mathcal{O}^h$, $u^h \in \mathcal{S}^h$ e suas derivadas são ilustradas nas figuras abaixo.



Como $n = 2$, a matriz fica da seguinte forma:

$$K = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix}$$

$$F = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{Bmatrix}$$

$$d = \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \end{Bmatrix}$$

$$K_{AB} = a(N_A, N_B) = \int_0^1 N_{A,x} N_{B,x} dx = \int_0^{1/2} N_{A,x} N_{B,x} dx + \int_{1/2}^1 N_{A,x} N_{B,x} dx$$

$$K_{11} = 2, \quad K_{12} = K_{21} = -2, \quad K_{22} = 4$$

$$K = 2 \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} F_A &= (N_A, \ell) + N_A(0)h - a(N_A, N_3)q \\ &= \int_0^1 N_A \ell \, dx + N_A(0)h - \int_{1/2}^1 N_{A,x} N_{3,x} \, dx \, q \end{aligned}$$

$$F_1 = \int_0^{1/2} (1 - 2x)\ell(x) \, dx + h$$

$$F_2 = 2 \int_0^{1/2} x\ell(x) \, dx + 2 \int_{1/2}^1 (1 - x)\ell(x) \, dx + 2q$$

Note que devido as descontinuidades funções de forma em $x = \frac{1}{2}$, é conveniente expressar as integrais sobre os subintervalos $[0, \frac{1}{2}]$ e $[\frac{1}{2}, 1]$. Nos não precisamos nos preocupar com o valor da derivada de N_A em $x = \frac{1}{2}$. (ela sofre uma descontinuidade lá e, portanto não é definida classicamente.) daí nisso não tem efeito nas integrais.

Nós devemos novamente analisar os três casos considerados no exemplo 1.

1. Se $\ell = 0$.

$$\begin{aligned} F &= \begin{Bmatrix} h \\ 2q \end{Bmatrix} \\ d &= K^{-1} F \\ &= \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} h \\ 2q \end{Bmatrix} \\ &= \begin{Bmatrix} q + h \\ q + \frac{h}{2} \end{Bmatrix} \end{aligned}$$

Que resulta em:

$$\begin{aligned}u^h &= (q + h)N_1 + \left(q + \frac{h}{2}\right)N_2 + qN_3 \\&= q(N_1 + N_2 + N_3) + h\left(N_1 + \frac{N_2}{2}\right) \\u^h(x) &= q + h(1 - x)\end{aligned}$$

De novo a solução homogênea exata é obtida. (A razão para isso é que a solução exata é linear, e nossa solução é capaz de representar exatamente alguma função linear. O método de Garlekin vai nos dar a resposta exata quando possível - isto é, quando uma coleção de soluções contém a solução exata dentre elas.)

2. Se $\ell(x) = p = \text{constante}$:

$$F_1 = \frac{p}{4} + h$$

$$F_2 = \frac{p}{2} + 2q$$

$$d = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{p}{4} + h \\ \frac{p}{2} + 2q \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{p}{2} + q + h \\ \frac{3p}{8} + q + \frac{h}{2} \end{Bmatrix}$$

A solução toma a seguinte forma:

$$u^h(x) = q + h(1 - x) + u_{\text{part}}^h(x)$$

$$u_{\text{part}}^h = \frac{p}{2}N_1 + \frac{3p}{8}N_2$$

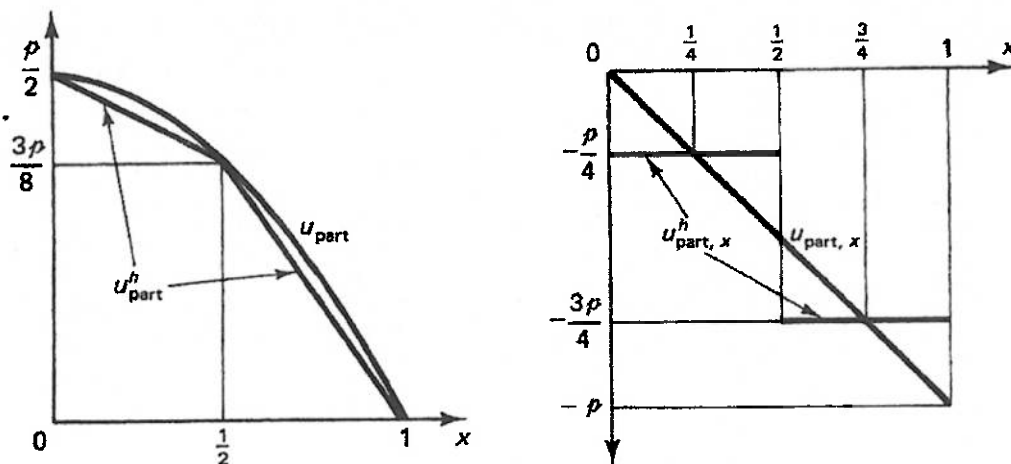
A solução particular aproximada é comparada com a exata, do que vemos que há concordância em $x = 0, \frac{1}{2}$ e 1 , e as derivadas coincidem em $x = \frac{1}{4}$ e $\frac{3}{4}$.

3. $f(x) = qx$, $q = \text{constante}$

$$F_1 = \frac{q}{24} + h$$

$$F_2 = \frac{q}{4} + 2q$$

Na figura abaixo está ilustrada a comparação entre as soluções exata e particular de Garlekin.

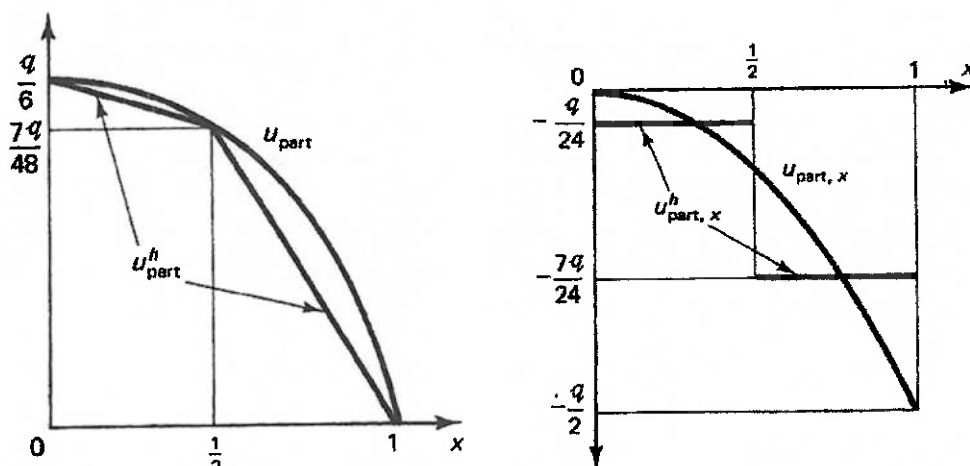


$$d = \left\{ \begin{array}{l} \frac{q}{6} + q + h \\ \frac{7q}{48} + q + \frac{h}{2} \end{array} \right\}$$

Novamente u^h pode ser expresso como no item 2 aonde:

$$u_{\text{part}}^h = \frac{q}{6}N_1 + \frac{7q}{48}N_2$$

A comparação é apresentada na figura abaixo. A Solução de Garlekin é vista como exata novamente em $x = 0, \frac{1}{2}$ e 1 , e as derivadas são exatas em dois pontos.



Vamos listar as observações importantes do Exemplo 2.

- A parte homogênea de u^h é exata em todos os casos, como no exemplo 1.
- A solução de Galerkin é exata nos pontos finais de cada subintervalo para todos os casos.
- Em cada caso, há ao menos um ponto em cada subintervalo nos quais $u_{,x}^h$ é exato.

8 Conclusão

O uso emergente e crescente do padrão STEP tem muitos benefícios. Usar o padrão STEP permitiu muitas descobertas, especialmente reduzindo o tempo se de projetar e desenvolver um produto novo e criando uma potencialidade para o desenvolvimento de um produto global simultâneo

O melhor grau de transferência foi observado quando a transferência foi realizada com arquivos STEP x STEP.

O terceiro invariante é uma métrica diretamente relacionada com as leis da dinâmica e mostra ser a melhor métrica para avaliar desvios na intercambialidade de dados entre CAD e FEA, pois como foi discutido, a condição necessária e suficiente para a construção de uma métrica para sistemas dinâmicos é que pelo menos um dos invariantes seja não nulo e a única possibilidade, sempre, é o terceiro invariante.

Porém como toda a tecnologia nova há uma incerteza inicial do seu sucesso, por isso somente as firmas maiores, por causa de sua capacidade absorver riscos adicionais têm usado inicialmente o STEP. Um exemplo disso é o projeto AutoSTEP, que consiste em um acordo entre três maiores fabricantes de automóvel no mundo, GM, Ford e Chrysler. Uma vez que as grandes empresas aderirem ao STEP, o uso pelas empresas menores se difundirá. Quando isso ocorrer, as grandes oportunidades estarão nas mãos das firmas que usarem o padrão STEP.

9 STEP on a Page

ISO TC184 SC4

STEP on a Page

ISO 10303

APPLICATION PROTOCOLS AND ASSOCIATED ABSTRACT-TEST SUITES

201 Explicit draughting [ATS 301 = X]	C 221 Functional data & their schem rep for process plant [X]
202 Associative draughting [X]	X 222 Design-manuf for composite structures [W]
203 Configuration-controlled design (c2=L,a1=I)[X]	X 223 Exch of design & mfg product info for cast parts [a]
204 Mechanical design using boundary rep [I]	I 224 Mech pdr def for p. plg using mach'n'g feat (e2=X,e3=A) [X,a]
205 Mechanical design using surface rep [W]	X 226 Ship mechanical systems [C]
206 Mechanical design using wireframe [X]	I 227 Plant spatial configuration(e2=C) [X]
207 Sheet metal die planning and design [I]	X 228 Building services: HVAC [X]
208 Life-cycle product change process [X]	X 229 Design & mfg product info for forged parts[X]
209 Composite & metal structural anal & related design[X]	X 230 Building structural frame: steelwork [X]
210 Electronic assy, interconnection & packaging design [X]	X 231 Process-engineering data [X]
211 Electronic P-C assy: test, diag, & remanuf[X]	I 232 Technical data packaging: core info & exch [I]
212 Electrotechnical design and installation [C]	W 233 Systems engineering data repr (to be PAS 20542)[X]
213 Num control (NC) process plans for mach'd parts [X]	X 234 Ship operational logs, records, and messages[X]
214 Core data for automotive mech design processes [F]	W 235 Materials info for des and verif of products [X]
215 Ship arrangement [X]	W 236 Furniture product and project data[W]
216 Ship moulded forms [X]	W 237 Computational Fluid Dynamics
217 Ship piping [X]	A 238 Computer numerical controllers
218 Ship structures [X]	W 239 Product life-cycle support
219 Dimension inspection [X]	W 240 Process plans for machined products
220 Proc. plg, mfg, assy of layered electrical products [X]	

COMMON RESOURCES (with 13684-20 logic model of expr.(I) and 15531-42 Time (W))

APPLICATION MODULES (Technical specifications)

Because there are many of these planned SOAP has been forced to be SOAP.5, STEP on a page and a half. For their listing, please access the file via the SOAP home page.

Legend: TS Status

0-10 =O=prop-->apvl for ballot
 10-20=A=NP btl circ-->NP apvl
 20-60=D=DTS dev-->reg as TS
 >60 =T=TS Published

INTEGRATED-APPLICATION RESOURCES

I 101 Draughting (c1=I)	X 106 Building core model
X 102 Ship structures	C 107 Finite-element analysis definition relationships
X 103 E/E connectivity	C 108 Parametriz'n&Constraints for expl geom prod mdl
I 104 Finite element analysis	W 109 Assembly model for products
I 105 Kinematics (c1=I, c2=I)	W 110 Mesh-based computational fluid dynamics

INTEGRATED-GENERIC RESOURCES

I 41 Fund of prod desec & spt (e2=L,c1=I)	I 47 Tolerances (c1=I)
I 42 Geom & top rep (c3=L,e2c1=L,e3=E)	X 48 Form features
I 43 Repres specialization (e2=L,c1=I,c2=I)	I 49 Process structure & properties
I 44 Product struct config (e2=L,c1=I)	I 50 Mathematical constructs
I 45 Materials (c1=I)	E 51 Mathematical description
I 46 Visual presentation (c1=I, c2=I)	W 52 Mesh-based topology
	W 53 Numerical Analysis

APPLICATION-INTERPRETED CONSTRUCTS

I 501 Edge-based wireframe	I 512 Faceted B-representation
I 502 Shell-based wireframe	I 513 Elementary B-rep
I 503 Geom-bounded 2D wireframe	I 514 Advanced B-rep
I 504 Draughting annotation	I 515 Constructive solid geometry
I 505 Drawing structure & admin.	X 516 Mechanical-design context
I 506 Draughting element	I 517 Mech-design geom presentation(c1=I)
I 507 Geom-bounded surface	I 518 Mech-design shaded presentation
I 508 Non-manifold surface	I 519 Geometric tolerances (c1=I)
I 509 Manifold surface	I 520 Assoc draughting elements
I 510 Geom-bounded wireframe	@ 521 Manifold sub-surfaces
I 511 Topological-bounded surface	E 522 Machining features

IMPLEMENTATION METHODS

21 Clear-text encoding exch jtr (c1=I,e2=I)	C 25 EXPRESS to OMG XMI
22 Standard data access interface	X 26 IDL language binding (to #22)
23 C-- language binding (to #22)	I 27 JAVA language binding (to #22)
24 C language binding (to #22)	@ 28 XML rep for EXPRESS-schemata & data
	X 29 Lrw Java binding (to #22) \ (DTS)

1 1 Overview and fundamental principles
 1 11 EXPRESS language ref man (c1=L,c2=C,c3=X ISO 10303-1:1994)
 1 12 EXPRESS language ref man (Type 2 tech report, not a 10303 part)
 X 13 Architecture and Methodology reference manual
 E 14 EXPRESS X Language reference manual

CONFORMANCE TESTING METHODOLOGY & FRAMEWORK

Legend: Part Status (E, F, I safe to implement)
 0=O=Preliminary Stage (Proposal-->apvl for NP ballot)
 10=A=Proposal Stage (NP ballot circ-->NP approval)
 20=W=Preparatory Stage (Wkg Draft devel -->CD regis)
 30=C=Committee Stage (CD circulation-->DIS regis)

40=E=Enquiry Stage (DIS circ-->FDIS registration)
 50=F=Approval Stage (FDIS circ-->Int'l Std regis)
 @=At ISO, approved for publication (ISO status: 40 95 or 50 99)
 60=I=Publication Stage (Int'l Std published)
 98=X=Project withdrawn

ISO TC184 SC4

STEP on a Page

ISO 10303

COMMON RESOURCES (with 13584-20 Logical model of expressions(I) and 15531-42 Time model (W))

APPLICATION MODULES (Technical specifications)

- | | |
|---|--|
| <p>T 1001 Appearance assignment
T 1002 Colour
T 1003 Curve appearance
T 1004 Elemental shape
T 1005 Elemental topological shape
T 1006 Foundation representation
T 1007 General surface appearance
T 1008 Layer assignment
T 1009 Shape appearance and layers
D 1010 Date time

D 1011 Person organisation
D 1012 Approval
D 1013 Person organisation assignment
D 1014 Date time assignment
D 1015 Security classification
D 1016 Product categorization
D 1017 Product identification
D 1018 Product version
D 1019 Product view definition
D 1020 Product version structure

D 1021 Identification assignment
D 1022 Part and version identification
D 1023 Part view definition
D 1024 Product structure
D 1025 Alias identification
D 1026 Part structure
D 1027 Part occurrence
D 1028 Geometric shape and topology
D 1029 Boundary representation model
D 1030 Property assignment

D 1031 Property representation
D 1032 Shape property assignment
D 1033 Shape property representation
D 1034 Product view definition properties
D 1035 Product view definition structure properties
D 1036 Independent property
D 1037 Independent property usage
D 1038 Independent property representation
D 1039 Geometric validation property representation
D 1040 Process property assignment</p> | <p>D 1041 Product view definition structure
D 1042 Work request
D 1043 Work order
D 1044 Certification
D 1045 Solid model
D 1046 Product replacement
D 1047 Activity
D 1048 Activity method

D 1054 Value with unit
D 1055 Part definition relationship
D 1056 End item identification
D 1057 Effectivity
D 1058 Configuration effectivity
D 1059 Effectivity application
D 1060 Product concept identification

O 1061 Project
O 1062 Contract
D 1064 Event
D 1065 Time interval
D 1066 Constructive solid geometry
D 1068 Constructive solid geometry 3D
D 1069 Faceted boundary representation model

D 1118 Measure representation
D 1121 Document and version
D 1122 Document assignment
D 1123 Document definition
D 1124 Document structure
D 1125 File properties
D 1126 Document properties
D 1127 File identification
D 1128 External item identification assignment

D 1501 Edge based wireframe
D 1502 Shell based wireframe
D 1507 Geometrically bounded surface
D 1509 Manifold surface
D 1510 Geometrically bounded wireframe
D 1511 Topologically bounded surface
D 1512 Faceted boundary representation
D 1514 Advanced boundary representation</p> |
|---|--|

Legend: TS Status

0-10 =O=prop--> aprl for ballot
10-20=A=NP blt circ-->NP aprl
20-60=D=DTS dev--> reg as TS
>60 =I=TS Published

ISO TC184 SC4

STEP on a Page

ISO 10303

STEP on a Page provides a graphic summary of the progress of STEP, Standard for the Exchange of Product Model Data, the familiar name for ISO 10303. ISO TC184 SC4, Industrial Automation Systems and Integration/Industrial Data develops the STEP standard.

Status of STEP Parts

Every part shown in the STEP on a Page has its status shown beside it. The status designators vary from "O" (the ISO preliminary stage) to "I" (International Standard - the stage in which the standard is published). Parts designated as "E, F" (levels of Draft International Standard) and "I" are considered advanced enough to allow software vendors to prepare implementations. The legend at the bottom of the page lists the corresponding ISO-project stage numbers next to the letter code.

Architecture of STEP

STEP on a Page attempts to show the STEP architecture by grouping the STEP parts into five main categories: description methods, implementation and conformance methodology, common resources, abstract test suites, and application protocols.

Description Methods

From an architectural perspective, the description methods group forms the underpinning of the STEP standard. This includes part 1, Overview, which also contains definitions that are universal to the STEP. Also in that group, part 11, EXPRESS Language Reference Manual, describes the data-modeling language that is employed in STEP. Parts in the descriptive-methods group are numbered from 1 to 19.

Implementation & Conformance

The STEP implementation-methods group, the 20s series, describes the mapping from STEP formal specifications to a representation used to implement STEP.

The conformance-testing-

methodology-framework group, the 30s series, provides information on methods to test software-product conformance to the STEP standard, guidance for creating abstract-test suites, and the responsibilities of testing laboratories. The STEP standard is unique in that it places a very high emphasis on testing, and actually includes these methods in the standard itself.

Common Resources (IR, AIC, and AM)

At the next level is the common-resources group, the parts that contain the generic-STEP-data models. The common resources were formerly called integrated-information resources. These data models can be considered the building blocks of STEP, and they can help AP integration and interoperability because entities in the common-resources group are shareable across the application protocols that need them.

Categories of common resources are generic resources, application resources, and application-interpreted constructs, application modules, plus the Logical model of ISO 13584-20 and the Time model of ISO 15531-42. Integrated-generic resources are generic entities that are used as needed by application protocols (AP below). Parts within generic resources have numbers between 40 and 60, and are used across the entire spectrum of STEP APs. The integrated-application resources contain entities that have slightly more context than the generic entities. The parts in the integrated-application resources are numbered in the 100s.

The 500 series are application-interpreted constructs, AICs. These are reusable groups of information-resource entities that make it easier to express identical semantics in more than one AP.

Application Modules are reusable groups of functional information requirements of applications that extend the AIC capability. The

functional groups, defined in enterprise-application terms, are aligned with groups of integrated-generic resources. The application modules comprise the 1000 series of parts, which are technical specifications that achieve consensus at the Committee stage. AMs offer an opportunity to represent functional capability in multiple APs with a lower standards-development cost.

Abstract-Test Suites (ATS)

The 300 series of parts, abstract-test suites, consists of test data and criteria that are used to assess the conformance of a STEP software product to the associated AP. SC4 requires that every AP contain or be associated with an abstract-test suite. The numbers assigned to ATSs exceed the AP numbers by exactly 100. Therefore, ATS 303 applies to AP 203. On the graphic, the ATS status is shown in brackets, [], following the AP name.

Application Protocols (AP)

At the top level of the STEP hierarchy are the more complex data models used to describe specific product-data applications. These parts are known as application protocols and describe not only what data is to be used in describing a product, but also how the data is to be used in the model. The APs use the integrated-information resources in well-defined combinations and configurations to represent a particular data model of some phase of product life. APs are numbered in the 200s. APs currently in use are the Explicit Drafting AP 201 and the Configuration Controlled Design AP 203.

000000

STEP on a Page was conceived and implemented by Jim Nell, National Institute of Standards and Technology. Updated 01-June-07

10 Referências

Hughes,Thomas J.R.,**The Finite Elements Méthod,
Linear Static and Dinamic Finite Element Analysis**

Zienkiewicz,O.C ,**The Finite Element Méthod**

LOFFREDO,D..**Fundamentals to STEP Implementation,**
URL: <http://www.steptools.com/libray/fundimp.pdf>

SAE BRASIL. Engenharia Automotiva, revista SAE BRASIL n°11, ano3.

NASA Home Page, STEP for System Engineers.
URL: <http://step.nasa.gov>,

STEPTOOLS Home Page, **ISO STEP Standard,**
URL: http://www.steptools.com/library/standard/iso_step_standards.html,

PDES INC Home Page. **STEP Technology.**
URL <http://www.pdesinc.aticorp.org>

SCHUTZER, I.K.;MOURA A.A.. **Desenvolvimento Integrado do Produto
Utilizando as Normas STEP – ISO 10303**
URL <http://www.propg.ufscar.br/publica/4cj/posgrad/resumos/0279-moura.htm>

SCHUTZER I.K, HENRIQUES J.. **Avaliação dos Sistemas CAD UNIGRAPHICS
Para a Melhora da Eficiência na Troca de Dados Através da STEP AP214.**
URL http://www.unimep.br/feau/scpm/Artigo_EME_2003_Joselito.pdf

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

PMR 2550 –Projeto de conclusão de curso

Impediments to Data exchange and use of STEP

URL http://www.okstate.edu/ind-engr/step/WEBFILES/Papers/Introduction_body.html

SANTOS, R.V.M. Padrões de troca de dados CAD/CAM.

Trabalho de Formatura da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

PMR 2550 – Projeto de conclusão de curso

ANEXO

ANEXO – Resultados da Implementação da métrica

Foi construído um modelo no software Pro/Engineer (CAD) que posteriormente foi salvo nos formatos IGES e STEP.

Ambos os formatos foram importados para o software Abaqus versão 6.4 (FEA) para serem feitas as análises de elementos finitos (figura 1.8)

São definidas as propriedades da peça tais como material (figura 1.9).

É definida a malha para análise (figura 2.0).

São definidos os carregamentos e condições de contorno figura (2.1).

São definidas as condições nas quais a simulação será feita, no caso, será uma análise estática (figura 2.2).

São editados os arquivos de simulação para obtermos as condições necessárias e as saídas que necessitamos (Job-1. inp e Job-2.inp).

Fazemos a simulação executados os “Jobs” e verificamos os resultados nos arquivos Job-1.dat e Job-2.dat e as saídas nos arquivos especificados MATRIZ_igs.mtx e MATRIZ_stp.mtx.

Para avaliar a nossa métrica necessitamos manipular as saídas para obter nossa matriz de rigidez, pois o formato de saída do Abaqus só nos traz a metade inferior da matriz simétrica.

Após a manipulação utilizamos o matlab para efetuar os cálculos necessários para obtenção do nosso terceiro invariante e o desvio quadrático entre os invariantes dos dois formatos (IGES e STEP) que são mostrados na tabela abaixo.

Formato do Arquivo	Terceiro Invariante
IGES	-1.2079e+115
STEP	-1.2047e+115

%E = Métrica da Rigidez

$$\begin{aligned} & ((\det^2 K_{\text{step}} - \det^2 K_{\text{iges}}) / \det^2 K_{\text{step}}) * 100 = \\ & = ((1.4513\text{e}+230 - 1.4590\text{e}+230) / 1.4513\text{e}+230) * 100 \\ & = (-7.6925\text{e}+227 / 1.4513\text{e}+230) * 100 = \\ & = -0.53 \% \end{aligned}$$

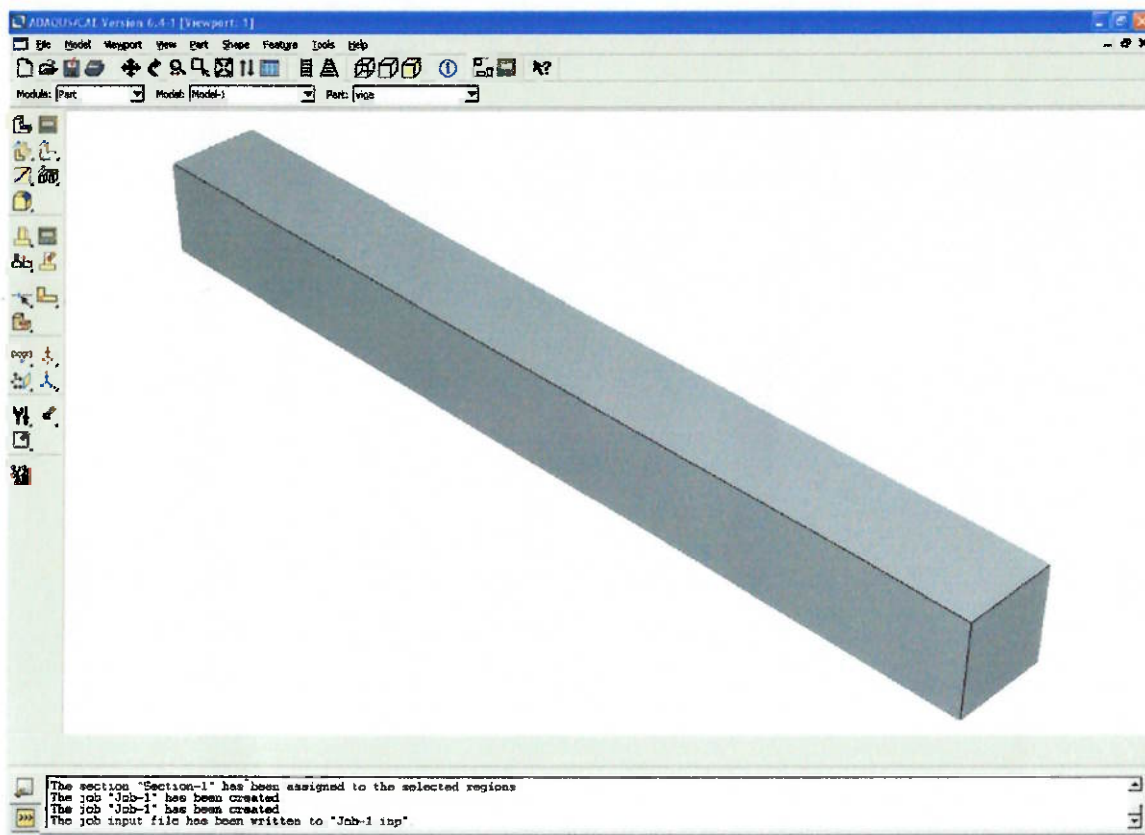


Figura 1.8 Modelo no Abaqus (Part).

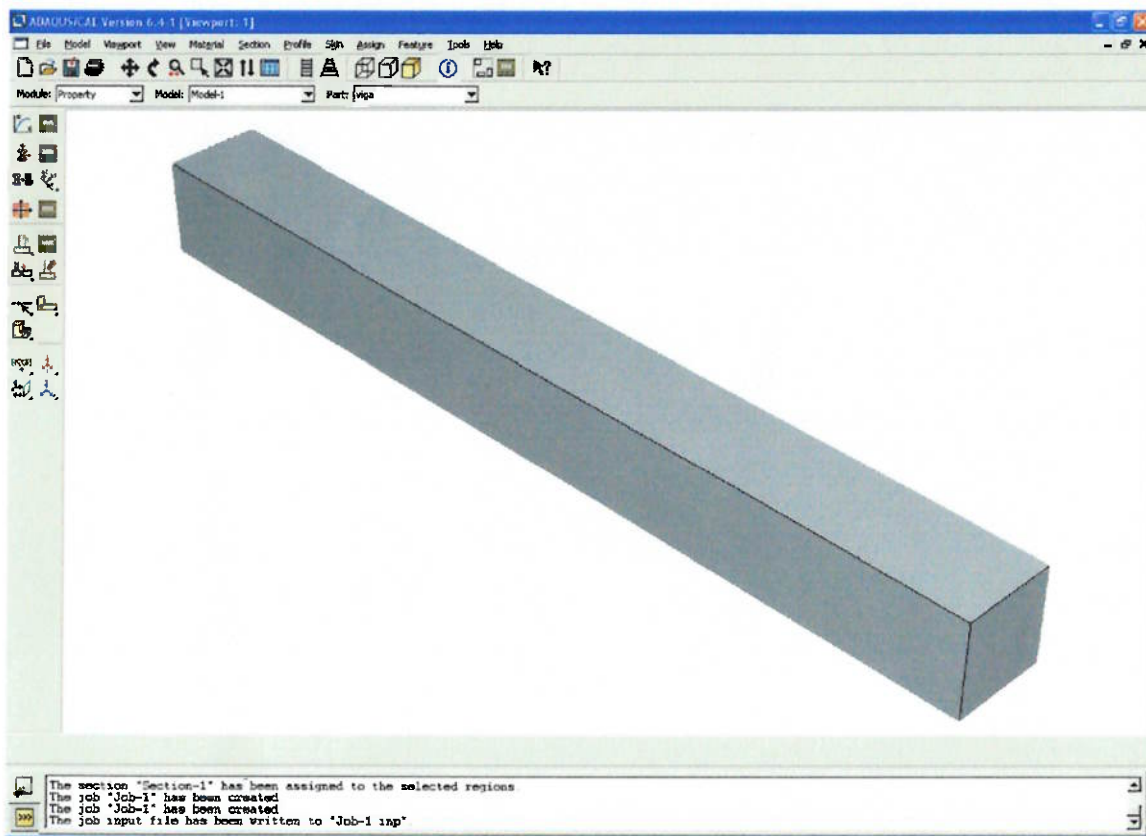


Figura 1.9 Modelo no Abaqus (Properties).

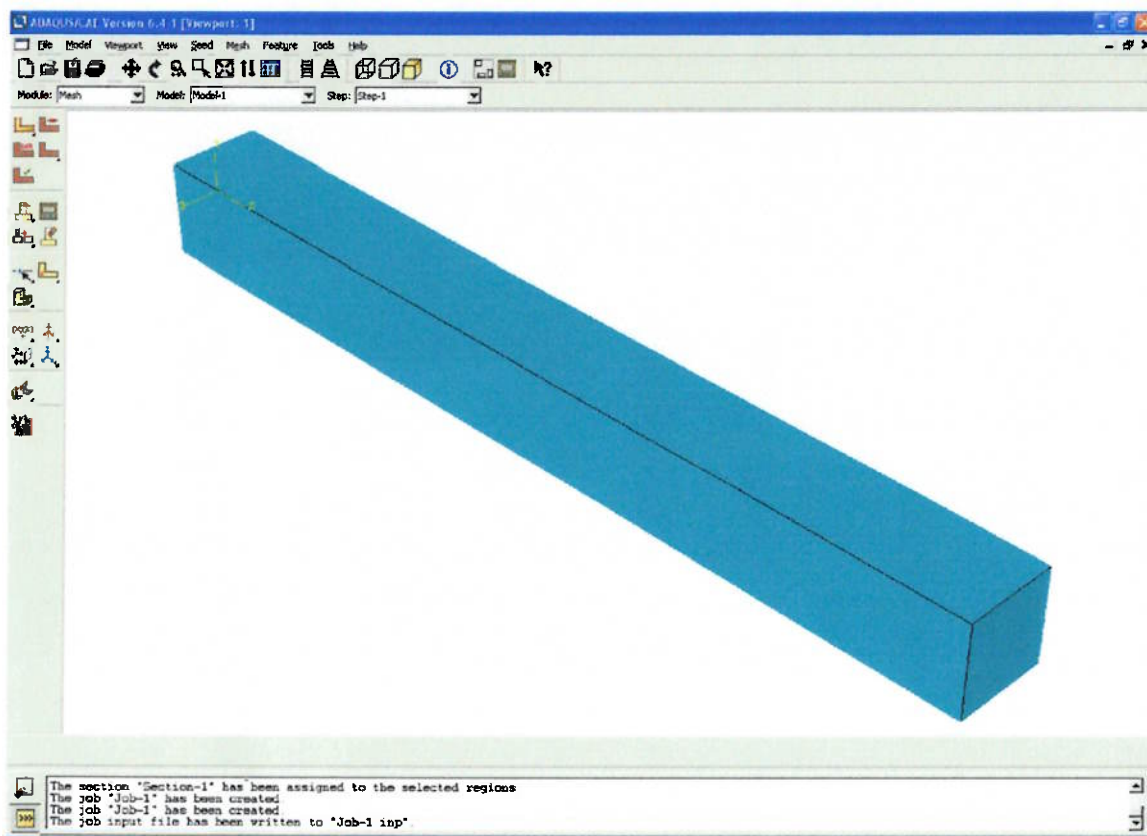


Figura 2.0 Modelo no Abaqus (Mesh).

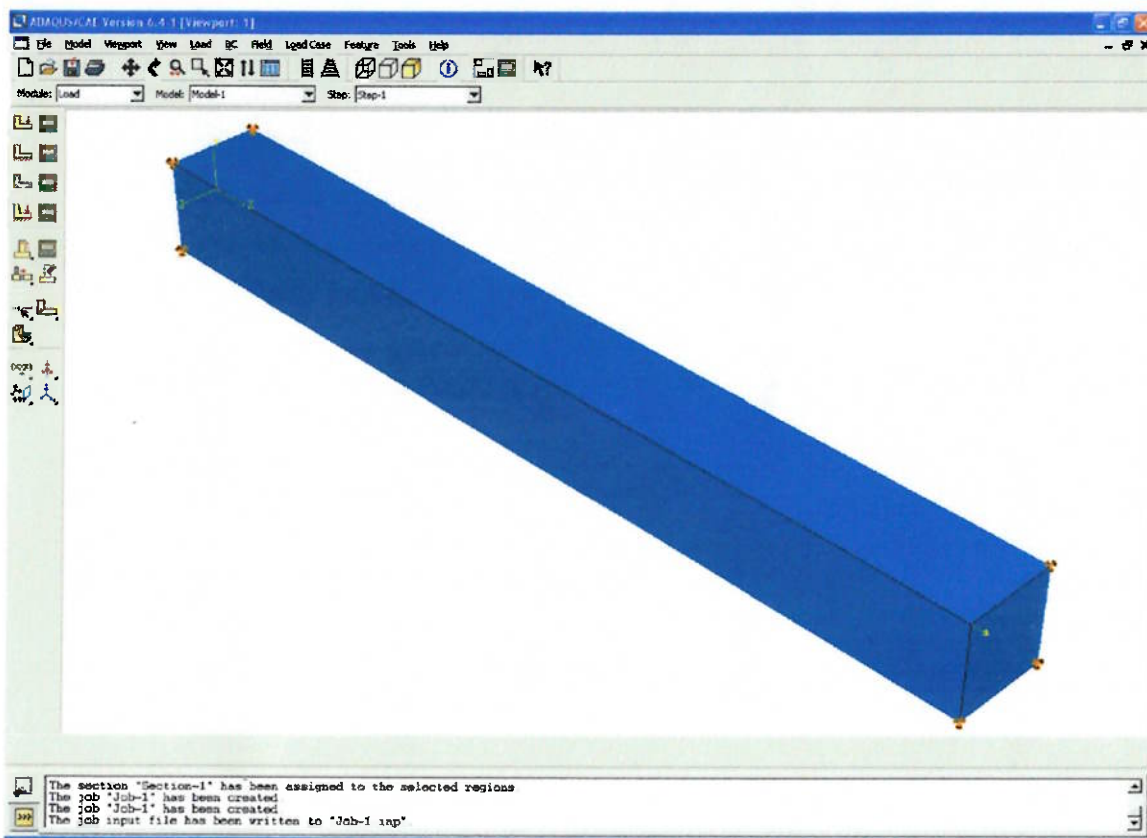


Figura 2.1 Modelo no Abaqus (Load).

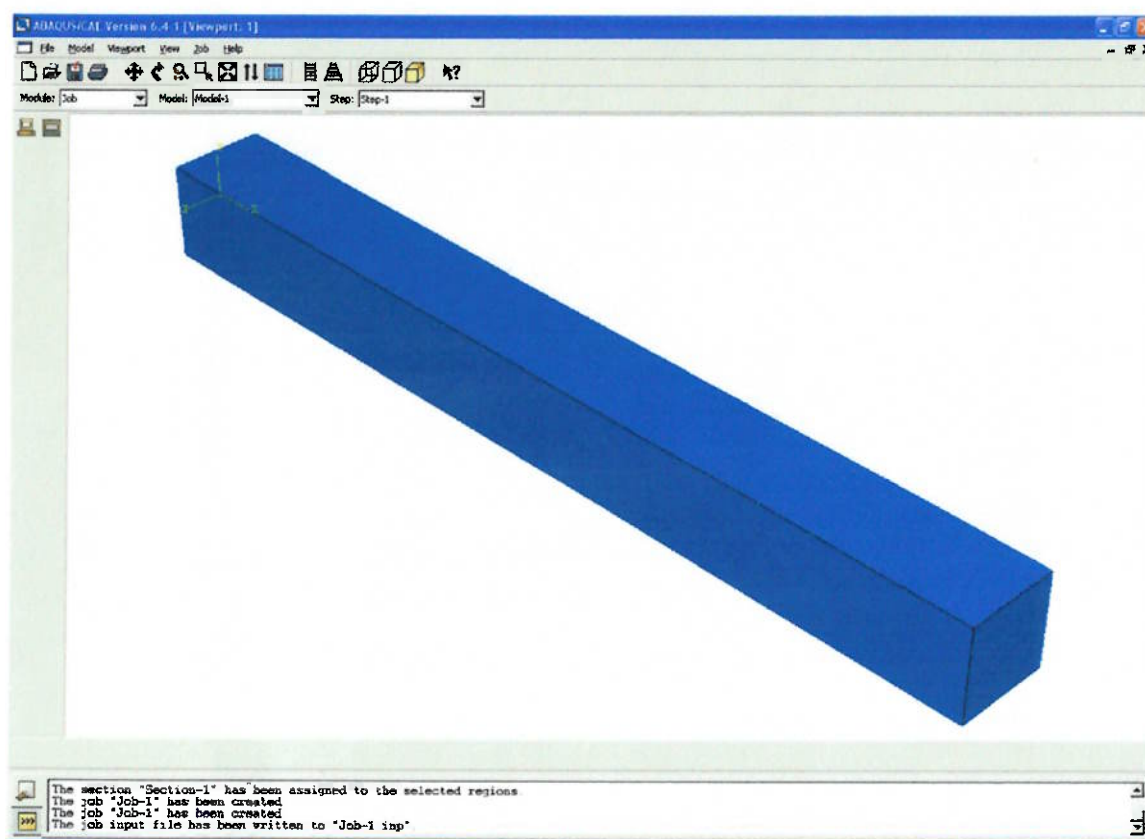


Figura 2.2 Modelo no Abaqus (Job).

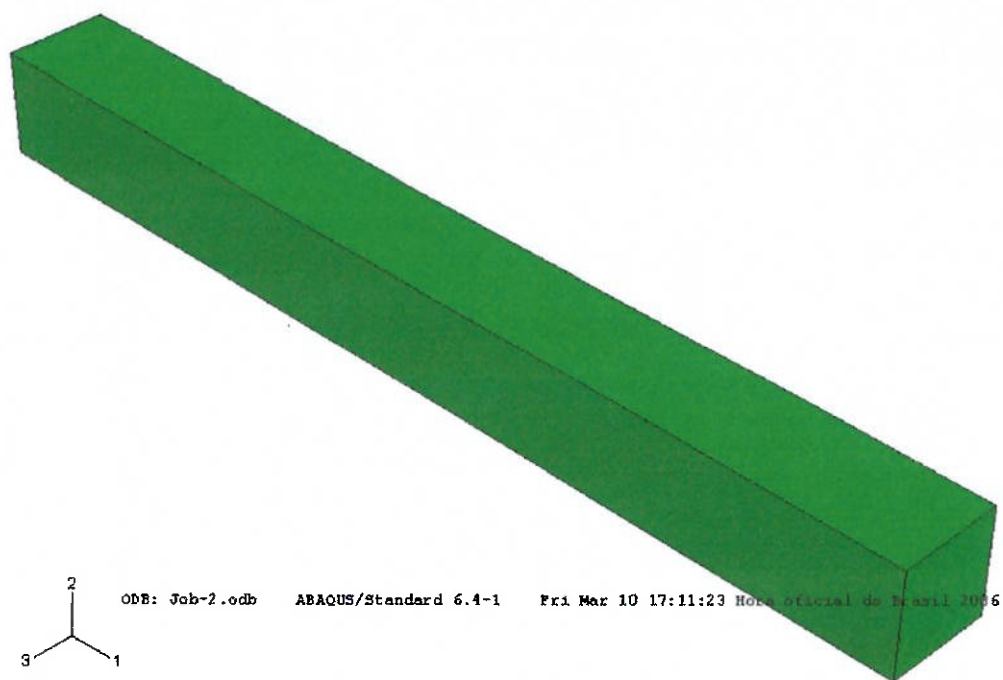


Figura 2.3 Modelo no Abaqus (Result).

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

PMR 2550 –Projeto de conclusão de curso

Job-1.inp

```
*Heading
** Job name: Job-1 Model name: Model-1
*Preprint, echo=NO, model=NO, history=NO, contact=NO
*Node
    1,      0.1,      0.005,      -0.005
    2,      0.1,      0.005,      0.005
    3,      0.1,     -0.005,     -0.005
    4,      0.1,     -0.005,      0.005
    5,      0.,      0.005,     -0.005
    6,      0.,      0.005,      0.005
    7,      0.,     -0.005,     -0.005
    8,      0.,     -0.005,      0.005
*Element, type=C3D8R
1, 5, 6, 8, 7, 1, 2, 4, 3
*Elset, elset=elemento
1,
*Solid Section, elset=elemento, material=Material-1
1.,
*Nset, nset=_PickedSet6
2,
*Nset, nset=_PickedSet7
1, 3, 4, 5, 6, 7, 8
**
** MATERIALS
**
*Material, name=Material-1
*Density
7800.,
*Elastic
2.1e+11, 0.33
** -----
**
** STEP: Step-1
**
*Step, name=Step-1
*Static
1., 1., 1e-05, 1.
**
** BOUNDARY CONDITIONS
**
** Name: BC-1 Type: Displacement/Rotation
*Boundary
_PickedSet7, 1, 1
_PickedSet7, 2, 2
_PickedSet7, 3, 3
**
** LOADS
**
** Name: Load-1 Type: Concentrated force
*Cload
_PickedSet6, 1, 100000.
**
** OUTPUT REQUESTS
**
*Restart, write, frequency=1
*Output, field, variable=PRESELECT
*Output, history, variable=PRESELECT
*ELEMENT MATRIX OUTPUT, ELSET=elemento, STIFFNESS=yes, OUTPUT FILE=USER DEFINED,
FILE NAME=MATRIZ.igs
*El Print, freq=999999
*Node Print, freq=999999
*End Step
```

Job-2.inp

```
*Heading
** Job name: Job-2 Model name: Model-1
*Preprint, echo=NO, model=NO, history=NO, contact=NO
*Node
    1,      0.1,      0.005,      0.005
    2,      0.1,     -0.005,      0.005
    3,      0.1,      0.005,     -0.005
    4,      0.1,     -0.005,     -0.005
    5,      0.,      0.005,      0.005
    6,      0.,     -0.005,      0.005
    7,      0.,      0.005,     -0.005
    8,      0.,     -0.005,     -0.005
*Element, type=C3D8R
1, 5, 6, 8, 7, 1, 2, 4, 3
*Elset, elset=elemento
    1,
*Solid Section, elset=elemento, material=Material-1
1.,
*Nset, nset=_PickedSet7
    1,
*Nset, nset=_PickedSet8, generate
    2, 8, 1
**
** MATERIALS
**
*Material, name=Material-1
*Density
7800.,
*Elastic
2.1e+11, 0.33
** -----
**
** STEP: Step-1
**
*Step, name=Step-1
*Static
1., 1., 1e-05, 1.
**
** BOUNDARY CONDITIONS
**
** Name: BC-1 Type: Displacement/Rotation
*Boundary
_PickedSet8, 1, 1
_PickedSet8, 2, 2
_PickedSet8, 3, 3
**
** LOADS
**
** Name: Load-1 Type: Concentrated force
*Load
_PickedSet7, 1, 100000.
**
** OUTPUT REQUESTS
**
*Restart, write, frequency=1
*Output, field, frequency=0
*Output, history, frequency=0
*ELEMENT MATRIX OUTPUT, ELSET=elemento, STIFFNESS=yes, OUTPUT FILE=USER DEFINED,
FILE NAME=MATRIX2_stp
*El Print, freq=999999
*Node Print, freq=999999
*End Step
```


Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

PMR 2550 –Projeto de conclusão de curso

```
*
*          BUILD ID: 2003_09_29-11.18.28 46457
*
*
*
*   Please make sure you are using version 6.4 manuals
*   plus the notes accompanying this release.
*
*
* * * * *
```

PROCESSING PART, INSTANCE, AND ASSEMBLY INFORMATION

END PROCESSING PART, INSTANCE, AND ASSEMBLY INFORMATION

OPTIONS BEING PROCESSED

```
*Heading
*Node
*Element, type=C3D8R
*Elset, elset=elemento
*Nset, nset=_PickedSet6
*Nset, nset=_PickedSet7
*Material, name=Material-1
*Density
*Elastic
*Solid Section, elset=elemento, material=Material-1
*Boundary
*Solid Section, elset=elemento, material=Material-1
*Step, name=Step-1
*Output, field, variable=PRESELECT
*Output, history, variable=PRESELECT
*Step, name=Step-1
*Step, name=Step-1
*Static
*Boundary
*Output, field, variable=PRESELECT
*Output, history, variable=PRESELECT
*ELEMENT MATRIX OUTPUT, ELSET=elemento, STIFFNESS=yes, OUTPUT FILE=USER DEFINED,
FILE NAME=MATRIZ_igs
*El Print, freq=999999
*End Step
*Step, name=Step-1
*Static
*Boundary
*Cload
*Output, field, variable=PRESELECT
*Output, history, variable=PRESELECT
*Node Print, freq=999999
*End Step
```

1

ABAQUS VERSION 6.4-1

DATE 10-Mar-2006

TIME 17:30:07

PAGE 2

For use by None user license from ABAQUS, Inc.

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

PMR 2550 –Projeto de conclusão de curso

P R O B L E M S I Z E

NUMBER OF ELEMENTS IS 1
NUMBER OF NODES IS 8
NUMBER OF NODES DEFINED BY THE USER 8
TOTAL NUMBER OF VARIABLES IN THE MODEL 24
(DEGREES OF FREEDOM PLUS ANY LAGRANGE MULTIPLIER VARIABLES)

END OF USER INPUT PROCESSING

JOB TIME SUMMARY

USER TIME (SEC) = 0.20000
SYSTEM TIME (SEC) = 0.10000
TOTAL CPU TIME (SEC) = 0.30000
WALLCLOCK TIME (SEC) = 0

1

ABAQUS VERSION 6.4-1

DATE 10-Mar-2006 TIME 17:30:07

PAGE 1

For use by None user license from ABAQUS, Inc.

STEP 1 INCREMENT 1

TIME COMPLETED IN THIS STEP 0.00

S T E P 1 S T A T I C A N A L Y S I S

AUTOMATIC TIME CONTROL WITH -

A SUGGESTED INITIAL TIME INCREMENT OF 1.00
AND A TOTAL TIME PERIOD OF 1.00
THE MINIMUM TIME INCREMENT ALLOWED IS 1.000E-05
THE MAXIMUM TIME INCREMENT ALLOWED IS 1.00

LINEAR EQUATION SOLVER TYPE DIRECT SPARSE

M E M O R Y A N D D I S K E S T I M A T E

SUMMARY FOR CURRENT NODE ORDERING

(NOTE THAT IF NODE ORDERING CHANGES THE SIZE ESTIMATES FOR THE STEPS WILL CHANGE)

DISKSPACE	STEP	MAXIMUM DOF	FLOATING PT	MINIMUM MEMORY	MEMORY TO	REQUIRED
(KBYTES)		WAVEFRONT	OPERATIONS	REQUIRED	MINIMIZE I/O	
			PER ITERATION	(MBYTES)	(MBYTES)	
5.06	1	24	4.90E+003	14.57	14.57	
-----	----	-----	-----	-----	-----	-----

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

PMR 2550 -Projeto de conclusão de curso

5.06 MAX 24 4.90E+003 14.57 14.57

THE TABLE ABOVE PROVIDES A STEP BY STEP SUMMARY OF SOME BASIC SIZING INFORMATION FOR THE PROBLEM. SOME FURTHER DESCRIPTION OF THE PARAMETERS GIVEN FOLLOWS:

- (1) MAXIMUM DOF WAVEFRONT - SIZE OF THE BIGGEST FRONT IN THE EQUATION SOLVER. PROVIDES A BASIC SIZING OF THE MOST MEMORY INTENSIVE SEGMENT OF SOLVER.
- (2) FLOATING POINT OPERATIONS PER ITERATION - MEASURE OF THE NUMBER OF FLOATING POINT OPERATIONS REQUIRED FOR A SINGLE SOLVER PASS. ON A GIVEN PLATFORM THE TIME REQUIRED FOR A SOLVER PASS WILL BE ROUGHLY A LINEAR FUNCTION OF THIS VALUE.
NOTE - EXCEPT FOR THE FIRST STEP, THE VALUE IN THIS TABLE DOES NOT INCLUDE ADDITIONAL FLOATING POINT OPERATIONS THAT ARE REQUIRED IN MULTIPLE LOAD CASE STEPS WHEN CONSTRAINTS CHANGE FROM LOAD CASE TO LOAD CASE. THIS SITUATION CAUSES A REORDERING TO BE PERFORMED, AT WHICH TIME AN UPPER BOUND ON THE NUMBER OF ADDITIONAL FLOATING POINT OPERATIONS WILL BE CALCULATED AND INCLUDED UNDER THE ESTIMATE SUMMARIES FOR THE RELEVANT STEPS (SEE NOTE BELOW ON REORDERING).
- (3) MINIMUM MEMORY REQUIRED - MINIMUM POSSIBLE MEMORY VALUE FOR standard_memory THAT ENABLES ABAQUS TO SOLVE THE PROBLEM. USE OF MEMORY WILL BE MINIMIZED BY WRITING AS MUCH INFORMATION AS POSSIBLE TO DISK WHICH WILL INCREASE I/O TIME.
- (4) MEMORY TO MINIMIZE I/O - VALUE OF standard_memory THAT ALLOWS ABAQUS TO KEEP ALL SIGNIFICANT SCRATCH FILES IN MEMORY. THIS WILL MINIMIZE I/O TIME FOR THE
USER WITH ACCESS TO A LARGE AMOUNT OF MEMORY.
- (5) REQUIRED DISKSPACE - AMOUNT OF DISK REQUIRED FOR SCRATCH FILES. THESE WILL BE DELETED AT THE END OF THE ANALYSIS.

NOTE - WHENEVER POSSIBLE THE USER SHOULD SET standard_memory TO BE LESS THAN THE PHYSICAL MEMORY ON THE MACHINE. UNLESS NECESSARY USERS SHOULD NOT MAKE USE OF VIRTUAL MEMORY EVEN IN AN ATTEMPT TO KEEP SCRATCH FILES IN MEMORY.

VALID. NOTE - IF A REORDERING IS PERFORMED (THIS WILL GENERALLY BE DONE ONLY FOR 3D-3D LARGE SLIDING PROBLEMS), THE SIZE ESTIMATES DONE AT THIS TIME WILL NO LONGER BE
BE THE ESTIMATES WILL BE REDONE IN THE EVENT OF A REORDERING AND A NEW SUMMARY WILL BE PRINTED FOR THE REMAINING STEPS.

S I Z E E S T I M A T E S F O R C U R R E N T S T E P

NUMBER OF EQUATIONS	24
MAX DOF WAVEFRONT	24
FLOATING POINT OPS PER SOLVER ITERATION	4.90E+003
MEMORY USED FOR STEP	14.63 MBYTES

ESTIMATED FILE SIZES

FILE	WORDS	KBYTES
.fct	2400.000	2.344
.nck	192.000	0.188
.opr	2592.000	2.531
-----	-----	-----
TOTAL	5184.000	5.063

E L E M E N T M A T R I X O U T P U T

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

PMR 2550 –Projeto de conclusão de curso

ELEMENT MATRIX OUTPUT REQUESTS WILL BE PRINTED FOR ELEMENT SET ELEMENTO IN FILE
D:\Abaqus\Homero\MATRIZ_igs.mtx

THE ANALYSIS HAS BEEN COMPLETED

ANALYSIS COMPLETE

JOB TIME SUMMARY
USER TIME (SEC) = 0.10000
SYSTEM TIME (SEC) = 0.0000
TOTAL CPU TIME (SEC) = 0.10000
WALLCLOCK TIME (SEC) = 1

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

PMR 2550 –Projeto de conclusão de curso

```
*
*          BUILD ID: 2003_09_29-11.18.28 46457
*
*
* Please make sure you are using version 6.4 manuals
* plus the notes accompanying this release.
*
* * * * *
```

```
PROCESSING PART, INSTANCE, AND ASSEMBLY INFORMATION
*****
```

```
END PROCESSING PART, INSTANCE, AND ASSEMBLY INFORMATION
*****
```

```
OPTIONS BEING PROCESSED
*****
```

```
*Heading
*Node
*Element, type=C3D8R
*Elset, elset=elemento
*Nset, nset=_PickedSet7
*Nset, nset=_PickedSet8, generate
*Material, name=Material-1
*Density
*Elastic
*Solid Section, elset=elemento, material=Material-1
*Boundary
*Solid Section, elset=elemento, material=Material-1
*Step, name=Step-1
*Output, field, frequency=0
*Output, history, frequency=0
*Step, name=Step-1
*Step, name=Step-1
*Static
*Boundary
*Output, field, frequency=0
*Output, history, frequency=0
*ELEMENT MATRIX OUTPUT, ELSET=elemento, STIFFNESS=yes, OUTPUT FILE=USER DEFINED,
FILE NAME=MATRIZ.DAT
*El Print, freq=999999
*End Step
*Step, name=Step-1
*Static
*Boundary
*Load
*Output, field, frequency=0
*Output, history, frequency=0
*Node Print, freq=999999
*End Step
```

1

ABAQUS VERSION 6.4-1

DATE 10-Mar-2006

TIME 17:11:23

PAGE 2

For use by None user license from ABAQUS, Inc.

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

PMR 2550 –Projeto de conclusão de curso

P R O B L E M S I Z E

NUMBER OF ELEMENTS IS 1
NUMBER OF NODES IS 8
NUMBER OF NODES DEFINED BY THE USER 8
TOTAL NUMBER OF VARIABLES IN THE MODEL 24
(DEGREES OF FREEDOM PLUS ANY LAGRANGE MULTIPLIER VARIABLES)

END OF USER INPUT PROCESSING

JOB TIME SUMMARY

USER TIME (SEC) = 0.20000
SYSTEM TIME (SEC) = 0.0000
TOTAL CPU TIME (SEC) = 0.20000
WALLCLOCK TIME (SEC) = 1

1

ABAQUS VERSION 6.4-1

DATE 10-Mar-2006 TIME 17:11:23

PAGE 1

For use by None user license from ABAQUS, Inc.

STEP 1 INCREMENT 1

TIME COMPLETED IN THIS STEP 0.00

S T E P 1 S T A T I C A N A L Y S I S

AUTOMATIC TIME CONTROL WITH -

A SUGGESTED INITIAL TIME INCREMENT OF 1.00
AND A TOTAL TIME PERIOD OF 1.00
THE MINIMUM TIME INCREMENT ALLOWED IS 1.000E-05
THE MAXIMUM TIME INCREMENT ALLOWED IS 1.00

LINEAR EQUATION SOLVER TYPE DIRECT SPARSE

M E M O R Y A N D D I S K E S T I M A T E

SUMMARY FOR CURRENT NODE ORDERING

(NOTE THAT IF NODE ORDERING CHANGES THE SIZE ESTIMATES FOR THE STEPS WILL CHANGE)

DISKSPACE	STEP	MAXIMUM DOF	FLOATING PT	MINIMUM MEMORY	MEMORY TO	REQUIRED
(KBYTES)		WAVEFRONT	OPERATIONS	REQUIRED	MINIMIZE I/O	
			PER ITERATION	(MBYTES)	(MBYTES)	
5.06	1	24	4.90E+003	14.52	14.52	
-----	----	-----	-----	-----	-----	-----

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

PMR 2550 –Projeto de conclusão de curso

5.06 MAX 24 4.90E+003 14.52 14.52

THE TABLE ABOVE PROVIDES A STEP BY STEP SUMMARY OF SOME BASIC SIZING INFORMATION FOR THE PROBLEM. SOME FURTHER DESCRIPTION OF THE PARAMETERS GIVEN FOLLOWS:

- (1) MAXIMUM DOF WAVEFRONT - SIZE OF THE BIGGEST FRONT IN THE EQUATION SOLVER. PROVIDES A BASIC SIZING OF THE MOST MEMORY INTENSIVE SEGMENT OF SOLVER.
- (2) FLOATING POINT OPERATIONS PER ITERATION - MEASURE OF THE NUMBER OF FLOATING POINT OPERATIONS REQUIRED FOR A SINGLE SOLVER PASS. ON A GIVEN PLATFORM THE TIME REQUIRED FOR A SOLVER PASS WILL BE ROUGHLY A LINEAR FUNCTION OF THIS VALUE.
NOTE - EXCEPT FOR THE FIRST STEP, THE VALUE IN THIS TABLE DOES NOT INCLUDE ADDITIONAL FLOATING POINT OPERATIONS THAT ARE REQUIRED IN MULTIPLE LOAD CASE STEPS WHEN CONSTRAINTS CHANGE FROM LOAD CASE TO LOAD CASE. THIS SITUATION CAUSES A REORDERING TO BE PERFORMED, AT WHICH TIME AN UPPER BOUND ON THE NUMBER OF ADDITIONAL FLOATING POINT OPERATIONS WILL BE CALCULATED AND INCLUDED UNDER THE ESTIMATE SUMMARIES FOR THE RELEVANT STEPS (SEE NOTE BELOW ON REORDERING).
- (3) MINIMUM MEMORY REQUIRED - MINIMUM POSSIBLE MEMORY VALUE FOR standard_memory THAT ENABLES ABAQUS TO SOLVE THE PROBLEM. USE OF MEMORY WILL BE MINIMIZED BY WRITING AS MUCH INFORMATION AS POSSIBLE TO DISK WHICH WILL INCREASE I/O TIME.
- (4) MEMORY TO MINIMIZE I/O - VALUE OF standard_memory THAT ALLOWS ABAQUS TO KEEP ALL SIGNIFICANT SCRATCH FILES IN MEMORY. THIS WILL MINIMIZE I/O TIME FOR THE
USER WITH ACCESS TO A LARGE AMOUNT OF MEMORY.
- (5) REQUIRED DISKSPACE - AMOUNT OF DISK REQUIRED FOR SCRATCH FILES. THESE WILL BE DELETED AT THE END OF THE ANALYSIS.

NOTE - WHENEVER POSSIBLE THE USER SHOULD SET standard_memory TO BE LESS THAN THE PHYSICAL MEMORY ON THE MACHINE. UNLESS NECESSARY USERS SHOULD NOT MAKE USE OF VIRTUAL MEMORY EVEN IN AN ATTEMPT TO KEEP SCRATCH FILES IN MEMORY.

NOTE - IF A REORDERING IS PERFORMED (THIS WILL GENERALLY BE DONE ONLY FOR 3D-3D LARGE SLIDING PROBLEMS), THE SIZE ESTIMATES DONE AT THIS TIME WILL NO LONGER BE

VALID.

BE

THE ESTIMATES WILL BE REDONE IN THE EVENT OF A REORDERING AND A NEW SUMMARY WILL BE PRINTED FOR THE REMAINING STEPS.

S I Z E E S T I M A T E S F O R C U R R E N T S T E P

NUMBER OF EQUATIONS	24
MAX DOF WAVEFRONT	24
FLOATING POINT OPS PER SOLVER ITERATION	4.90E+003
MEMORY USED FOR STEP	14.58 MBYTES

ESTIMATED FILE SIZES

FILE	WORDS	KBYTES
.fct	2400.000	2.344
.nck	192.000	0.188
.opr	2592.000	2.531
-----	-----	-----
TOTAL	5184.000	5.063

E L E M E N T M A T R I X O U T P U T

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

PMR 2550 –Projeto de conclusão de curso

ELEMENT MATRIX OUTPUT REQUESTS WILL BE PRINTED FOR ELEMENT SET ELEMENTO IN FILE
D:\Abaqus\Homero\MATRIZ.DAT_stp.mtx

THE ANALYSIS HAS BEEN COMPLETED

ANALYSIS COMPLETE

JOB TIME SUMMARY

USER TIME (SEC)	=	0.0000
SYSTEM TIME (SEC)	=	0.0000
TOTAL CPU TIME (SEC)	=	0.0000
WALLCLOCK TIME (SEC)	=	0

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

PMR 2550 –Projeto de conclusão de curso

MATRIZ_igs.mtx

```
**
** ELEMENT NUMBER          1 STEP NUMBER          1 INCREMENT NUMBER          1
** ELEMENT TYPE C3D8R
** USER ELEMENT, NODES=          8, LINEAR
** ELEMENT NODES
**          5,          6,          8,          7,          1,          2,          4,
3
          1,          2,          3
*MATRIX,TYPE=STIFFNESS
1006474778.6378 ,
-145123839.00929 , 2461622600.6192
145123839.00929 , -145123839.00929 , 2461622600.6192
19353554.953560 , -145123839.00929 , 46439628.482972 , 1006474778.6378
-145123839.00929 , 1446868653.2508 , -464396284.82972 , -145123839.00929
2461622600.6192 ,
-46439628.482972 , 464396284.82972 , -1455608126.9350 , -145123839.00929
145123839.00929 , 2461622600.6192
-967395510.83591 , -46439628.482972 , 46439628.482972 , 19353554.953560
-46439628.482972 , -145123839.00929 , 1006474778.6378
46439628.482972 , -2433146284.8297 , 145123839.00929 , 46439628.482972
-1455608126.9350 , -464396284.82972 , 145123839.00929 , 2461622600.6192
-46439628.482972 , 145123839.00929 , -2433146284.8297 , -145123839.00929
464396284.82972 , 1446868653.2508 , -145123839.00929 , -145123839.00929
2461622600.6192 ,
19353554.953560 , -46439628.482972 , 145123839.00929 , -967395510.83591
-46439628.482972 , -46439628.482972 , 19353554.953560 , 145123839.00929
-46439628.482972 , 1006474778.6378
46439628.482972 , -1455608126.9350 , 464396284.82972 , 46439628.482972
-2433146284.8297 , -145123839.00929 , 145123839.00929 , 1446868653.2508
-464396284.82972 , 145123839.00929 , 2461622600.6192
145123839.00929 , -464396284.82972 , 1446868653.2508 , 46439628.482972
-145123839.00929 , -2433146284.8297 , 46439628.482972 , 464396284.82972
-1455608126.9350 , 145123839.00929 , 145123839.00929 , 2461622600.6192
967302471.36222 , 46439628.482972 , -46439628.482972 , -19446594.427244
46439628.482972 , 145123839.00929 , -1006195660.2167 , -145123839.00929
145123839.00929 , -19446594.427244 , -145123839.00929 , -46439628.482972
1006474778.6378 ,
-46439628.482972 , 2423842337.4613 , -145123839.00929 , -46439628.482972
1446304179.5666 , 464396284.82972 , -145123839.00929 , -2433710758.5139
145123839.00929 , -145123839.00929 , -1456172600.6192 , -464396284.82972
145123839.00929 , 2461622600.6192
46439628.482972 , -145123839.00929 , 2423842337.4613 , 145123839.00929
-464396284.82972 , -1456172600.6192 , 145123839.00929 , 145123839.00929
-2433710758.5139 , 46439628.482972 , 464396284.82972 , 1446304179.5666
-145123839.00929 , -145123839.00929 , 2461622600.6192
-19446594.427244 , 46439628.482972 , -145123839.00929 , 967302471.36222
46439628.482972 , 46439628.482972 , -19446594.427244 , -145123839.00929
46439628.482972 , -1006195660.2167 , -145123839.00929 , -145123839.00929
19353554.953560 , 145123839.00929 , -46439628.482972 , 1006474778.6378
-46439628.482972 , 1446304179.5666 , -464396284.82972 , -46439628.482972
2423842337.4613 , 145123839.00929 , -145123839.00929 , -1456172600.6192
464396284.82972 , -145123839.00929 , -2433710758.5139 , -145123839.00929
145123839.00929 , 1446868653.2508 , -464396284.82972 , 145123839.00929
2461622600.6192 ,
-145123839.00929 , 464396284.82972 , -1456172600.6192 , -46439628.482972
145123839.00929 , 2423842337.4613 , -46439628.482972 , -464396284.82972
1446304179.5666 , -145123839.00929 , -145123839.00929 , -2433710758.5139
46439628.482972 , 464396284.82972 , -1455608126.9350 , 145123839.00929
145123839.00929 , 2461622600.6192
-1006195660.2167 , 145123839.00929 , -145123839.00929 , -19446594.427244
145123839.00929 , 46439628.482972 , 967302471.36222 , -46439628.482972
46439628.482972 , -19446594.427244 , -46439628.482972 , -145123839.00929
-967395510.83591 , 46439628.482972 , -46439628.482972 , 19353554.953560
46439628.482972 , 145123839.00929 , 1006474778.6378
```

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

PMR 2550 – Projeto de conclusão de curso

145123839.00929	, -2433710758.5139	, 1451238390.0929	, 145123839.00929
-1456172600.6192	, -464396284.82972	, 46439628.482972	, 2423842337.4613
-1451238390.0929	, 46439628.482972	, 1446304179.5666	, 464396284.82972
-46439628.482972	, -2433146284.8297	, 1451238390.0929	, -46439628.482972
-1455608126.9350	, -464396284.82972	, -145123839.00929	, 2461622600.6192
-145123839.00929	, 1451238390.0929	, -2433710758.5139	, -46439628.482972
464396284.82972	, 1446304179.5666	, -46439628.482972	, -1451238390.0929
2423842337.4613	, -145123839.00929	, -464396284.82972	, -1456172600.6192
46439628.482972	, 1451238390.0929	, -2433146284.8297	, 145123839.00929
464396284.82972	, 1446868653.2508	, 145123839.00929	, -1451238390.0929
2461622600.6192			
-19446594.427244	, 145123839.00929	, -46439628.482972	, -1006195660.2167
145123839.00929	, 145123839.00929	, -19446594.427244	, -46439628.482972
145123839.00929	, 967302471.36222	, -46439628.482972	, -46439628.482972
19353554.953560	, 46439628.482972	, -145123839.00929	, -967395510.83591
46439628.482972	, 46439628.482972	, 19353554.953560	, -145123839.00929
46439628.482972	, 1006474778.6378		
145123839.00929	, -1456172600.6192	, 464396284.82972	, 145123839.00929
-2433710758.5139	, -1451238390.0929	, 46439628.482972	, 1446304179.5666
-464396284.82972	, 46439628.482972	, 2423842337.4613	, 1451238390.0929
-46439628.482972	, -1455608126.9350	, 464396284.82972	, -46439628.482972
-2433146284.8297	, -1451238390.0929	, -145123839.00929	, 1446868653.2508
-464396284.82972	, -145123839.00929	, 2461622600.6192	
46439628.482972	, -464396284.82972	, 1446304179.5666	, 145123839.00929
-1451238390.0929	, -2433710758.5139	, 145123839.00929	, 464396284.82972
-1456172600.6192	, 46439628.482972	, 1451238390.0929	, 2423842337.4613
-145123839.00929	, -464396284.82972	, 1446868653.2508	, -46439628.482972
-1451238390.0929	, -2433146284.8297	, -46439628.482972	, 464396284.82972
-1455608126.9350	, -145123839.00929	, 1451238390.0929	, 2461622600.6192

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

PMR 2550 –Projeto de conclusão de curso

MATRIZ_stp.mtx

```
**
** ELEMENT NUMBER          1 STEP NUMBER          1 INCREMENT NUMBER          1
** ELEMENT TYPE C3D8R
** USER ELEMENT, NODES=      8, LINEAR
** ELEMENT NODES
**      5,      6,      8,      7,      1,      2,      4,
3
      1,      2,      3
*MATRIX,TYPE=STIFFNESS
1006474778.6378
-145123839.00929      , 2461622600.6192
-145123839.00929      , 1451238390.0929      , 2461622600.6192
19353554.953560      , -46439628.482972      , -145123839.00929      , 1006474778.6378
46439628.482972      , -1455608126.9350      , -464396284.82972      , 145123839.00929
2461622600.6192      ,
-145123839.00929      , 464396284.82972      , 1446868653.2508      , -145123839.00929
-145123839.0929      , 2461622600.6192
-967395510.83591      , -46439628.482972      , -46439628.482972      , 19353554.953560
145123839.00929      , -46439628.482972      , 1006474778.6378
46439628.482972      , -2433146284.8297      , -1451238390.0929      , 145123839.00929
1446868653.2508      , -464396284.82972      , 145123839.00929      , 2461622600.6192
46439628.482972      , -1451238390.0929      , -2433146284.8297      , 46439628.482972
464396284.82972      , -1455608126.9350      , 145123839.00929      , 1451238390.0929
2461622600.6192      ,
19353554.953560      , -145123839.00929      , -46439628.482972      , -967395510.83591
46439628.482972      , -46439628.482972      , 19353554.953560      , 46439628.482972
145123839.00929      , 1006474778.6378
-145123839.00929      , 1446868653.2508      , 464396284.82972      , -46439628.482972
-2433146284.8297      , 1451238390.0929      , -46439628.482972      , -1455608126.9350
-464396284.82972      , -145123839.00929      , 2461622600.6192
46439628.482972      , -464396284.82972      , -1455608126.9350      , 46439628.482972
1451238390.0929      , -2433146284.8297      , 145123839.00929      , 464396284.82972
1446868653.2508      , 145123839.00929      , -1451238390.0929      , 2461622600.6192
967302471.36222      , 46439628.482972      , 46439628.482972      , -19446594.427244
-145123839.00929      , 46439628.482972      , -1006195660.2167      , -145123839.00929
-145123839.00929      , -19446594.427244      , 46439628.482972      , -145123839.00929
1006474778.6378      ,
-46439628.482972      , 2423842337.4613      , 1451238390.0929      , -145123839.00929
-1456172600.6192      , 464396284.82972      , -145123839.00929      , -2433710758.5139
-1451238390.0929      , -46439628.482972      , 1446304179.5666      , -464396284.82972
145123839.00929      , 2461622600.6192
-46439628.482972      , 1451238390.0929      , 2423842337.4613      , -46439628.482972
-464396284.82972      , 1446304179.5666      , -145123839.00929      , -1451238390.0929
-2433710758.5139      , -145123839.00929      , 464396284.82972      , -1456172600.6192
145123839.00929      , 1451238390.0929      , 2461622600.6192
-19446594.427244      , 145123839.00929      , 46439628.482972      , 967302471.36222
-46439628.482972      , 46439628.482972      , -19446594.427244      , -46439628.482972
-145123839.00929      , -1006195660.2167      , 145123839.00929      , -145123839.00929
19353554.953560      , 46439628.482972      , 145123839.00929      , 1006474778.6378
145123839.00929      , -1456172600.6192      , -464396284.82972      , 46439628.482972
2423842337.4613      , -1451238390.0929      , 46439628.482972      , 1446304179.5666
464396284.82972      , 145123839.00929      , -2433710758.5139      , 1451238390.0929
-46439628.482972      , -1455608126.9350      , -464396284.82972      , -145123839.00929
2461622600.6192      ,
-46439628.482972      , 464396284.82972      , 1446304179.5666      , -46439628.482972
-1451238390.0929      , 2423842337.4613      , -145123839.00929      , -464396284.82972
-1456172600.6192      , -145123839.00929      , 1451238390.0929      , -2433710758.5139
145123839.00929      , 464396284.82972      , 1446868653.2508      , 145123839.00929
-1451238390.0929      , 2461622600.6192
-1006195660.2167      , 145123839.00929      , 145123839.00929      , -19446594.427244
-46439628.482972      , 145123839.00929      , 967302471.36222      , -46439628.482972
-46439628.482972      , -19446594.427244      , 145123839.00929      , -46439628.482972
-967395510.83591      , 46439628.482972      , 46439628.482972      , 19353554.953560
-145123839.00929      , 46439628.482972      , 1006474778.6378
```

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

PMR 2550 – Projeto de conclusão de curso

145123839.00929	, -2433710758.5139	, -1451238390.0929	, 46439628.482972
1446304179.5666	, -464396284.82972	, 46439628.482972	, 2423842337.4613
1451238390.0929	, 145123839.00929	, -1456172600.6192	, 464396284.82972
-46439628.482972	, -2433146284.8297	, -1451238390.0929	, -145123839.00929
1446868653.2508	, -464396284.82972	, -145123839.00929	, 2461622600.6192
145123839.00929	, -1451238390.0929	, -2433710758.5139	, 145123839.00929
464396284.82972	, -1456172600.6192	, 46439628.482972	, 1451238390.0929
2423842337.4613	, 46439628.482972	, -464396284.82972	, 1446304179.5666
-46439628.482972	, -1451238390.0929	, -2433146284.8297	, -46439628.482972
464396284.82972	, -1455608126.9350	, -145123839.00929	, 1451238390.0929
2461622600.6192	,	,	,
-19446594.427244	, 46439628.482972	, 145123839.00929	, -1006195660.2167
-145123839.00929	, 145123839.00929	, -19446594.427244	, -145123839.00929
-46439628.482972	, 967302471.36222	, 46439628.482972	, -46439628.482972
19353554.953560	, 145123839.00929	, 46439628.482972	, -967395510.83591
-46439628.482972	, 46439628.482972	, 19353554.953560	, -46439628.482972
-145123839.00929	, 1006474778.6378	,	,
-46439628.482972	, 1446304179.5666	, 464396284.82972	, -145123839.00929
-2433710758.5139	, 1451238390.0929	, -145123839.00929	, -1456172600.6192
-464396284.82972	, -46439628.482972	, 2423842337.4613	, -1451238390.0929
145123839.00929	, 1446868653.2508	, 464396284.82972	, 46439628.482972
-2433146284.8297	, 1451238390.0929	, 46439628.482972	, -1455608126.9350
-464396284.82972	, 145123839.00929	, 2461622600.6192	,
145123839.00929	, -464396284.82972	, -1456172600.6192	, 145123839.00929
1451238390.0929	, -2433710758.5139	, 46439628.482972	, 464396284.82972
1446304179.5666	, 46439628.482972	, -1451238390.0929	, 2423842337.4613
-46439628.482972	, -464396284.82972	, -1455608126.9350	, -46439628.482972
1451238390.0929	, -2433146284.8297	, -145123839.00929	, 464396284.82972
1446868653.2508	, -145123839.00929	, -1451238390.0929	, 2461622600.6192