

UMA TÉCNICA DE DECOMPOSIÇÃO DE DOMÍNIOS PARA ANÁLISE ESTRUTURAL EM COMPUTADORES DE ARQUITETURA PARALELA

Carlos Magluta, Severino F. da Silva Neto, Álvaro L.G.A. Coutinho, José L.D. Alves e Luiz Landau
Programa de Engenharia Civil
COPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro
Caixa Postal 68506
12945 - Rio de Janeiro, Brasil

RESUMO

Este trabalho apresenta uma ferramenta eficiente para cálculo de estruturas em computadores de arquitetura paralela. Esta técnica, um método de decomposição de domínio, foi implementada em microcomputador possibilitando o pré-processamento da malha de forma interativa. Exemplos de estruturas bi e tri-dimensionais foram analisados, comprovando-se a eficácia do processo implementado.

ABSTRACT

This paper presents an efficient tool for structural design in parallel computer. The technique employed, a method of domain decomposition, was implemented in a microcomputer allowing a fast preprocessing of the mesh in an interactive way. Examples of two and three-dimensional structures were analyzed showing the effectiveness of the implemented algorithm.

1. INTRODUÇÃO

Em engenharia, o método dos elementos finitos vem sendo cada vez mais utilizado na simulação dos mais diversos comportamentos físicos, sendo exigido uma melhor performance dos sistemas de análise.

No caso de análise estrutural, o método dos elementos finitos vem sendo utilizado em estru-

ras que evoluíram tanto em tamanho como em complexidade de análise. Sistemas de análise tradicionalmente empregados incluem em sua rotina de trabalho a formação de grandes matrizes, a solução do sistema de equações e o cálculo das tensões de modo seqüencial.

Com advento dos computadores de arquitetura paralela é fundamental rever-se as técnicas utilizadas tanto para montagem do problema quanto para

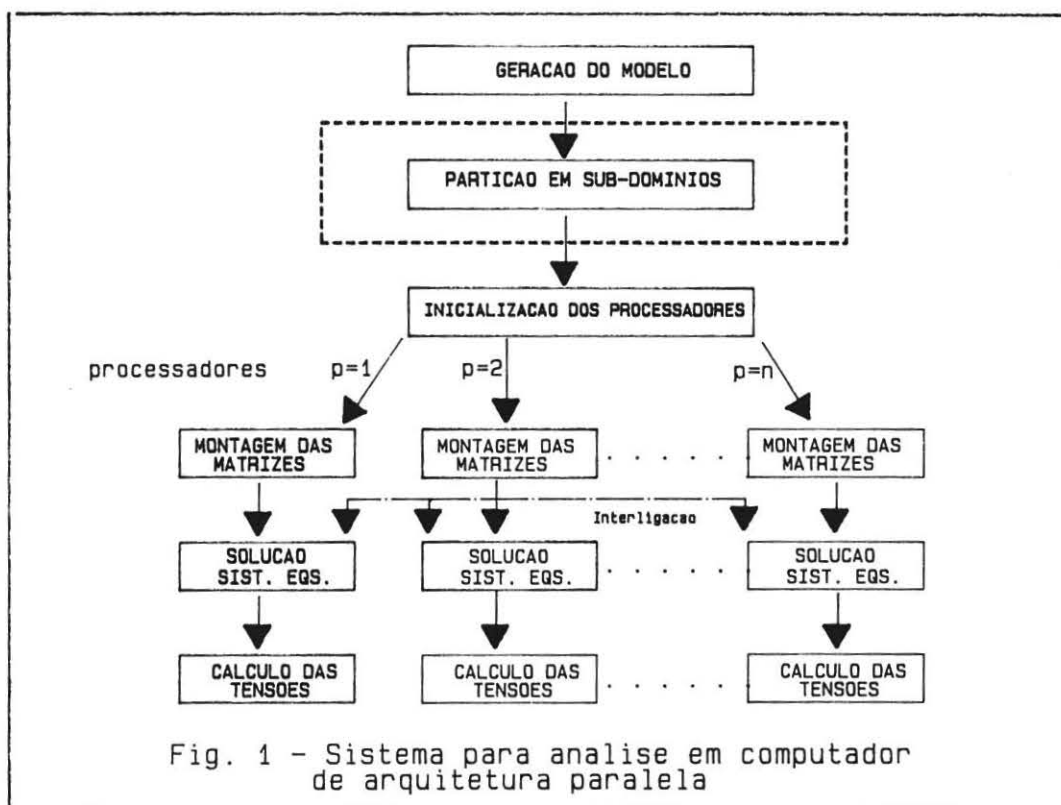


Fig. 1 - Sistema para análise em computador de arquitetura paralela

o processo de solução, retornando-se a técnicas há muito elaboradas e abandonadas por não se adaptarem bem à arquitetura seqüencial.

Na figura 1, são apresentadas, de maneira bastante genérica, as diversas etapas envolvidas em um sistema de análise desenvolvido com vistas à execução em máquinas de arquitetura paralela.

Este trabalho tem por objetivo a discussão e a implementação de uma ferramenta dedicada exclusivamente à "Partição em sub-Domínios".

O objetivo da divisão da estrutura em sub-domínio é minimizar o tempo total de análise, fazendo com que cada processador tenha a mesma carga de trabalho e, concomitantemente, minimizar a troca de informação entre processadores. Sendo assim, um sub-domínio é um conjunto de elementos associados a um processador sem compromisso com as características de estrutura. Este conceito difere daquele tradicionalmente utilizado em sub-estruturas, que correspondem a um componente estrutural específico, não importando o número de elementos ou o tempo requerido à sua análise quando comparado aos demais.

A idéia da utilização de múltiplos processadores em um sistema de elementos finitos foi proposta inicialmente por E.L. Wilson [1], sendo utilizadas várias estratégias de decomposição de domínio.

Neste trabalho foi adotado a técnica de decomposição baseada na matriz topológica da estrutura, proposta por C. Farhat [2] e implementada com algumas variantes que possibilitassem alterar o fluxo original, buscando uma melhor decomposi-

ção da estrutura em sub-domínios.

Na seção 2, é apresentada a metodologia, na seção 3, exemplos bi e tri-dimensionais foram analisados e, finalmente, na seção 4, as principais conclusões deste trabalho são discutidas e alguns desenvolvimentos futuros são sugeridos.

2. METODOLOGIA

O método de decomposição automática de domínio utilizado na implementação é apresentado na tabela 1 de forma didática.

A primeira aproximação do método é a divisão do subdomínio de forma a conter aproximadamente o mesmo número de elementos. Isto serve para balancear a carga computacional de cada processador, desde que a malha seja homogênea em termos de graus de liberdade por elemento, já que o peso computacional da análise está diretamente ligado ao número de graus de liberdade.

Outro requisito que o algoritmo deve atender é o da minimização da troca de mensagens entre processadores. Desta forma, é fundamental obter o menor número de nós externos, isto é, nós de ligação entre processadores. Para atender a este requisito, lidando com geometrias irregulares e discretização arbitrária, é necessário deixar, ao usuário, opções de restrição ao fluxo original do algoritmo.

O programa foi implementado com duas opções de restrição totalmente independentes e que podem ser combinadas:

a) A primeira restrição é quanto ao número de e-

Tab. 1 - Fluxo básico da rotina implementada

Início

- Formação dos arrays da figura 2

- Para $p = 1, 2, \dots$, número de processadores

- . localize o nó com peso nodal mínimo através do vetor N_w
- . localize os elementos ligados a este nó através do vetor N_e , tomando-os como os primeiros elementos

- Repita até que o número de elementos deste processador esteja completo

- . localize e adicione os elementos adjacentes através do vetor A_d

fim

- Para $n = 1, 2, \dots$, último elemento do processador

- . remova o n -ésimo elemento através de um vetor Boolean
- . reduza o peso nodal, no vetor N_w , dos nós do n -ésimo elemento

fim

- Para $m = 1, 2, \dots$, último nó dos elementos tomados

- . verificar, no vetor N_w , os nós com peso não nulo - nós externos do processador (vetor Boolean)

fim

fim

Fim

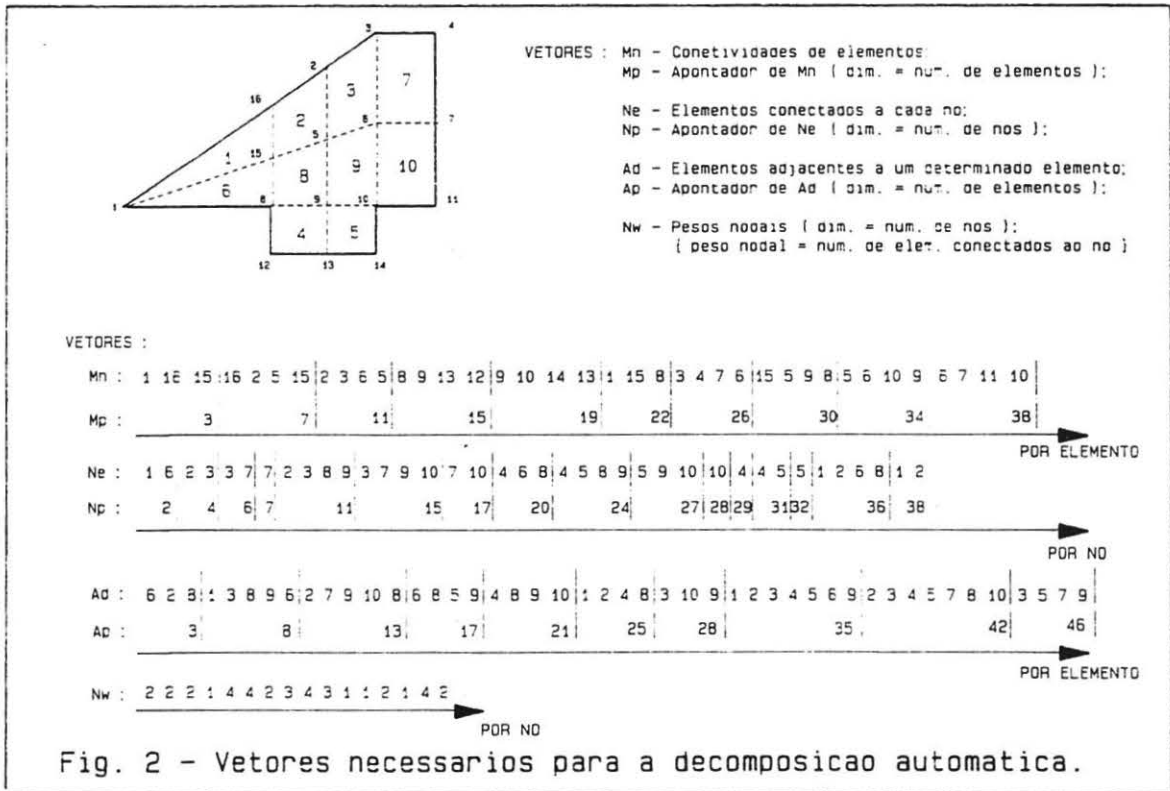


Fig. 2 - Vetores necessarios para a decomposicao automatica.

lementos adjacentes, como mostra a figura 3. O programa segue, o fluxo normal até atingir o número de camadas restrito pelo usuário, retornando, a seguir, à escolha de um novo nó de peso mínimo (não nulo) contido nos elementos deste processador, formando, assim, um ciclo. Este ciclo é repetido até que o número de elementos deste processador esteja completo.

b) A segunda restrição refere-se aos processadores. O fluxo normal do programa é alterado a

partir da busca do nó mínimo do segundo processador. Esta é feita forçando-se que este nó seja um dos nós externos do último processador (restrição b1) ou do primeiro ao último processador (restrição b2). A não utilização desta opção conduz a uma dependência da numeração dos nós da estrutura.

Pode-se observar que, para certos tipos de geometria, a tomada de uma e/ou outra opção, pode representar uma melhor decomposição como é mostra-

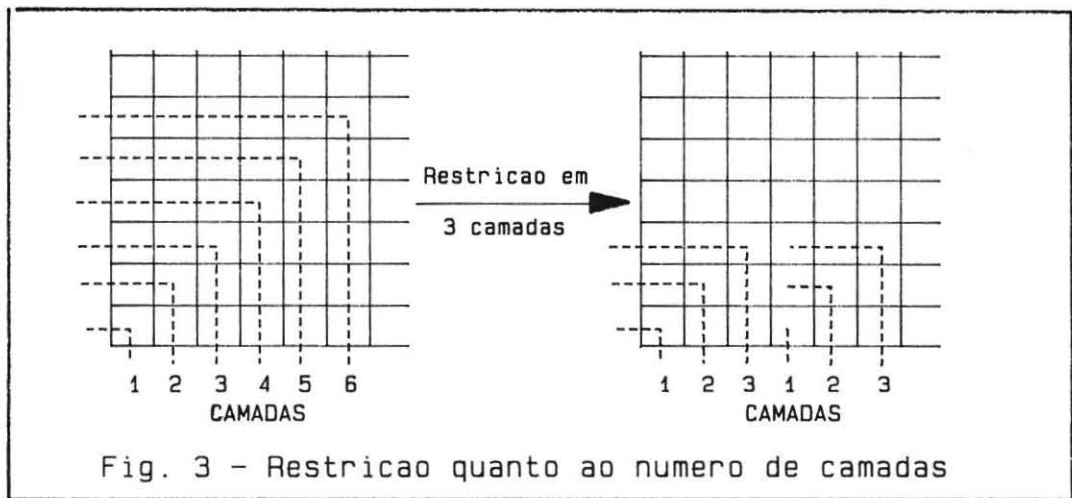
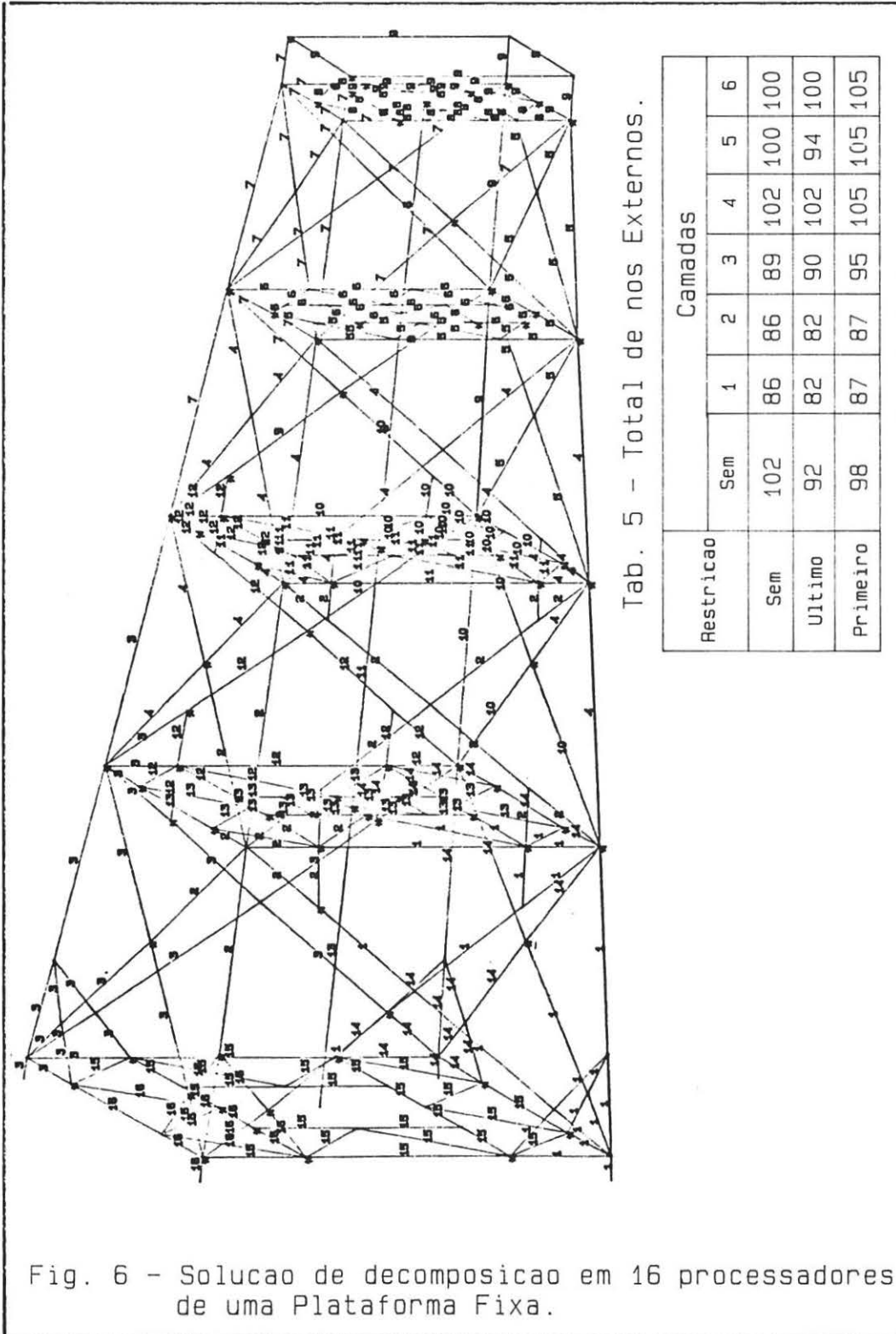


Fig. 3 - Restricao quanto ao numero de camadas

processadores, aproximando-se rapidamente, através da opção da restrição de camadas, da configuração original.

No histórico das análises sintetizado nas tabelas, 2, 3 e 4, pode-se notar que a opção da restrição de camadas tende a minimizar a influência da numeração dos elementos. As opções de restrição de adjacência de processadores tendem, por sua vez, a minorar as perturbações causadas pela numeração dos nós.

Analisando-se agora a estrutura offshore do tipo jaqueta, muito utilizada na produção de petróleo, (ver figura 6), pode-se notar que as opções de restrição de adjacência de processadores reduz o total de número de nós externos de 9,8% na opção b1 e de 3,9% na opção b2. A restrição de camadas, apresenta reduções significativas (de 15,7%), porém é uma operação mais onerosa, principalmente para estrutura com elevado número de nós e elementos. Portanto, dentro deste quadro



Tab. 5 - Total de nos Externos.

Restricao	Camadas						
	Sem	1	2	3	4	5	6
Sem	102	86	86	89	102	100	100
Ultimo	92	82	82	90	102	94	100
Primeiro	98	87	87	95	105	105	105

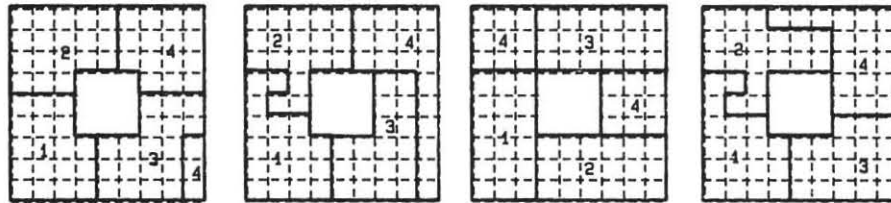
Pode-se notar nesta figura, que, para a geometria apresentada, a opção por restrição em camadas apresenta uma redução de 25% no total de nós externos, independente das demais opções (b1 e b2), apesar da opção b2 apresentar uma redução também significativa.

A mesma geometria foi agora analisada, alterando-se a numeração dos nós e posteriormente a numeração dos elementos. Os resultados desta análise são encontrados na figura 5 que contém as

tabelas 3 e 4 referentes às alterações de nós e elementos, respectivamente.

Comparando-se os resultados das três análises (figuras 4 e 5) pode-se concluir que a mudança na numeração dos nós influenciou significativamente a distribuição espacial e a forma dos sub-domínios (mesmo com a opção de restrição de camadas), isto é provavelmente devido à busca do nó mínimo de maneira seqüencial. No entanto, a mudança na numeração dos elementos modificou o contorno dos

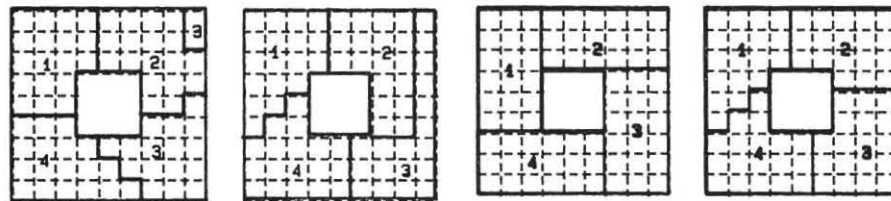
Decomposicao com numeracao de NOS alterada
SEM RESTRICAO COM 4 CAMADAS COM 3 CAMADAS COM 2 CAMADAS



Tab. 3 - Total de nos Externos

Restricao	Camadas						
	Sem	1	2	3	4	5	6
Sem	21	23	23	19	25	21	21
Ultimo	21	25	25	16	20	21	21
Primeiro	21	23	23	19	25	21	21

Decomposicao com nume. ELEMENTOS alterada
SEM RESTRICAO COM 4 CAMADAS COM 3 CAMADAS COM 2 CAMADAS



Tab. 4 - Total de nos Externos

Restricao	Camadas						
	Sem	1	2	3	4	5	6
Sem	23	18	18	16	23	28	26
Ultimo	23	23	23	16	18	28	26
Primeiro	23	18	18	16	23	28	26

Fig. 5 - Solucoes de decomposicao em 4 proce. para a estrut. da fig. 4 alterando-se topologia.

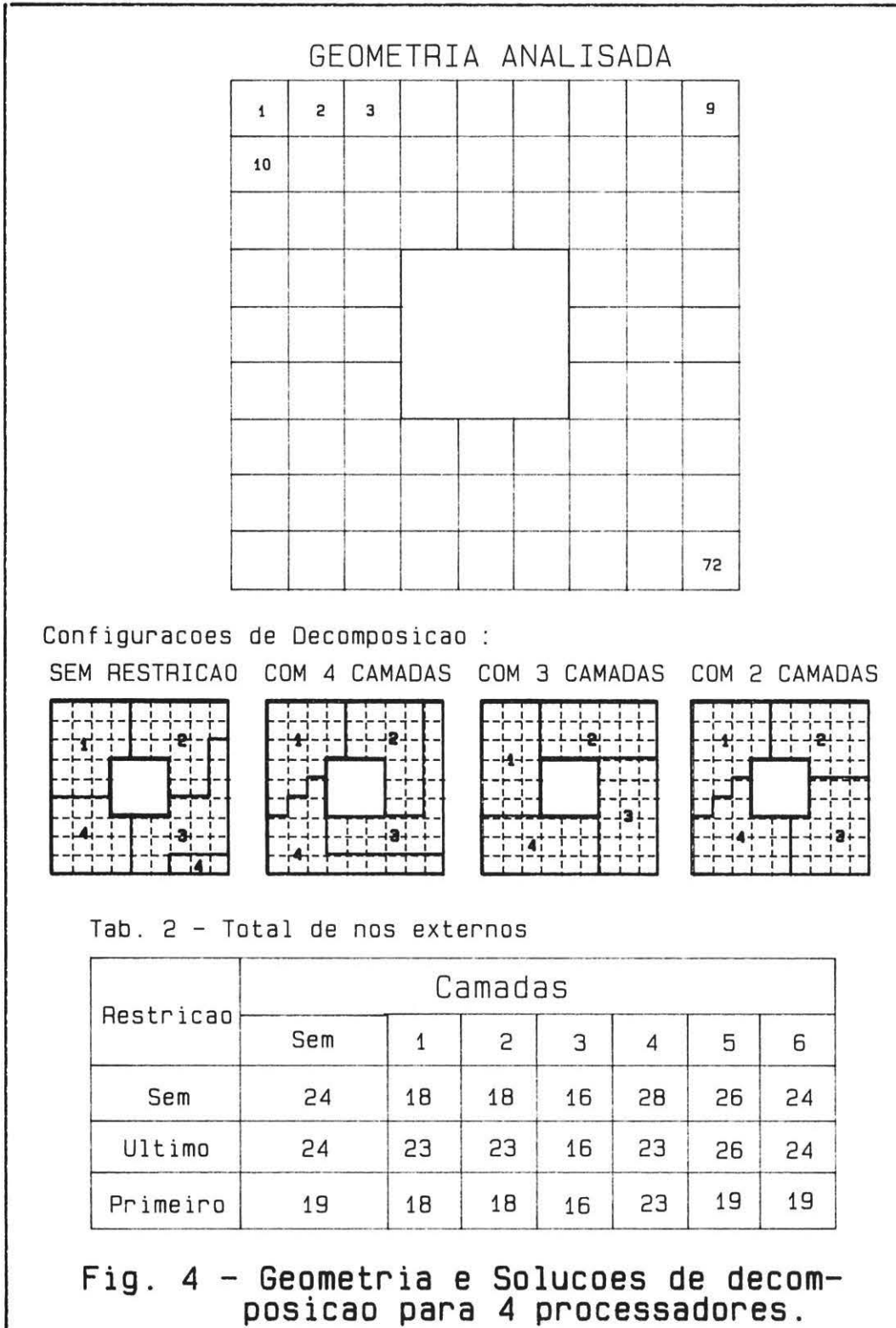
do nos exemplos da próxima seção.

3. EXEMPLOS

O primeiro exemplo selecionado tem como objetivo mostrar a influência das opções de restrição implementadas, sendo o segundo exemplo o de uma aplicação real, servindo, portanto, para avaliar a resposta do programa para estruturas com um número de nós mais elevado.

Primeiramente, procurou-se verificar o algoritmo originalmente apresentado por C. Farah [2], [3] e [4] comparando-se os resultados obtidos pelo programa com os apresentados nestas referências.

O primeiro exemplo (vide figura 4) apresenta a geometria (com indicação da numeração dos elementos), as soluções de decomposição em quatro subdomínios e uma tabela comparativa entre os números de nós externos obtidos nas diversas opções indicadas.



analisado, pode-se imaginar uma seqüência prática de otimização iniciando pelas restrições a nível de adjacência e, se necessário, partindo para otimização em camadas.

4. CONCLUSÕES

Inicialmente, observando-se todas as tabelas anteriores linha a linha, pode-se concluir que, na fase atual do estudo, é muito difícil definir um procedimento padrão de otimização que se aplique, de forma genérica, a qualquer tipo de estrutura, muito embora estes níveis de restrição apresentados já apresentem alguns resultados satisfatórios.

Baseados ainda nos resultados obtidos, pode-se sugerir que uma pré-otimização automática da numeração dos nós e elementos seja efetivada já que as técnicas inicialmente apresentadas são onerosas para estruturas de grande porte. Esta otimização deve diferir das já existentes, que têm por objetivo reduzir a distância dos coeficientes (não nulos), da matriz em relação à diagonal principal, através somente da renumeração dos nós.

Finalmente, deve-se estender a técnica apresentada para lidar com estruturas mais complexas, compostas por elementos que possuam número de graus de liberdade distintos, provavelmente mudando o conceito de "peso nodal" para "peso para cada grau de liberdade".

5. REFERÊNCIAS

- [1] Wilson, E.L. (1976) "Special numerical and computer techniques for the analysis of finite element systems", Proc. U.S. Germany Symposium, Formulation and Computational Procedures in FEM, MIT, Cambridge, MA, Aug.
- [2] Farhat, C. (1986) "Multiprocessors in computational mechanics", Ph.D. Thesis, University of California at Berkeley, CA, Dec.
- [3] Farhat, C., Wilson, E.L., Powell, G. (1987) "Solution of finite element systems on concurrent processing computers", Engineering with Computers, 2, 157-165.
- [4] Farhat, C. (1988). "A Simple and efficient automatic FEM domain decomposer", Computer & Structures, Vol. 28, No. 5, pp.579-602.