

ANAIS

PROCEEDINGS



**COBEM 79**  
**V CONGRESSO BRASILEIRO DE**  
**ENGENHARIA MECANICA**

CAMPINAS, 12-13-14 e 15

DEZEMBRO 1979

TRABALHO TÉCNOLÓGICO  
 TECHNICAL PAPER

N.º DT-05

P.P. 181 - 190

ARQUITETURA DE UM SISTEMA MODULAR DE ELEMENTOS FINITOS

II - APLICAÇÕES.

Clovis Sperb de Barcellos

Prof. Titular - Depto. Eng. Mecânica

CT/UFSC - Florianópolis - SC - Brasil

Edison da Rosa

Prof. Assistente - Depto. Eng. Mecânica

CT/UFSC - Florianópolis - SC - Brasil.

Sumário

Neste artigo são apresentadas características do Sistema Modular de Elementos Finitos, SIMELF, ilustrados para elementos sólidos isoparamétricos de 8, 20 ou 32 nós. A aplicação inicial se destina à análise estática de tensões em sólidos elásticos, devido à cargas distribuídas, concentradas e gradientes térmicos.

Summary

The architecture characteristics of a Finite Element Modular System, SIMELF, is illustrated for isoparametric solid elements with 8, 20 or 32 nodes. This System is initially applied for thermoelastostatic analysis in solids for concentrated and distributed loads.

## 1- INTRODUÇÃO

Em trabalho anterior [1], foram apresentadas as características desejáveis para um sistema de elementos finitos. Um sistema modular de elementos finitos SIMELF, com tais características está sendo desenvolvido. Este sistema consiste basicamente de um amplo conjunto de módulos que podem ser aglutinados por programas gerenciais de diversos modos. Por exemplo os módulos podem ser acoplados de modo a se obter um programa adequado para a solução de uma classe específica de problemas em um dado meio contínuo. Por outro lado, tais módulos podem ser conectados também por um programa gerencial mais sofisticado, para constituir um programa de uso mais geral, isto é, um programa apto para resolver diferentes classes de problemas, bem como em meios diversos.

Como ilustração é descrito neste trabalho o processo de solução de problemas termoelastoestático lineares em sólidos de forma qualquer. Tais fenômenos são descritos por equações do tipo  $KX = F$  onde  $F$  é o vetor de forças de origem térmica e de carregamentos nodais e distribuídos superficial e volumetricamente. Na matriz de rigidez  $K$  estão definidas todas as propriedades do meio e as condições de contorno. O usuário pode opcionalmente calcular a matriz  $K$  incluindo as propriedades elásticas do material numa temperatura de referência, uniforme em todo o sólido, ou então, nas temperaturas locais instantâneas correspondentes ao campo de temperatura de um carregamento térmico específico.

## 2- ARQUITETURA DO SISTEMA.

O sistema é formado por um conjunto de fases operacionais de processamentos independentes entre si. A interligação entre as fases é feita pelo programa principal, sendo a transferência de dados feita pelos arquivos definidos nas unidades secundárias, bem como por áreas comuns. O sistema apresenta flexibilidade suficiente para permitir a substituição ou inclusão de diferentes fases operacionais, conforme seja requerido pelo processo de solução e tipo de problema.

As fases necessárias para constituir um programa de elementos finitos, para o tipo de problema acima mencionado, podem ser definidas como: fase de leitura e geração de dados

-LEGER, fase de cálculo das matrizes de comportamento-CALMA, fase de montagem das matrizes globais-SOBRE, fase de resolução do sistema de equações, onde pode ser a solução pelo processo de matriz de banda-SOMBA, ou solução frontal-SOFRO, fase de processamento final e confecção do relatório-RELATO. No caso do SIMELF, foi incluída uma fase, PREPE, logo após a de leitura e geração para realizar um pré-processamento dos dados visando uma redução de memória na próxima fase.

As fases são constituídas de um conjunto de módulos que são acoplados por subrotinas gerenciadoras. Um módulo pode ser definido como um conjunto de subrotinas e funções programado para executar uma tarefa específica. Esta programação é feita sem ter em vista a resolução de um problema específico, mas sim a possibilidade de ser utilizado em qualquer tipo de problema, quando possível. Deste modo, a resolução de um problema termoelastoestático linear pode ser realizada conforme mostra a figura 1.

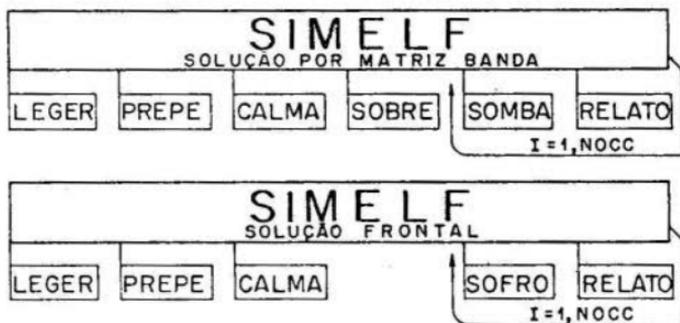


Fig.1. Arquitetura do sistema para a solução de problemas estáticos lineares.

### 3- ARQUITETURA DAS FASES.

Cada fase do SIMELF é constituída por um conjunto de módulos que executam tarefas específicas tendo uma pequena e precisa interface com o sistema gerenciador. Esse sistema gerenciador possui tarefas como: inicialização de variáveis, controle de execução e transferência, definir e redefinir endereços, transferência de dados na área usada como "buffer" para os arquivos secundários, preparação de dados de entrada para os módulos e ordenar a sua execução. Nas figuras 2 e 3 estão

esquematzadas as fases com seus módulos e as subrotinas.

A fase LEGER é constituída dos seguintes módulos:

- TOPO- Leitura e geração de dados que definem a topologia dos elementos, bem como, parâmetros definidores destes.  
 COOR- Leitura e geração de dados das coordenadas dos nós.  
 PROMA- Leitura e definição das matrizes de propriedades dos materiais. Certos materiais tem seus dados embutidos.  
 DISLO- Leitura de condições de cargas térmicas e distribuídas até o máximo de 30 carregamentos independentes.

A fase PREPE é constiuída dos módulos:

- PRTEM- Redispõe as temperaturas nodais de acordo com a numeração dos nós dos elementos, conforme o Arquivo 2 de elementos e as coloca no Arquivo 4.  
 PRCOOR- Coloca as coordenadas dos nós de cada elemento, toma das a partir do Arquivo 1 e as coloca junto ao pacote de informações desse elemento no Arquivo 2.

Para determinar as matrizes elementares em termos de valores nodais, a fase CALMA usa os seguintes módulos:

- INGE- Inicializa e define matrizes de parâmetros para a subrotina gerencial ordenar a execução correta das tarefas a serem executadas.  
 MAPI- Determina as propriedades locais do material.  
 FIDE- Determina os valores locais da funções de interpolação e de suas derivadas, bem como, o operador jacobiano.  
 MTEL- Define os cabeçalhos das matrizes de tensão e de rigidez, bem como a integra.  
 CARV- Determina as matrizes de forças equivalentes às cargas térmicas e de massa.  
 CARS- Determina as matrizes de forças equivalentes às cargas superficiais.  
 ELEC- Processa os elementos cópia.  
 COMPAC- Elimina os parâmetros não nodais, caso existam.  
 ARQMA- Armazena as matrizes dos elementos no Arquivo 6.

Se o processo de solução escolhido for o de matriz ban da, são usadas as fases SOBRE e CALMA. A fase SOBRE obtém as matrizes de força e de rigidez elementares com seus cabeçalhos

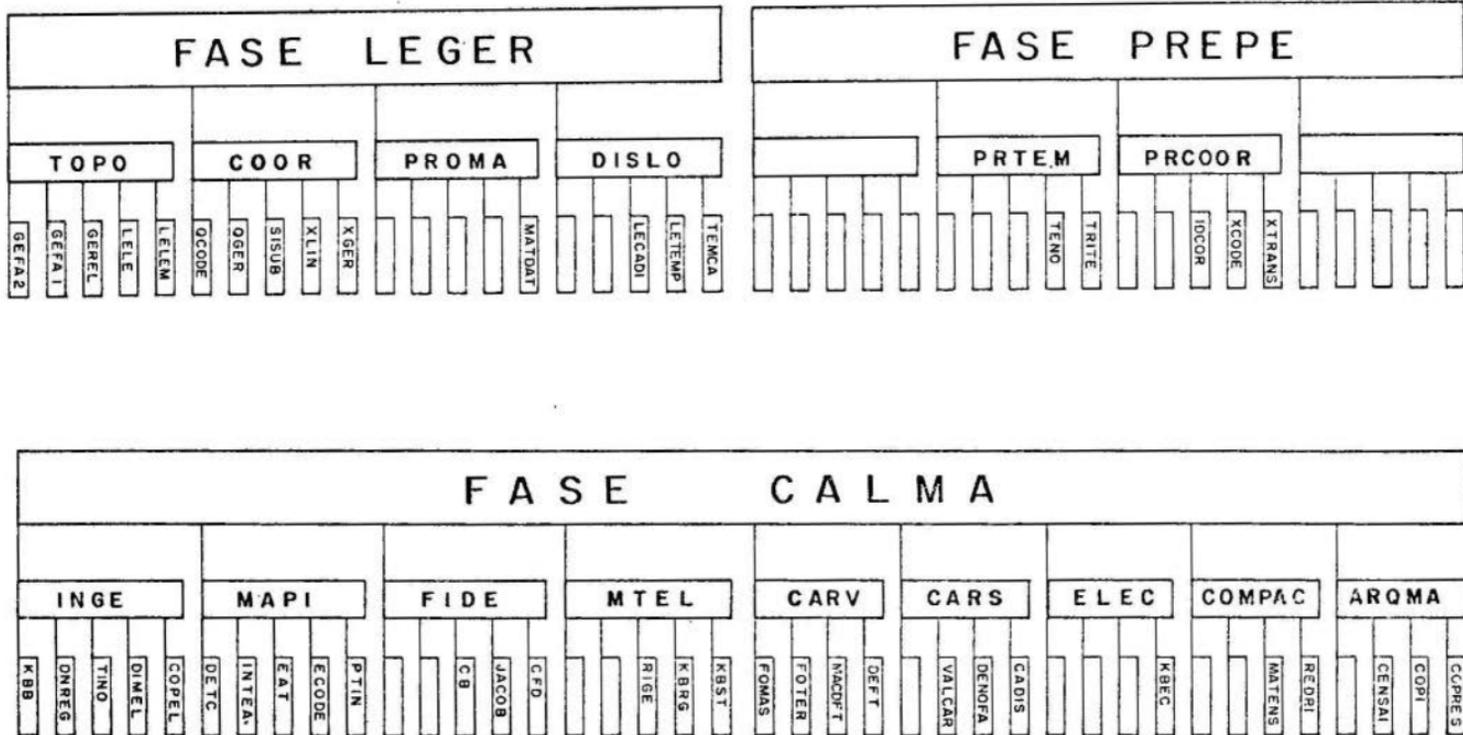


Fig.2- Arquitetura das fases LEGER, PREPE e CALMA.

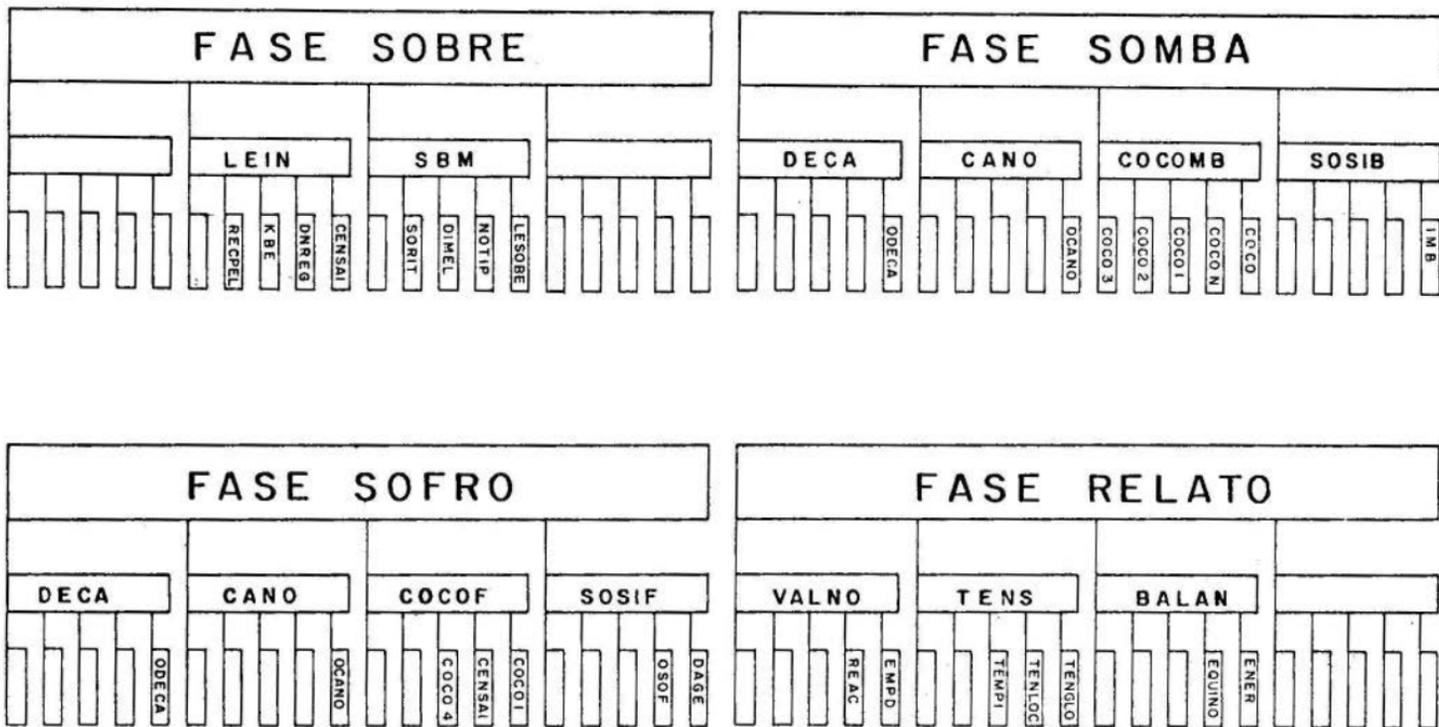


Fig.3- Arquitetura das fases SOBRE, SOMBA, SOFRO e RELATO.

do Arquivo 6, pelo módulo LEIN e interpreta os cabeçalhos e sobrepõe as matrizes para obter as matrizes de rigidez e força globais pelo módulo SBM. A seguir, a fase SOMBA determina as soluções do sistema de equações para cada tipo de condições de contorno. Assim, para cada tipo de condição de contorno são executados os módulos:

- DECA- Define os carregamentos. Aqui, vetores de carregamentos já obtidos podem ser dispostos e sobrepostos conforme for desejado.
- CANO- As cargas nodais são lidas e sobrepostas ao carregamento já definido no módulo DECA.
- COCOMB- As condições de contorno são lidas e interpretadas e as matrizes de rigidez e força são modificadas apropriadamente.
- SOSIB- Os vetores solução para os respectivos vetores força são obtidos.

Caso o processo de solução seja o de solução frontal são executados os módulos DECA e CANO já comentados, bem como COCOF- As condições de contorno são lidas, interpretadas e processadas.

SOSIF- Obtém os vetores solução correspondentes aos vetores carga.

A fase RELATO, executa os módulos de pós-processamento e geração de relatórios para cada carregamento. Os módulos operacionais são os seguintes:

- VALNO- Imprime os valores dos graus de liberdade nodais.
- ENER- Calcula os balanços de energia global, externa e interna, bem como a energia de cada elemento, imprimindo os resultados.
- EQUINO- Calcula os equilíbrios nodais e as incógnitas de contorno (reações) e gera o respectivo relatório.
- TENGL0- Calcula as componentes de tensão nos pontos solicitados, em relação ao sistema global, imprimindo.
- TENLOC- Calcula as componentes de tensão nos pontos solicitados, em relação a um sistema local, imprimindo os resultados.
- TENPI- Calcula e imprime as tensões principais e suas respectivas direções.

No sistema SIMELF existem ainda dois módulos comuns a todas as fases, que são GERECI e MANDA. O módulo GERECI se destina a definir os parâmetros que irão determinar o procedimento de execução do programa. Tais parâmetros definem a sequência de execução, características dos elementos disponíveis e características dos Arquivos secundários. O módulo é constituído de um conjunto de subrotinas e áreas de informação em COMMON.

Em um programa de elementos finitos, pelo volume de informações processadas, é vital que exista um conjunto de subrotinas específicas para a manipulação de dados, no que se refere a entrada e saída de arquivos secundários, zera-gem, controle de "buffer", impressão padronizada, etc. Essas operações são executadas pelo módulo MANDA.

#### 4- ESTRUTURA DOS ARQUIVOS

O arquivamento dos dados processados, ou a serem processados, é feita em uma série de arquivos definidos em unidades secundárias de memória. Os arquivos possuem uma numeração interna do programa sequencial de 1 até o número total de arquivos. No programa principal é feita a correspondência entre a numeração interna e externa, usada nos DEFINE FILE.

O Arquivo 1 possui 4 áreas de armazenamento, onde são guardadas as informações correspondentes aos dados dos materiais, orientações dos sistemas de referência, origens dos sistemas de referência subestruturais e as coordenadas dos nós, relativas aos sistemas subestruturais. As propriedades dos materiais podem ser fornecidas pelo usuário, ou então usar algum dos 10 materiais com propriedades já embutidas no programa. As propriedades termoelásticas são consideradas variáveis com a temperatura, de acordo com as informações contidas no ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE, SECTION III.

O Arquivo 2 guarda as informações de cada elemento, como o número do elemento, tipo de material, tipo de elemento, ordem das funções de interpolação, ordem da integração, tipo de informação desejada no relatório, número dos nós do elemento e coordenadas dos nós, estas relativas ao sistema global.

O Arquivo 3 contém informações correspondentes ao

ARQUIVO 1										
IMAT	PROPRIEDADES ELÁSTICAS DOS MATERIAIS					MATRIZES DE TRANSIÇÃO				
XNU										
E	$\alpha$	T	NQ	Q	NREF	NQ	$X_0$	NNO	NCOMB	X
COORDENADAS DOS NÓS										

ARQUIVO 2										
INFORMAÇÕES SOBRE OS ELEMENTOS E PRECISÃO DE FORMULAÇÃO E INTEGRAÇÃO										
DADOS SOBRE O ELEMENTO DE Nº NULE										
NULE	IMAT	ITIEL	NOFI	NPQG	IOUT	NUNOS	XCOORD			

ARQUIVO 3										
TEMPERATURAS NODAIS DEVIDO À CARGAS TÉRMICAS										
DADOS DO CARREGAMENTO Nº NCAR										
NCAR	NNO	TEMP								

ARQUIVO 4										
INFORMAÇÕES DE CARGAS DISTRIBUIDA SOBRE A SUPERFÍCIE DO ELEMENTO.										
DADOS DO CARREGAMENTO FACIAL KACADI										
KACADI	NULE	NCADI	F							

ARQUIVO 6										
MATRIZ DE RIGIDEZ, VETORES DE CARGAS NODAIS EQUIVALENTES, MATRIZES DE TENSÃO										
VÁLIDO PARA ELEMENTO PIONEIRO										
JUMPR	JUMPT	NULE	NGPLN	NEMRT	NNOE	NUNOS	$R^e$	$F^e$	JUMPTT	NULE
MATRIZ DE TENSÃO DO PONTO 1										
NPAA	IOUT	B	NVMT	$G_i^e$	$G_{oi}^e$					

ARQUIVO 6										
VÁLIDO PARA ELEMENTO CÓPIA										
INFORMAÇÕES DO ELEMENTO E VETORES CARGAS NODAIS EQUIVALENTES.										
NULE	NBASE	IOUT	NNOE	NUNOS	$F^e$					

Fig.4- Estrutura interna dos arquivos.

carregamento térmico que está solicitando a estruturas, ou seja, devido a distribuição de temperaturas. O Arquivo guarda informações de vários carregamentos térmicos.

O Arquivo 4 possui 2 áreas de informações de valores nodais, uma de carregamento distribuído e outra de temperaturas. Os dados neste Arquivo são guardados em pacotes de informação por elemento, de modo a facilitar o processamento posterior. O Arquivo 5 funciona como área de trabalho, para armazenamento provisório de matrizes. O Arquivo 6 contém as informações finais, já processadas de todos os elementos que formam o modelo, em termos das matrizes de rigidez, vetores de carregamento (térmico e distribuído) e matrizes de tensão nos pontos de interesse, matrizes de rigidez e forças globais do sistema.

#### COMENTÁRIOS.

Com a implantação do sistema modular de elementos finitos, SIMELF, tem sido criada uma biblioteca de subrotinas e funções para a solução de tarefas numéricas. Essa infraestrutura de programas disponíveis, embora esteja no momento incompleta, já tem sido utilizada em tarefas de ensino e pesquisa, cumprindo assim, parte de seus objetivos.

#### AGRADECIMENTOS.

Os autores agradecem à Financiadora de Estudos e Projetos-FINEP- e a Comissão Nacional de Energia Nuclear-CNEN-que deram suporte para a realização do trabalho.

#### BIBLIOGRAFIA.

- [1] Barcellos, C.S.; Rosa, E.da; Arquitetura de um Sistema Modular de Elementos Finitos-I: Características V Cobem- Campinas 1979.
- [2] Rodrigues, L.A.F.; Barcellos, C.S.; Sistema de Elementos Finitos para a solução de Problemas de Condução de Calor em Regimes Estacionários e Transientes. A ser publicado.
- [3] Bento Fº, A.; Barcellos, C.S.; Desenvolvimento de um Modelo de Elemento de Haste Curva de Grande Curvatura, pelo Método de Elementos Finitos. A ser publicado.