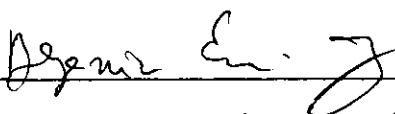


INTERAÇÃO ESTAQUEAMENTO - MEIO HOMOGÊNEO

Solange Guimarães

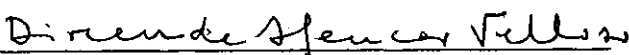
TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE
PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE
JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO
DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (M.Sc.).

Aprovada por:



Prof. Benjamin Ernani Diaz

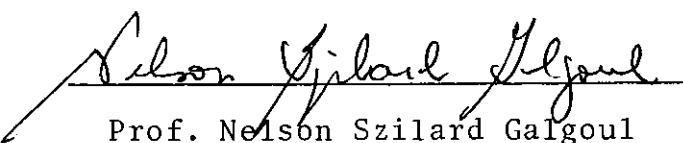
Presidente



Prof. Dirceu de Alencar Velloso



Prof. José Cláudio de Faria Telles



Prof. Nelson Szilard Galgoul

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

Fevereiro de 1983

GUIMARÃES, SOLANGE

Interação Estaqueamento meio homogêneo (Rio de Janeiro) 1983.

xviii , 253 p., 29.7 cm (COPPE-UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 1983)

Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

1. Cálculo de Estaqueamentos

I. COPPE/UFRJ

II. Título (Série)

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Benjamin Ernani Diaz, pela orientação deste trabalho.
- Ao amigo Prof. Luis Armando Queiroz de Araújo, pelas diversas ajudas prestadas.
- Aos amigos Eduardo Fleming de Azevedo Costa e Milton Roedel Salles, pela ajuda na programação.
- Ao operador Luiz Eduardo da Silva, pela ajuda em problemas técnicos de operação.
- A todos os Professores da COPPE, pelo incentivo e pelos esclarecimentos prestados.
- A todos os amigos, colegas e parentes que me apoiaram e incentivaram durante a elaboração deste trabalho.
- A Mariza Botelho Guimarães, Paula Guimarães e Sheila Maria Lopes Guimarães, pela ajuda na conferência e montagem do texto.
- A CNPq, pelo apoio financeiro.

RESUMO

Um método geral de cálculo dos esforços internos assim como dos deslocamentos generalizados em estacas verticais, pertencentes a um grupo, é desenvolvido neste trabalho com a intenção de considerar os efeitos da interação entre estacas através de um único meio homogêneo. A análise é toda linear e elástica. Um programa de computador em linguagem Fortran IV, decorrente do método, é fornecido.

As estacas foram consideradas unidas por um bloco rígido, engastadas tanto no bloco como na base e sujeitas a um carregamento qualquer concentrado, no bloco. O meio homogêneo foi simulado por um sólido limitado por dois planos de contorno, um livre e outro restringido.

A obtenção das forças de ligação entre estaca e solo, feita através do método da flexibilidade, constitui o processo básico do método. A solução para meio homogêneo é obtida por um processo numérico, utilizando, como solução básica, as equações de Kelvin.

Os resultados obtidos pelo programa, para estacas isoladas, foram comparados com a solução da teoria da viga sob base elástica. Efeitos de grupo para 2 e 4 estacas foram também estudados.

ABSTRACT

A genral method of solution for vertically loaded pile groups, embedded in an homogeneous linear elastic medium, is presented in this work, with the intention of predicting displacements, rotations and forces distribution along the piles, considering pile-soil interaction. The present analysis is assumed to be completely linear elastic. A computer Fortran IV program, using the present method, is also provided.

The piles are considered to be linked by a rigid cap on top. fixed at both ends, embedded in the soil mass and subjected to any combination of concentrated loads on the cap. The soil mass is assumed to be a solid, bounded by two planes, free on top and restrained on tip.

The soil reactions upon the piles are obtained by the flexibility method, where the linking forces between piles and soil are determined. The elementary solution chosen to obtain the solid mass stress and displacement field is Kelvin's.

The results are compared, whenever possible, to the solution obtained by the modulus of subgrade reaction method. Groups effects for two and four pile were also studied.

ÍNDICE

	<u>Pág.</u>
<u>CAPÍTULO I</u>	1
1.1 - Introdução	1
1.2 - Glossário	5
 <u>CAPÍTULO II - Revisão de Literatura</u>	6
2.1 - Generalidades	6
2.1.1 - O Método dos Coeficientes de Reação	8
2.1.2 - O Método dos Elementos Finitos	13
2.1.3 - O Método dos Elementos de Contorno	13
2.1.4 - O Método da Interação Entre Estacas Através do Meio	14
2.1.5 - Outras Análise	17
 <u>CAPÍTULO III - Fundamentos Teóricos</u>	21
3.1 - Descrição Sumária do Problema Proposto	21
3.2 - Simplificações Adotadas	21
3.2.1 - Estaqueamento	22
3.2.2 - Solo	23
3.3 - Descrição Geral do Método de Solução Adotado	23
3.4 - Formulação da Análise para o Conjunto Estaqueamento - Solo	28

3.5 - Soluções Adotadas para Cada Etapa da Análise	39
3.5.1 - Definição dos Modelos e Resumo das Etapas	39
3.5.2 - Determinação dos Deslocamentos Generalizados Relativos \underline{D}_{EC}	41
3.5.2.1 - Método de Análise	41
3.5.2.2 - Determinação do Deslocamento do Bloco e das Ações no Topo das Estacas para um Carregamento Externo Aplicado na Origem do Sistema Global de Coordenadas	41
3.5.2.3 - Deslocamentos Generalizados em uma Haste Isolada a Partir das Ações Aplicadas no Topo e ao Longo da Estaca	45
3.5.4 - Determinação dos Esforços Internos \underline{A}_{EC} para as Cargas Externas Aplicadas no Sistema Principal ...	48
3.5.5 - Determinação dos Coeficiente da Matriz de Flexibilidade	48
3.5.1 - Generalidades	48
3.5.5.2 - Determinação das Contribuições aos coeficientes da Matriz de Flexibilidade Referentes ao Estaqueamento Isolado	50
3.5.5.2.1 - Generalidades	50
3.5.5.2.2 - Cálculo dos Esforços nas Extremidades Superiores das Estacas para Forças Unitárias Aplicadas ao Longo de seus Eixos	51
3.5.2.3 - Determinação dos Deslocamentos F_{ij}^1	52

3.5.5.3 - Determinação da Contribuição dos Coeficientes da Matriz de Flexibilidade Referentes ao Solo Isolado	54
3.5.5.3.1 - Generalidades	54
3.5.5.3.2 - Solução Básica Utilizada na Formulação da Solução Adotada para o Solo Isolado	57
3.5.5.3.3 - Formulação do Método de Análise para o Solo Isolado	63
3.5.5.3.4 - Forças e Momentos Resultantes das Tensões no Plano Superior	67
3.5.5.3.5 - Reações e Deslocamentos sob Cargas Concentradas Aplicadas em um Sólido Infinito	70
3.5.6 - Cálculo dos Sistemas de Equações	74
3.5.7 - Cálculo dos Esforços Internos A_{EL} e dos Deslocamentos D_{EL} nos nós de Referência das Estacas, Referentes às Ações das Forças de Ligação A_L Sobre o Estaqueamento	75
3.6 - Determinação dos Esforços Internos A_E e dos Deslocamentos Generalizados D_E , Finais das Estacas	80
<u>CAPÍTULO IV - Resultados</u>	81
4.1 - Comentários Gerais	81
4.2 - Resultados para Estacas Isoladas	82
4.3 - Resultados para Grupos de Estacas	90

<u>CAPÍTULO V - Conclusão</u>	96
<u>APÊNDICE AI - Matriz de Rigidez de uma Estaca</u>	99
<u>APÊNDICE AII - Translação e Rotações de Ações assim como de Deslocamentos da Origem de um Sistema de Eixos Coordenados Cartesianos para Outro</u>	101
<u>APÊNDICE AIII - Deduções das Expressões de Momentos Aplicados no Espaço e no Semi-Espaço Infinito e Resumo das Funções</u>	106
<u>APÊNDICE A-IV - Programa TELLUS</u>	127
A4.1 - Limitações do Programa	127
A4.2 - Fluxogramas	132
A4.3 - Descrição Resumida de Cada Subrotina	137
A4.3.1 - Subrotina Número 1 - INÍCIO	137
A4.3.2 - Subrotina Número 2 - RESOL	138
A4.3.3 - Subrotina Número 3 - STX	138
A4.3.4 - Subrotina Número 4 - FORMA	139
A4.3.5 - Subrotina Número 5 - CTOTAL	139
A4.3.6 - Subrotina Número 6 - EBLOCO	139
A4.3.7 - Subrotina Número 7 - RESUL	140
A4.3.8 - Subrotina Número 8 - DIJ	140

A4.3.9 - Subrotina Número 9 - FLEX	142
A4.3.10 - Subrotina Número 10 - MATRIZ	143
A4.3.11 - Subrotina Número 11 - DATASL	143
A4.3.12 - Subrotina Número 12 - SOLO	143
A4.3.13 - Subrotina Número 13 - VEIN	144
A4.3.14 - Subrotina Número 14 - COSOLO	144
A4.3.15 - Subrotina Número 15 - DLSC	145
A4.3.16 - Subrotina Número 16 - TDKELV	146
A4.3.17 - Subrotina Número 17 - TDSC	146
A4.3.18 - Subrotina Número 18 - ACBLOC	148
A4.3.19 - Subrotina Número 19 - SAÍDA	149
A4.3.20 - Subrotina Número 20 - CALC	149
A4.3.21 - Subrotina Número 21 - ACSOLO	150
A4.3.22 - Subrotina Número 22 - COOR	150
A4.3.23 - Subrotina Número 23 - LAYOUT	151
A4.3.24 - Subrotina Número 24 - ERRO	151
A4.3.25 - Subrotina Número 25 - GAMAQ	151
A4.3.26 - Subrotina Número 26 - MASO	152
A4.3.27 - Subrotina Número 27 - GAMASI	152
A4.3.28 - Subrotina Número 28 - ESFRES	153
A4.3.29 - Subrotina Número 29 - DESLOC	153
A4.4 - Manual de Utilização do Programa TELLUS	153
A4.4.1 - Comentários Gerais	153
A4.4.2 - Entrada de Dados por Cartões	158
A4.5 - Listagem do Programa	162
<u>BIBLIOGRAGIA</u>	248

SIMBOLOGIA

- \underline{A}^* - vetor de ações generalizadas em um sistema paralelo ao global de coordenadas.
- \underline{A}_E - vetor de esforços internos finais nos nós de referência do conjunto estaqueamento - solo.
- \underline{A}_{EC} - vetor de esforços internos nos nós de referência das estacas para o carregamento externo aplicado no bloco do estaqueamento isolado.
- \underline{A}_{EL} - vetor de esforços internos nos nós de referência das estacas devido a ação do solo, (vetor \underline{A}_L), sobre o estaqueamento isolado.
- \underline{A}_{eG} - vetor de ações aplicadas sobre o bloco de coroamento do estaqueamento isolado, no sistema global de coordenadas cartesianas.
- \underline{A}_{eHL} - vetor de ação de engastamento perfeito no topo da estaca carregada no seu interior, no sistema local de coordenadas cartesianas.
- \underline{A}_{eL} - vetor de ações no topo das estacas no sistema local de coordenadas cartesianas.

- \underline{A}_G - vetor de ação no sistema global de coordenadas.
- \underline{A}_L - vetor de esforços incógnitos de ligação entre as esta-
cas e o solo de ação no sistema local de coordenadas
cartesianas.
- \underline{A}_n - vetor de ações aplicadas em um ponto do interior da es
taca.
- \underline{A}_s - vetor de ações incógnitas dos planos de contorno do
meio.
- \underline{A}_{s1} - vetor de ações incógnitas do plano de contorno supe-
rior do meio.
-
- \underline{A}_{s2} - vetor de ações incógnitas do plano de contorno infe-
rior do meio.
- A_x - área da seção transversal da estaca
- B - ângulo que o plano $\overline{X-Y}$ global faz com o eixo Y local.
- CX, CY, CZ - cosenos diretores da estaca em relação aos eixos glo-
bais de coordenadas.
- \underline{D} - vetor de deslocamentos generalizados em um ponto.

- \underline{D}_E - vetor de deslocamentos generalizados finais dos nós de referência do conjunto estaqueamento - solo.
- \underline{D}_{EC} - vetor de deslocamentos generalizados nos nós de referência das estacas para o carregamento externo aplicado no bloco do estaqueamento isolado - vetor independente do sistema de equação III.2.
- \underline{D}_{EL} - vetor de deslocamentos generalizados nos nós de referência das estacas devido à ação do solo, (vetor \underline{A}_L), sobre o estaqueamento.
- \underline{D}_{eG} - vetor de deslocamentos do bloco do estaqueamento isolado, no sistema global de coordenadas cartesianas.
- \underline{D}_{eL} - vetor de deslocamentos do topo das estacas, no sistema local de coordenadas cartesianas.
- \underline{D}_G - vetor de deslocamentos generalizados no sistema global de coordenadas.
- \underline{D}_L - vetor de deslocamentos generalizados no sistema local de coordenadas cartesianas.
- \underline{D}_{S2} - vetor dos deslocamentos generalizados dos pontos de compatibilidade do plano de contorno inferior do meio, devido à ação unitária aplicada no seu interior.

E_e - módulo de elasticidade da estaca.

E_s - módulo de elasticidade do solo.

\underline{F} - matriz de flexibilidade.

\underline{F}^1 - parte da matriz de flexibilidade \underline{F} referente aos deslocamentos do estaqueamento desvinculado do meio.

\underline{F}^2 - parte da matriz de flexibilidade \underline{F} referente aos deslocamentos do meio desvinculados do estaqueamento.

F_{ij} - coeficientes da matriz de flexibilidade \underline{F} .

F_{ij}^1 - coeficientes da matriz \underline{F}^1 .

F_{ij}^2 - coeficientes da matriz \underline{F}^2 .

G_e - módulo de elasticidade transversal da estaca.

G_s - módulo de elasticidade transversal do solo.

\underline{I}_{S11} - submatriz dos fatores de influência de tensões sobre as direções de compatibilidade do plano de contorno superior, devidas às ações unitárias aplicadas no mesmo plano.

\underline{I}_{S12} - submatriz dos fatores de influência das resultantes de

tensões sobre os pontos de compatibilidade do plano de contorno superior, devidas às ações unitárias aplicadas no plano de contorno inferior.

- I_x - momento de inércia à torção da estaca.
- I_y - momento de inércia à flexão, em relação ao eixo principal de inércia y da estaca.
- I_z - momento da inércia à flexão, em relação ao eixo principal de inércia z da estaca.
- \tilde{J}_{S21} - submatriz dos fatores de influência dos deslocamentos generalizados sobre os pontos de compatibilidade do plano de contorno inferior, devidos às ações unitárias aplicadas no plano de contorno superior.
- \tilde{J}_{S22} - submatriz dos fatores de influência dos deslocamentos generalizados sobre os pontos de compatibilidade do plano de contorno inferior, devidos às ações unitárias aplicadas no mesmo plano.
- L - comprimento das estacas.
- Q_i - resultante, na direção de x_i , das tensões sobre um elemento de área.

- \tilde{R} - matriz de translação, do sistema global de coordenadas cartesianas para o sistema local.
- \tilde{RT} - matriz resultante da multiplicação de \tilde{R} por \tilde{T} .
- \tilde{R}_{S1} - vetor das resultantes de tensões nos pontos de compatibilidade do plano de contorno superior do meio, devidas à ação unitária aplicada no seu interior.
- \tilde{S}_{eG} - matriz de rigidez global do estaqueamento isolado.
- \tilde{S}_{eL} - matriz de rigidez local de uma estaca isolada.
- \tilde{T} - matriz de translação dos deslocamentos generalizados do topo das estacas, do sistema global de coordenadas cartesianas para um sistema paralelo.
- X, Y, Z - coordenadas do sistema global de eixos cartesianos.
- X_{Si} - comprimento de um elemento linear finito ou lado de um elemento de área finito.
- X_t, Y_t, Z_t - coordenadas de origem do sistema de eixos locais em relação ao sistema global de coordenadas.
- d - diametro das estacas
- x, y, z - coordenadas no sistema local de eixos cartesianos.
- x_i - direção e coordenada de um ponto no sistema de eixos cartesianos.

- f_i - componente de força na direção de x_i .
- i - subscrito que denota direção.
- j - subscrito que denota direção.
- k - índice que denota número de estaca.
- m_i - componente de momento na direção de x_i .
- m_{ij} - momento aplicado no sentido de x_i para x_j .
- n - número total de nós de referência por estaca.
- p - número total de estacas do grupo.
- r - distância da origem dos eixos cartesianos a um ponto.
- u_i - deslocamento na direção x_i .
- u'_i - deslocamento sob carga concentrada na direção de x_i .
- α - ângulo cuja tangente define o coseno diretor cx .
- β - ângulo que o semi eixo global Y faz com a projeção da estaca k no plano \overline{YZ} .
- ϵ - distância infinitesimal.

δ_{ij} - delta de Kronecker

ζ - maior valor entre as coordenadas positivas x e ξ .

ν - coeficiente de Poisson do solo.

ξ - coordenada de ponto na direção do eixo cartesiano local x .

τ_{ij} - componente de tensão que age na direção j do plano normal à direção i .

ω_{ij} - rotação, no sentido de x_i para x_j .

ω'_{ij} - rotações sob carga concentrada, no sentido de x_i para x_j .

CAPÍTULO I

1.1 - INTRODUÇÃO

Os principais aspectos analisados por um projetista na concepção de uma fundação em estacas são:

- i. carga de colapso;
- ii. recalques iniciais e finais; e
- iii. esforços internos nas estacas.

Inúmeros trabalhos foram publicados dando ênfase a deslocamentos e rotações em estaqueamentos. Do ponto de vista estrutural, porém, a obtenção dos esforços internos é mais importante permitindo, não só a escolha do tipo de estaca a ser utilizada, mas também o seu detalhamento para execução.

O carregamento lateral de pressão do solo sobre as estacas é minimizado, desde que economicamente viável, com o uso de estacas inclinadas. A necessidade de executar obras civis mais arrojadas, fez com que se tornasse cada vez mais importante o estudo de grupos de estacas com carregamento lateral. Usualmente, no cálculo de um estaqueamento, não se leva em consideração a interação de esforços entre as estacas pertencentes ao grupo. Entretanto para um estaqueamento carregado lateralmente, a influência de uma estaca sobre outra, pertencente ao mesmo grupo, é bas-

tante acentuada.

O cálculo de um estaqueamento, levando-se em consideração a interação de esforços entre as estacas, pode ser feito utilizando-se um programa de análise estrutural com elementos finitos, com a desvantagem de ser operacionalmente dispendiosa. Uma análise específica, só para estaqueamentos, possibilita diminuir, consideravelmente, o sistema de equações do problema, baixando o custo operacional da análise.

O objetivo principal deste trabalho é o de mostrar a viabilidade de dar uma solução de conjunto a um estaqueamento, utilizando-se um programa, para uso em computadores digitais, que determina os deslocamentos e rotações assim como os esforços internos ao longo das estacas pertencentes a um grupo, considerando-se a interação de esforços entre elas através de um meio contínuo homogêneo representante do solo.

O trabalho aqui proposto dá ênfase ao problema estrutural de obtenção dos esforços internos ao longo das estacas, e, em segundo lugar, ao estudo dos deslocamentos e rotações. Através de um processamento econômico, será possível estudar o comportamento do estaqueamento levando em conta os efeitos de interação entre estacas.

O método desenvolvido baseia-se na determinação dos esforços de ligação entre as estacas pertencentes a um grupo e um meio contínuo único, representante do solo, através da compa-

tibilidade de deslocamentos entre ambos, ou seja, fazendo-se uma análise pelo método dos elementos de contorno indiretos. Por serem as incógnitas neste caso forças, chamou-se o método dos elementos de contorno indireto de método de flexibilidade. Apesar de serem do conhecimento geral as dificuldades existentes para obter as características mecânicas do solo, o estudo aqui apresentado não aborda este problema e considera para efeito da análise, conhecidas estas propriedades. Pressupõe-se, ainda, que nenhuma modificação destas propriedades ocorre devido aos métodos empregados na cravação das estacas.

A análise é elástica e linear, tanto para o solo quanto para o estaqueamento. Os deslocamentos do estaqueamento, então, devem ser suficientemente pequenos respeitando não só estes limites mas, também, os limites de aderência entre as estacas e o solo. Observa-se que a análise admite a transmissão de forças de tração nas interfaces solo-estaca, por ter sido o solo considerado como um meio homogêneo contínuo.

É interessante ainda observar, que a perfeita compatibilidade entre o solo e a estaca só é correta sob condições elásticas. Contudo, para certos problemas com cargas laterais altas e solos com capacidade de suporte lateral fraca, os deslocamentos facilmente excedem os limites elásticos. Neste caso, torna-se necessário considerar o escoamento do solo assim como os movimentos relativos entre este e as estacas.

O método aqui apresentado não poderá representar com precisão o comportamento não linear do solo. Assim fica para

uma análise não linear mais sofisticada a consideração dos seguintes efeitos num estaqueamento:

- i. a consideração do escoamento local do solo que pode ocorrer próximo à superfície livre, principalmente quando se trata de solos moles;
- ii. a consideração de movimentos relativos entre a estaca e o solo;
- iii. a retirada dos esforços elevados de tração como força de transmissão existente através do meio.

O módulo de elasticidade do solo será suposto constante ao longo da profundidade, pois, para fins de análise, considera-se o solo como um único meio contínuo homogêneo isotrópico. Deve-se observar que os tipos de solo que mais se aproximam deste comportamento são os argilosos ou coesivos, (Broms⁶). Para outros tipos de solo, como, por exemplo, os arenosos, (ou não coesivos), que podem ter seu módulo de elasticidade apresentando uma variação aproximadamente linear com a profundidade (Broms⁵), seria necessário utilizar várias camadas de solo com propriedades físicas diferentes e fazer a compatibilidade de deslocamentos entre estas camadas finitas, afim de assemelhar o modelo matemático, aqui apresentado, ao real. É evidente que para os casos de solos com características elásticas variáveis, outro desenvolvimento analítico ou numérico que reproduzisse melhor o comportamento do meio representante do solo, poderia ser utilizado.

É importante frizar que a solução aqui proposta não tem como objetivo obter uma simulação do comportamento não linear do conjunto solo - estaqueamento. Ela, visa, isto sim, dar uma solução linear de conjunto ao estaqueamento, solução esta que se faz necessária para se poder, em nível técnico, determinar as solicitações nas estacas de um grupo, levando em conta os efeitos de interação entre estacas. Este tipo de determinação é exigido em certos projetos de fundações importantes, podendo-se citar, entre eles, o de centrais nucleares.

1.2 - GLOSSÁRIO

Algumas expressões que não são usuais foram utilizadas no texto para simplificar a exposição do método:

- Deslocamento generalizado - corresponde aos deslocamentos e rotações em um ponto.
- Ação generalizada - representa o conjunto de forças e momentos aplicados em um determinado ponto.
- Forças de ligação ou esforços de ligação - têm o mesmo significado e foram utilizados para designar o conjunto de forças e momentos de ligação entre as estacas e o solo.
- Nó de referência - corresponde aos pontos ao longo dos eixos das estacas onde é feita a compatibilidade de deslocamentos entre estacas e solo.

CAPÍTULO II

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - Generalidades

Existem vários métodos análiticos ou numéricos usualmente utilizados para calcular estaqueamentos. Os métodos podem ser classificados, basicamente nas seguintes categorias:

- i) Métodos do coeficiente de reação ou viga sob base elástica.
- ii) Método dos elementos finitos.
- iii) Métodos dos elementos de contorno.
- iv) Método interativo estaca - solo.

Existem ainda os métodos mistos que utilizam uma destas classificações como característica predominante. De modo geral, os estudos estão divididos, quanto à forma, em estacas isoladas ou em grupos de estacas, e ainda, quanto ao carregamento, em estacas carregadas verticalmente ou lateralmente, incluindo neste último caso o momento fletor.

Os trabalhos publicados sobre grupos de estacas abordam, normalmente, cada tipo de carregamento separadamente. Contudo, os grupos de estacas podem estar sujeitos à cargas si-

multâneas axiais, laterais, de momento, e até mesmo de torção. A análise de estaqueamentos está subdividida em três categorias principais:

- i) Método estático simples que ignora a presença do solo e considera o grupo de estacas como um pórtico espacial de comportamento linear (Golebiowsky¹⁴).
- ii) Métodos que reduzem o estaqueamento a um sistema estrutural, de tal forma que, o efeito do solo é considerado através da obtenção de um comprimento equivalente para as estacas, utilizando a teoria da viga sob base elástica e obtendo então os coeficientes da matriz de rigidez da estrutura (Banerjee² ; Diaz⁹; Francis¹⁰; Reese²⁷; Saul²⁹).
- iii) Método pelo qual o solo é substituído por um contínuo elástico que permite a consideração da interação de forças entre os pontos de compatibilidade de deslocamentos entre estaca e solo. (Banerjee³, Poulos^{20,22,24}).

Nos dois primeiros métodos desenvolvidos para grupos de estacas, consideram-se, somente, a interação das estacas através do bloco de coroamento, pela resolução da estrutura equivalente a um pórtico espacial, e nenhuma interação através do solo é obtida, de forma que, uma vez conhecidas as cargas nas estacas, os deslocamentos são calculados trabalhando-se com cada estaca separadamente.

Somente o terceiro método permite a consideração da interação entre as estacas através do solo. O deslocamento de uma estaca então é função da carga em todas as estacas do grupo. Os trabalhos desenvolvidos levando em conta a interação, na sua maioria, abordam o problema da estimativa de deslocamentos e de recalques de grupos de estacas.

2.1.1 - O método dos coeficientes de reação

Analiticamente, o método do coeficiente de reação pressupõe que as forças de reação do solo em um ponto qualquer são proporcionais aos deslocamentos da estaca neste ponto, solução esta, clássica, conhecida como solução de Winkler(1867).

O modelo caracteriza o solo como uma série de molas elásticas e desconectadas, de tal forma que a deformação ocorre somente onde existe carga. A desvantagem óbvia do método é a falta de continuidade do modelo representante do meio, já que os deslocamentos em um ponto do solo são influenciados pelas tensões e forças aplicadas em outro ponto.

Apesar das dificuldades existentes na determinação dos coeficientes de reação para um solo real, o método dos coeficientes de reação se tornou prático pela grande quantidade de relações empíricas disponíveis, obtidas experimentalmente e utilizadas na determinação do coeficiente de reação do solo, (Poulos²⁴). Além disso, o método tem sido largamente aplicado por causa da simplicidade da análise, permitindo a consideração

da não linearidade do solo em relação à variação da rigidez com a profundidade e admite a possibilidade de estratificar o solo em camadas pela introdução de diferentes constantes para cada mola, que traduzem a curva reação - deformação do solo no ponto.

O método pode ser aplicado a uma análise de pórtico tridimensional onde as estacas são representadas por elementos de haste e o solo, assemelhado ao meio de Winkler, é definido pelas constantes denominadas de coeficientes de reação. A principal vantagem de uma análise deste tipo é a representação da não homogeneidade do solo, como já foi explicado anteriormente. Banerjee² afirma que obtem-se assim, bons resultados para os momentos e cortantes, mas a estimativa da distribuição das cargas axiais e do recalque do bloco de coroamento das estacas, não fica corretamente avaliada.

A solução explícita, desenvolvida por Hetenyi¹⁵, da equação diferencial da deflexão de uma estaca, ou solução da viga sob base elástica, para um valor do coeficiente de reação horizontal constante, constitui a solução usual mais simples para uma única estaca carregada lateralmente. Este método pode ser aplicado a grupos de estacas flutuantes carregadas axialmente desde que se defina um coeficiente de reação no sentido axial da estaca. A equação diferencial para deslocamento axial neste caso é de 2º ordem (Diaz⁹).

Uma melhor apresentação da análise por este método foi publicada por Broms^{5,6} onde ele estuda estacas carregadas lateralmente e imersas em solo coesivo saturado assim como em solo não coesivo. Para o solo coesivo o coeficiente de reação horizontal é assumido ser constante com a profundidade e para solos não coesivos, foi considerada uma variação linear da rigidez com a profundidade. O estudo foi feito tanto na fase elástica, sob carga de trabalho, quanto na fase plástica, considerando a ocorrência de rutura através da formação de rótula plástica em uma seção da estaca ou através do escoamento do solo. A principal conclusão de Broms⁵, neste trabalho, foi de que os deslocamentos obtidos teoricamente são normalmente superestimados em comparação com os obtidos experimentalmente, possivelmente por causa do aumento da densidade do solo durante a cravação das estacas.

Francis¹⁰ apresentou uma análise de grupos de estacas carregadas lateralmente estudando o comportamento em um único plano. Ele procurou considerar a redução da rigidez à flexão das estacas devido ao carregamento axial.

Um dos estudos mais antigos sobre estacas isoladas carregadas lateralmente, pressupondo-se a rigidez do solo variando com a profundidade e representada por molas, foi desenvolvido por Reese²⁶. Ele sugere a introdução de amortecedores no modelo com o objetivo de considerar o escoamento do solo e sua deformação ao longo do tempo.

Mais tarde Reese²⁸ desenvolveu um programa para uso

em computadores digitais, que calcula deslocamentos de estacas isoladas sujeitas a um carregamento horizontal ou a uma carga de momento, considerando várias opções para as condições de contorno do topo da estaca. Com a finalidade de obter a matriz de rigidez da estaca, ele utiliza o método da viga sob base elástica aplicado aos elementos de haste, obtidos da subdivisão desta. O programa desenvolvido considera a forma da seção transversal da estaca na distribuição das tensões do solo adjacente. O método requer a definição de uma série de curvas reação do solo - deslocamento para vários pontos do solo situados ao longo do eixo da estaca. Reese²⁸ concluiu experimentalmente que a suposição da independência de comportamento do solo em pontos distintos é suficientemente verdadeira para propósitos práticos em estacas isoladas e, em consequência, nenhuma restrição quanto à forma da curva tensão - deformação do solo foi imposta em seu programa.

Randolph²⁵ desenvolveu um método analítico com a finalidade de determinar o recalque de uma estaca carregada axialmente, em uma tentativa de criar um modelo que representasse a maneira pela qual a estaca transfere o carregamento para o solo adjacente. A aproximação analítica foi comparada com sucesso com os métodos desenvolvidos por Poulos¹⁸ e Banerjee² assim como com o método dos elementos finitos.

Reese²⁷ e Saul²⁹ fizeram um desenvolvimento geral de um método de análise de estaqueamentos, para qualquer geometria de um grupo de estacas unidas por um bloco rígido, visando

uma aplicação à problemas estáticos e dinâmicos.

Diaz⁹ desenvolveu um método numérico, semelhante ao apresentado por Francis¹⁰, Reese²⁷ e Saul²⁹, com o objetivo de determinar forças, deslocamentos e reações do solo em um grupo de estacas, sujeitas a um carregamento em qualquer direção aplicado sobre o bloco de coroamento das estacas. As estacas foram subdivididas em elementos de haste, ao longo dos quais as propriedades do solo foram consideradas constantes e a matriz de rigidez do estaqueamento é obtida aplicando a teoria da viga sob base elástica no sentido axial, lateral e torcional a estes elementos de haste. O método então é constituído da associação da análise matricial de estruturas espaciais ao método de solução de vigas sob base elástica, em uma análise não interativa através do solo.

Sogge³⁰ desenvolveu um método simplificado com a finalidade de determinar os pontos onde ocorrem os momentos, cortantes, deslocamentos, rotações e pressões no terreno, máximos, em estacas isoladas carregadas lateralmente. Ele caracterizou o solo através dos coeficientes de reação, introduzindo uma sofisticação na configuração das propriedades do solo, com a intenção de eliminar as apresentações complexas associadas a outros métodos, que dificultam a obtenção prática de resultados preliminares precisos.

De um modo geral, o estudo de estacas carregadas axialmente é feito desenvolvendo um método de transferência de

carga, baseado em testes feitos no campo ou em modelos reduzidos, onde as relações de aderência lateral e de resistência cisalhante ao movimento da estaca, são fixadas.

2.1.2 - O método dos elementos finitos

O método dos elementos finitos pode resolver qualquer problema tridimensional relativo a um estaqueamento. Contudo, na prática, este método tem o custo operacional quase que proibitivo, como foi observado por Ottaviani¹⁷, pelo grande número de elementos tridimensionais que é necessário utilizar para representar satisfatoriamente este tipo de estrutura.

Ottaviani¹⁷ fez uma análise de grupos de estacas carregadas axialmente pelo método dos elementos finitos, a fim de esclarecer alguns aspectos do comportamento do grupo, quanto ao mecanismo de transferência de carga das estacas para o solo adjacente, e comparou com outros métodos de análise desenvolvidos especificamente para grupos de estacas.

2.1.3 - O método dos elementos de contorno

O método dos elementos de contorno emprega um esquema de subdivisão de superfície. Por isso, este método numérico é mais eficiente do que o método dos elementos finitos em análises de problemas de fundações tridimensionais. Foram desenvolvidos algoritmos gerais para consideração de problemas gerais elásticos, elasto-plásticos, dinâmicos e outros em análises

por elementos de contorno. Apesar destes algoritmos serem bem mais eficientes do que o método dos elementos finitos, sua utilização continua difícil pelo alto custo operacional quando aplicados em uma situação mais realística.

Banerjee² sugere uma solução mista para o estaqueamento, utilizando a solução básica do método dos elementos de contorno, com a finalidade de desenvolver uma representação simplificada para o solo e combinando-a com uma análise matricial de pórtico espacial. Este método é bastante semelhante ao apresentado neste trabalho, sendo que a diferença básica principal entre os dois está na solução empregada para o solo. O método desenvolvido por Banerjee² constitui uma generalização, com alguns melhoramentos, do apresentado por Poulos²⁰ e pode ser aplicado em estaqueamentos verticais sujeitos a qualquer tipo de carregamento.

2.1.4 - O método da interação entre as estacas através do meio

O método da interação entre estaca e solo, desenvolvido primeiramente por Poulos¹⁸, é baseada em uma análise elástica linear que caracteriza o comportamento tanto das estacas, quanto do sólido tridimensional em que estão imersas. Do ponto de vista teórico, a representação do solo como um meio homogêneo é satisfatório por levar em consideração a sua natureza contínua.

Poulos²⁴ considera uma estaca carregada axialmente

te subdividida em um número de elementos uniformemente carregados e a solução é obtida por compatibilidade de deslocamentos entre cada elemento de estaca e o solo adjacente. Para cargas axiais, os deslocamentos são obtidos considerando sua compressibilidade e os deslocamentos do solo são obtidos em muitos casos utilizando as equações do problema de Mindlin para os deslocamentos no interior do semi-sólido representante do solo, causada por um carregamento pontual no seu interior.

As diferenças principais entre os métodos desenvolvidos por vários autores estão nas pressuposições feitas, em relação à distribuição das tensões cisalhante ao longo da estaca carregada axialmente. Alguns autores pressupõem que a tensão cisalhante entre cada elemento e o solo, é representada por uma força aplicada em um único ponto, no eixo e no centro do elemento. Outros consideram que a tensão cisalhante é representada por um carregamento circular uniformemente distribuído sobre a área, na altura do centro de cada elemento, ou ainda, consideram a tensão cisalhante distribuída uniformemente ao redor da circunferência da estaca. Esta última suposição parece ser mais satisfatória para estacas curtas. Para estacas relativamente esbeltas, no entanto, existem poucas diferenças entre as soluções baseadas nestas representações da distribuição das tensões cisalhantes para carregamentos pontuais.

Usando a solução de Mindlin para um carregamento pontual no interior de um semi - sólido infinito, Poulos^{1º, 2º} obteve os fatores de interação para um grupo constituído de duas

estacas. A análise, então, é estendida para obter a solução de qualquer grupo de estacas, utilizando a técnica da superposição. Estes fatores de interação são bastante satisfatórios desde que as estacas do grupo tenham o mesmo diâmetro e comprimento e que a distribuição das cargas no topo das estacas seja conhecida. Além disso, o método só pode ser aplicado em estaqueamentos simétricos.

Poulos¹⁸, analisa o recalque de grupos de estacas carregadas axialmente, considerando a interação entre elas, por superposição de efeitos, partindo da solução interativa obtida para duas estacas. Ele analisa estacas unidas por um bloco rígido, para o qual as estacas tem o mesmo recalque, e também, por um bloco flexível, para o qual as estacas estão sujeitas a cargas iguais, obtendo taxas de recalque do grupo calculadas em relação à estaca isolada. Como as estacas verticais analisadas são incompressíveis, ele considerou o efeito de uma camada de solo rígido situado sob a base das estacas.

Para estacas sujeitas a um carregamento horizontal ou a um momento, Poulos¹⁹ analisa os deslocamentos de estacas isoladas flutuantes, considerando o solo como um meio elástico contínuo. Poulos¹⁹ consegue um comportamento teórico do solo bastante satisfatório em relação a dados obtidos experimentalmente. Este método permite fazer uma estimativa do efeito do movimento da estaca em relação ao seu comprimento e a sua rigidez, ou ainda, fazer uma análise dos efeitos do escoamento do solo. Em uma comparação com o método do coeficiente de reação horizontal,

Poulos¹⁹ mostra que para este último, os momentos, deslocamentos e rotações ficam ligeiramente superestimados.

Para analisar grupos de estacas carregadas lateralmente, Poulos²⁰ utiliza como comparação a análise desenvolvida por ele mesmo para estacas isoladas. A interação entre duas estacas carregadas igualmente é obtida e, mais uma vez, os resultados são estendidos para outros grupos de estacas. Os deslocamentos obtidos desta análise são mais dependentes da largura do estaqueamento do que do número de estacas do grupo, de tal forma que uma considerável redução de deslocamentos pode ser obtida, neste caso, utilizando-se um pequeno número de estacas com um espaçamento relativamente grande. O deslocamento inicial do grupo corresponde a uma percentagem grande do deslocamento final do grupo. A principal crítica a este trabalho está na utilização da superposição de efeitos no cálculo das deformações, quando se leva em consideração o escoamento do solo perto do topo das estacas, pois esta técnica só é válida sob condições elásticas. Segundo alguns autores, o princípio da superposição utilizada por Poulos²⁰, superestima as forças que agem sobre os topos das estacas ou o momento máximo, quando o carregamento aplicado é excessivamente alto.

2.1.5 - Outras análises

Gardner¹¹ desenvolveu um modelo matemático de uma estaca carregada axialmente, com a intenção de permitir a previsão do comportamento não linear de uma única estaca imersa no

solo, a partir de uma descrição adequada das propriedades físicas do solo adjacente. O método, que visa uma aplicação numérica, combina duas aproximações de cálculo: a consideração do solo como uma massa homogênea elástica e a consideração da estaca como uma série de elementos que transferem carga para o solo.

Em um trabalho feito recentemente, Poulos²² une dois métodos de análise: um para prever os deslocamentos de uma estaca carregada lateralmente, que permite a consideração de não linearidade da análise estaca - solo e uma análise elástica de grupo, (Poulos²⁰), a fim de determinar um método prático e rápido de estabelecer, de maneira satisfatória, a relação entre carga e deslocamento de um grupo de estacas carregadas lateralmente. Neste estudo, ele focaliza somente o comportamento do grupo e nenhum efeito individual das cargas sobre cada estaca isoladamente é obtido.

Em um estudo sobre recalque de estacas isoladas em solos não homogêneos, Poulos²³ apresenta uma solução numérica com a intenção de estimar rapidamente e de maneira prática o recalque de uma única estaca carregada axialmente. A análise visa, principalmente, solos cujos módulos de elasticidade variam linearmente com a profundidade. Ele adaptou a equação de Mindlin aplicada a um meio uniforme a um meio não homogêneo, chegando a um resultado razoável em comparação com os resultados obtidos por uma análise, através de elementos finitos. Ele conclui que a não homogeneidade tem pouca influência sobre estacas cuja base está imersa em solos relativamente duros. A análise

se parece proporcionar, ainda, resultados de precisão aceitável quando aplicada em estacas imersas em solos estratificados em camadas, quando a camada inferior é mais compressível do que as superiores.

Um estudo muito interessante foi feito por George¹², em 1980, com a finalidade de analisar o comportamento da plataforma de Heather, que foi instalada no Mar do Norte em 1977. Ele discute a validade de utilizar métodos de análise empíricos normalmente aceitos para prever a capacidade de carga das estacas e seus comportamentos em argilas rijas, tipo de solo encontrado onde a plataforma foi instalada.

O objetivo principal da análise de George¹² foi o de obter as cargas e deformações da fundação, e estabelecer a relação de resposta entre as estacas e o carregamento aplicado com a finalidade de utilizá-la na análise da superestrutura.

A análise utilizada para tal estudo, considera a interação entre estacas pertencentes a um grupo, utilizando o método dos elementos de contorno, que pressupõe o solo como um contínuo elástico tridimensional e foi desenvolvida por Barnejee¹, através da criação de um programa chamado PGROUP.

George¹² compara a taxa de recalque do grupo em relação a uma única estaca, com a taxa obtida por Poulos¹⁸ e com resultados obtidos experimentalmente, através de testes de carga em estacas imersas em um solo semelhante ao solo onde as

fundações da plataforma de Heather estão situadas. Ele conclue que a análise das fundações pode ser razoavelmente bem representadas pela consideração de um modelo elástico para o solo e que o projetista pode estar certo de que as fundações terão coeficiente de segurança adequado.

CAPÍTULO III

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1 - DESCRIÇÃO SUMÁRIA DO PROBLEMA PROPOSTO

O problema consiste em determinar os esforços nas seções transversais ao longo de estacas pertencentes a um grupo considerando-se a interação de forças entre elas em meio homogêneo.

Para ilustrar o método de solução utilizado, com o qual se quer obter um equilíbrio estático para o conjunto e determinar as forças de ligação entre as estacas e o solo e, por conseguinte, os esforços finais ao longo dos eixos das estacas, foi escolhido um estaqueamento único com estacas unidas pelo seu topo por um bloco rígido e imersas em um solo considerado, para fins de estudo, como um meio homogêneo elástico isotrópico linear com propriedades físicas conhecidas e condições de contorno pré-estabelecidas. A análise admite como hipótese um comportamento elástico e linear tanto físico quanto geométrico para todo o conjunto. Não foram consideradas na análise as deformações devidas as forças cortantes nas estacas.

3.2 - SIMPLIFICAÇÕES ADOTADAS

Com a finalidade de simplificar o modelo utilizado e a solução numérica correspondente, foram definidas algumas ca-

racterísticas físicas e geométricas para o problema proposto.

3.2.1 - Estaqueamento

O modelo para o estaqueamento admite as seguintes características para as estacas:

- material homogêneo;
- comportamento elástico linear;
- características mecânicas dos materiais idênticos para todas as estacas, (módulo de elasticidade E_e e módulo de elasticidade transversal G_e);
- estacas verticais com mesmo comprimento, representadas estruturalmente pelos seus eixos geométricos;
- condições de contorno: topo e base engastados no bloco e no solo;
- os eixos principais de inércia das estacas são paralelos aos eixos globais do estaqueamento;
- características geométricas constantes ao longo dos eixos das estacas, podendo ser diferentes entre si. Para cada estaca tem-se:
 - A_x - área da seção transversal;
 - I_x - momento de inércia à torção;
 - I_y - momento de inércia à flexão em relação ao eixo principal de inércia y da estaca;

- I_z - momento de inércia à flexão em relação ao eixo principal de inércia z da estaca.

3.2.2 - Solo

Admitem-se para o meio representante do solo, as seguintes características:

- meio contínuo tridimensional;
- material homogêneo elástico isotrópico linear (módulo de elasticidade, E_s , e coeficiente de Poisson, ν , constantes);
- superfície livre do meio coincidente com o plano do topo das estacas;
- bordo inferior do meio inteiramente restringido e coincidente com o plano das extremidades inferiores das estacas.

3.3 - DESCRIÇÃO GERAL DO MÉTODO DE SOLUÇÃO ADOTADO

O efeito do solo sobre as estacas constitui o problema fundamental da análise de um estaqueamento. Uma explicação geral do método utilizado para calcular os esforços do solo sobre o estaqueamento, se faz necessária por causa das várias etapas de cálculo que o método exige e visa dar uma perspectiva geral do que será explicado detalhadamente nos itens subsequentes.

As forças de ligação entre as estacas e o solo, para um carregamento externo aplicado sobre o bloco de coroamento,

que une o topo das estacas, são determinadas pelo método de flexibilidade ou do elemento de contorno indireto.

O sistema principal será o estaqueamento e o solo desvinculados. As incógnitas serão os esforços a serem aplicados ao longo dos eixos das estacas, em vínculos que definirão as direções onde serão feitas as compatibilidades de deslocamentos e rotações. A figura III.1(a) representa o modelo mecânico completo com as ações externas aplicadas no bloco. A figura III.1(b) representa os modelos mecânicos desacoplados, ou seja, o sistema principal. \underline{A}_L é o vetor que representa os esforços incógnitos de ligação entre estaca e o solo.

As etapas que definem o cálculo das forças de ligação incógnitas pelo método da flexibilidade são:

- i) Determinação pelo método da rigidez, dos deslocamentos e rotações ao longo do eixo das estacas, para o carregamento externo aplicado no bloco de coroamento do estaqueamento isolado. Estes deslocamentos constituirão o vetor independente do sistema de equações do problema e será representado por \underline{D}_{EC} .
- ii) Determinação dos deslocamentos e rotações relativos entre pontos das estacas e o do solo para esforços de ligação unitários aplicados no sistema principal. O conjunto de deslocamentos e rotações relativos calculados para um esforço unitário de cada vez, aplicado em todas as direções incóg-

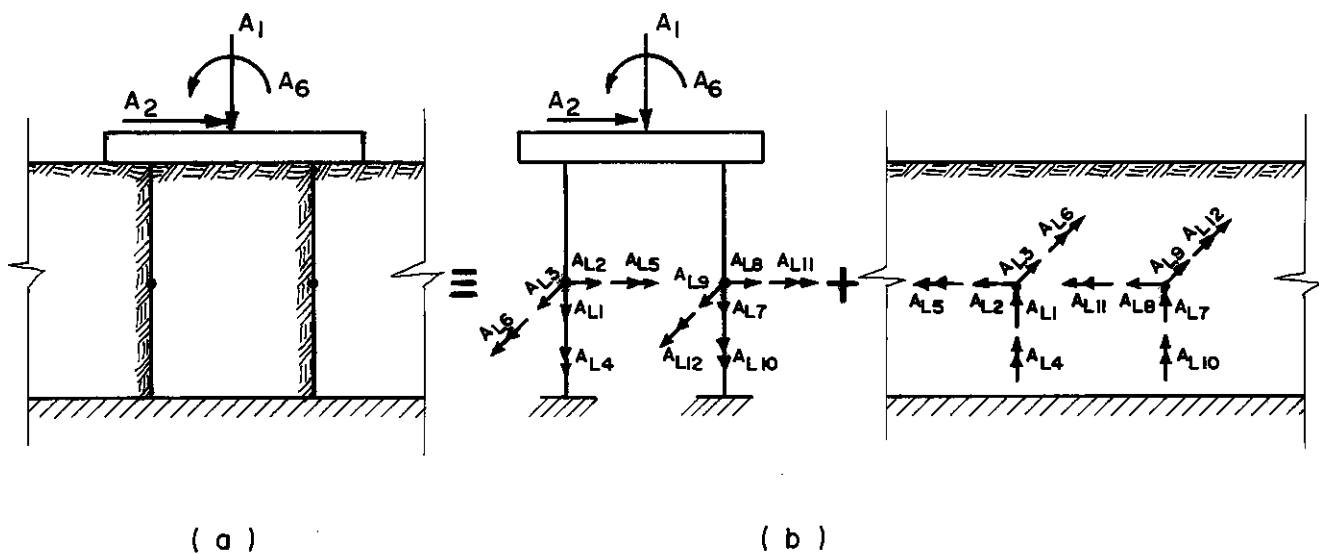


FIG. III.1 — (a) Modelo mecânico . (b) Sistema principal e as forças de ligação incognitas A_L .

nitadas do sistema principal, constituirá a matriz de flexibilidade \underline{F} do problema.

- iii) Resolução do sistema de equações que relacionam entre si as forças de ligação entre estacas e solo:

$$\underline{F} \underline{A}_L + \underline{D}_{EC} = 0 \quad (\text{III.1})$$

O cálculo dos coeficientes da matriz de flexibilidade será feito em duas etapas:

- i) Determinação pelo método da rigidez dos deslocamentos generalizados no estaqueamento isolado para esforços de ligação unitários aplicados nas direções de compatibilidade; e
- ii) Determinação dos deslocamentos generalizados no solo isolado para esforços de ligação unitários aplicados nas direções de compatibilidade.

O cálculo dos deslocamentos generalizados no solo isolado, para uma força aplicada no seu interior, será feita através de uma análise pelo método da flexibilidade. O sistema principal será o meio infinito e as condições de contorno que definem a compatibilidade do sistema serão as tensões τ_{11} , τ_{12} e τ_{13} nulas, no plano superior e os deslocamentos assim como rotações nulas, no plano inferior, como mostra a equivalência de modelos da figura III.2. A notação para as tensões será a mesma utilizada por Sokolnikoff³¹.

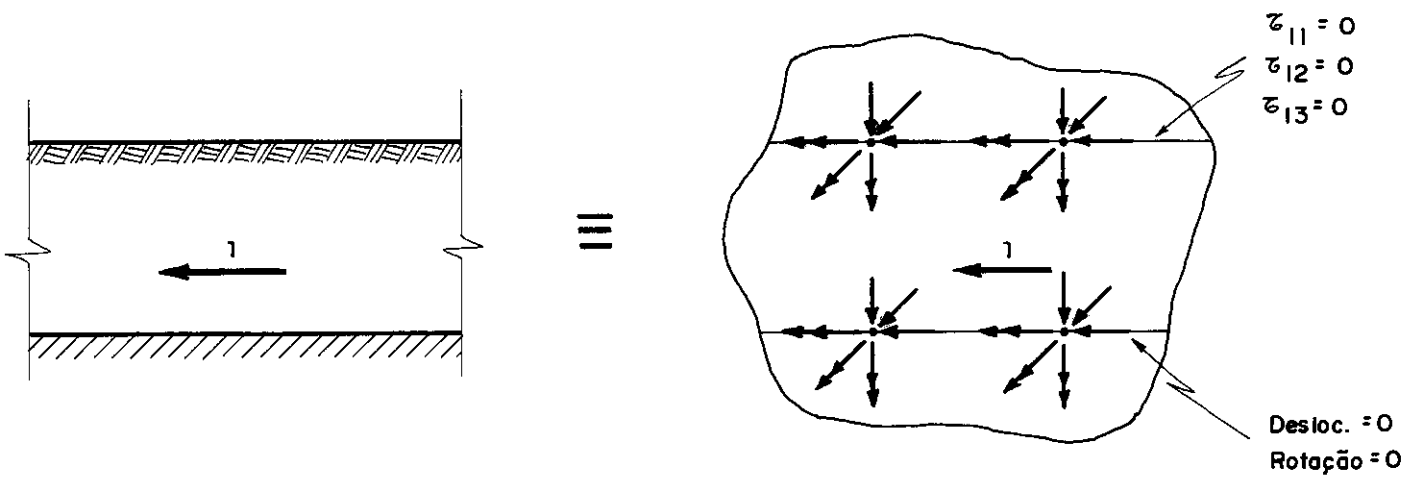


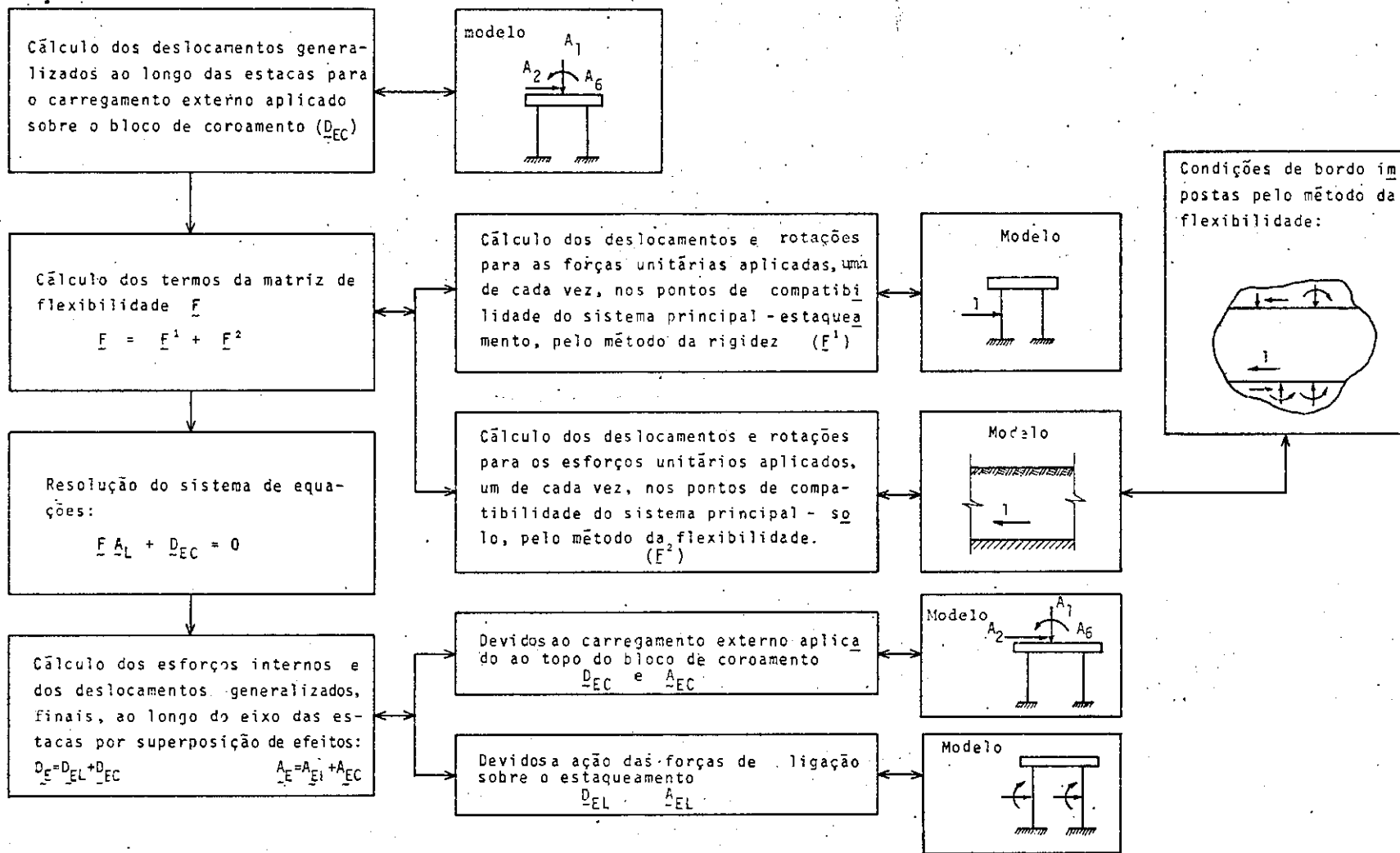
FIG. III.2 — Equivalência dos modelos mecânicos para o meio homogêneo.

Uma vez calculadas as forças de ligação entre as estacas e o solo, os esforços internos e deslocamentos generalizados nas seções transversais das estacas serão determinados por superposição de efeitos (figura III.3) devidos a ação dos esforços externos aplicados sobre o bloco de coroamento do estaqueamento (Método da Rigidez) e devidos a esforços de ligação entre as estacas e o solo aplicados nos pontos onde foi feita a compatibilidade de deslocamentos e rotações do estaqueamento (Método da Rigidez). A ênfase de cálculo foi dada à estrutura do estaqueamento e os esforços no solo não foram examinados além do necessário para obtenção dos esforços internos e deslocamentos generalizados ao longo dos eixos das estacas.

Um fluxograma resumido das fases de cálculo do método pode ser observado no fluxograma III.1.

3.4 - FORMULAÇÃO DA ANÁLISE PARA O CONJUNTO ESTAQUEAMENTO-SOLO

O modelo mecânico para a análise final do problema é de um estaqueamento vinculado ao solo, para o qual serão obtidos os esforços e deslocamentos qualquer que seja o carregamento aplicado sobre o bloco de coroamento das estacas. O problema se limita, então, à determinação dos esforços de ligação incógnitos entre o estaqueamento e o meio homogêneo de tal forma que não haja deslocamentos relativos entre as estacas e o solo, ao longo do comprimento das estacas.



Fluxograma III.1 - Fases de cálculo do método utilizado

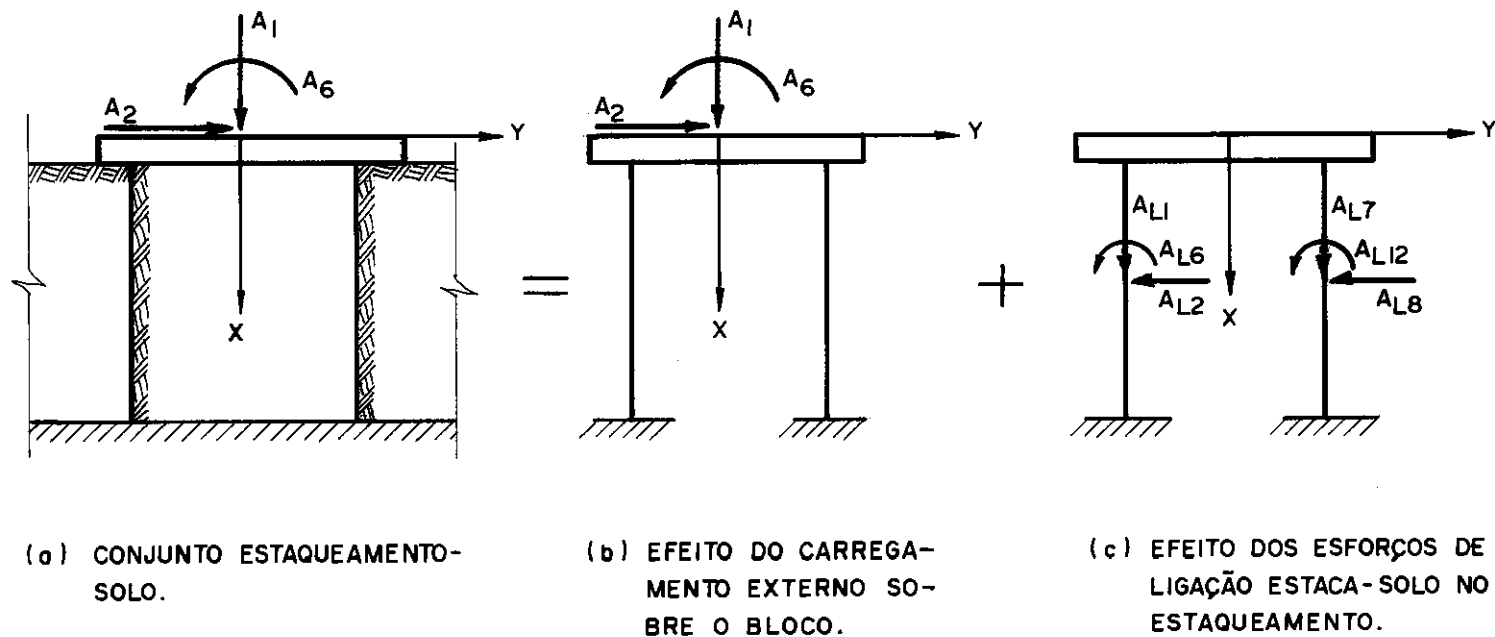


FIG. III.3 — Esquema da solução final.

É importante observar que a análise considera possível a ocorrência de tração no solo. Todas as forças generalizadas provocam deslocamentos e rotações em qualquer ponto do meio, por ser ele considerado, na análise, homogêneo.

A definição geométrica do estaqueamento é feita através das coordenadas dos topos das estacas em relação a um sistema de eixos cartesianos de referência e do comprimento L das estacas. A origem deste sistema está no plano superior do bloco de estacas como mostra a figura III.4. O eixo X do sistema global de coordenadas cartesianas aponta sempre para baixo.

As forças e momentos, assim como ações e esforços internos ou externos, são tidos como positivos quando seus sentidos são os mesmos dos eixos coordenados correspondentes, como mostra a figura III.5(a). Os deslocamentos são positivos quando ocorrem no mesmo sentido dos eixos coordenados correspondentes e as rotações, quando ocorrem nos sentidos de X para Y , de Y para Z ou de Z para X , como indica a figura III.5(b).

Consideram-se positivas as forças de ligação entre as estacas e o meio homogêneo, nos sentidos indicados na figura III.6. As forças de ligação têm seus sentidos opostos pois correspondem às ações das estacas sobre o solo e vice-versa, de mesmo valor absoluto. Os esforços generalizados do solo sobre a estaca serão orientados conforme o sentido positivo dos eixos cartesianos globais.

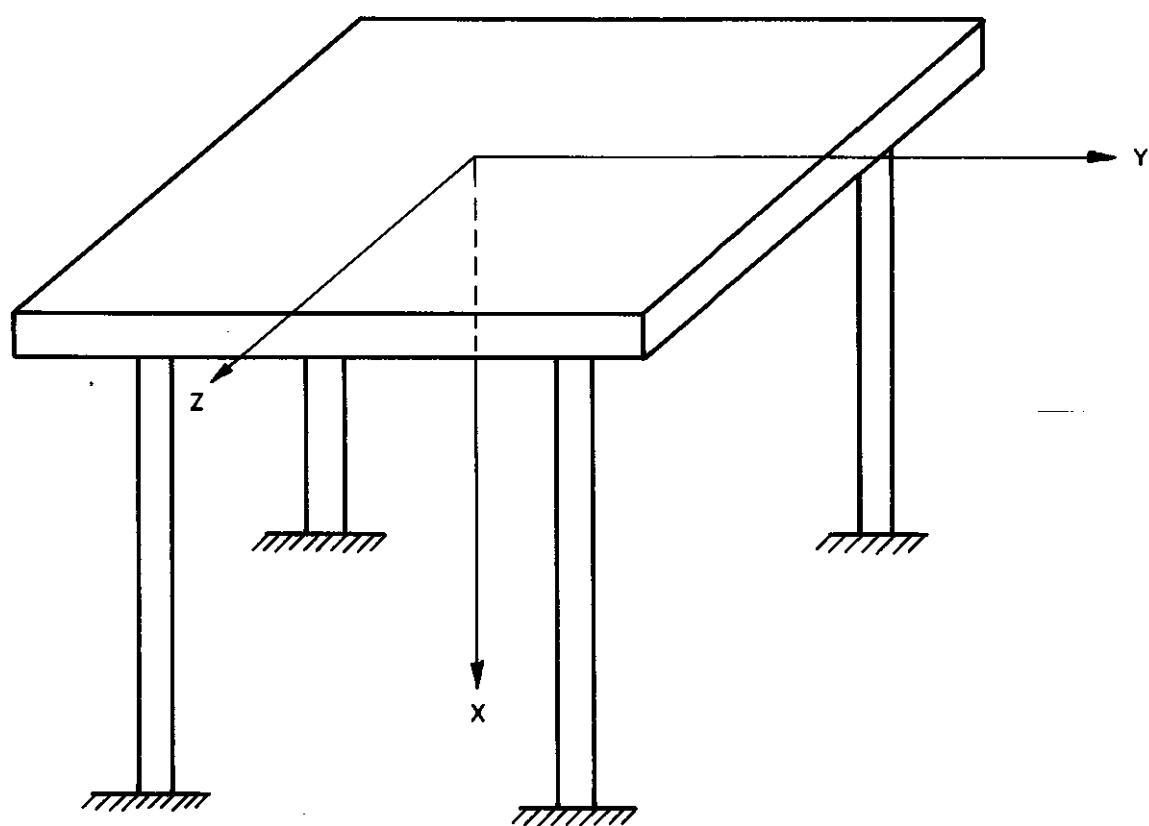


FIG. III.4 — Sistema global de coordenadas.

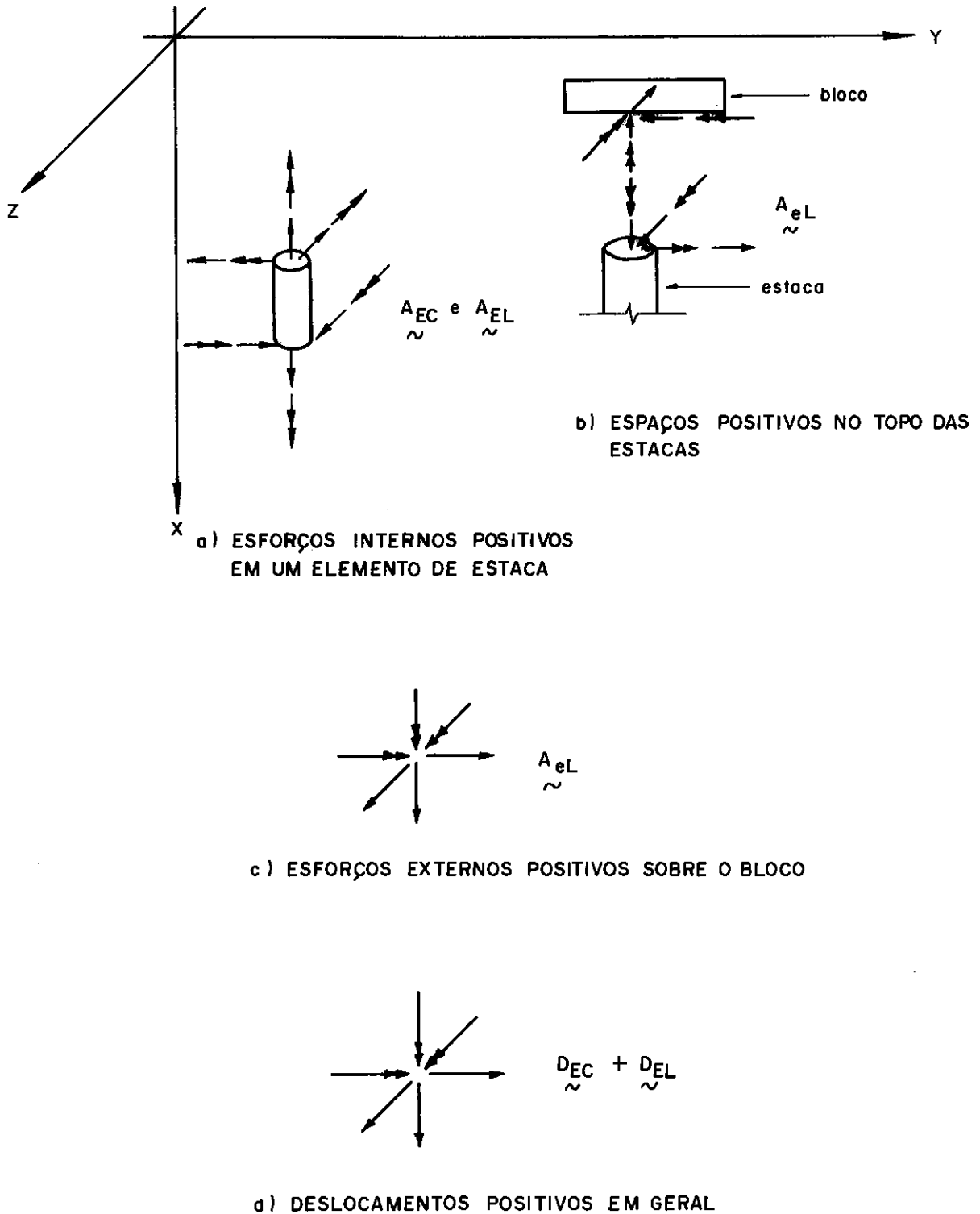


FIG. III.5 — Convenção de sinais , direções positivas.

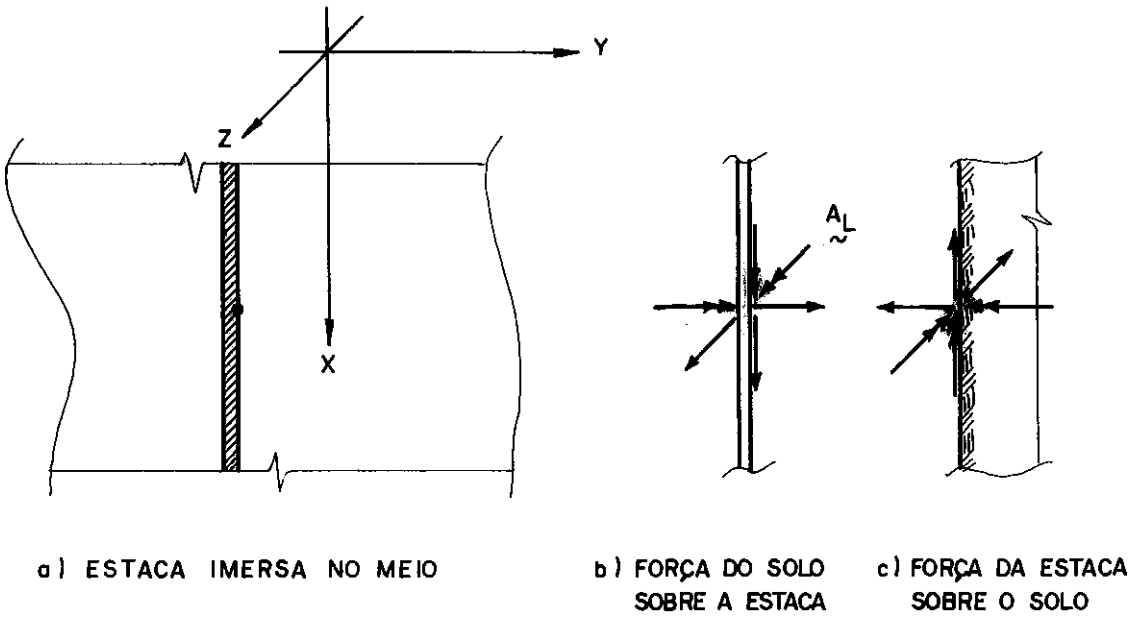


FIG. III.6 — Convenção dos sinais positivos para as forças de ligação entre estaca e meio homogêneo.

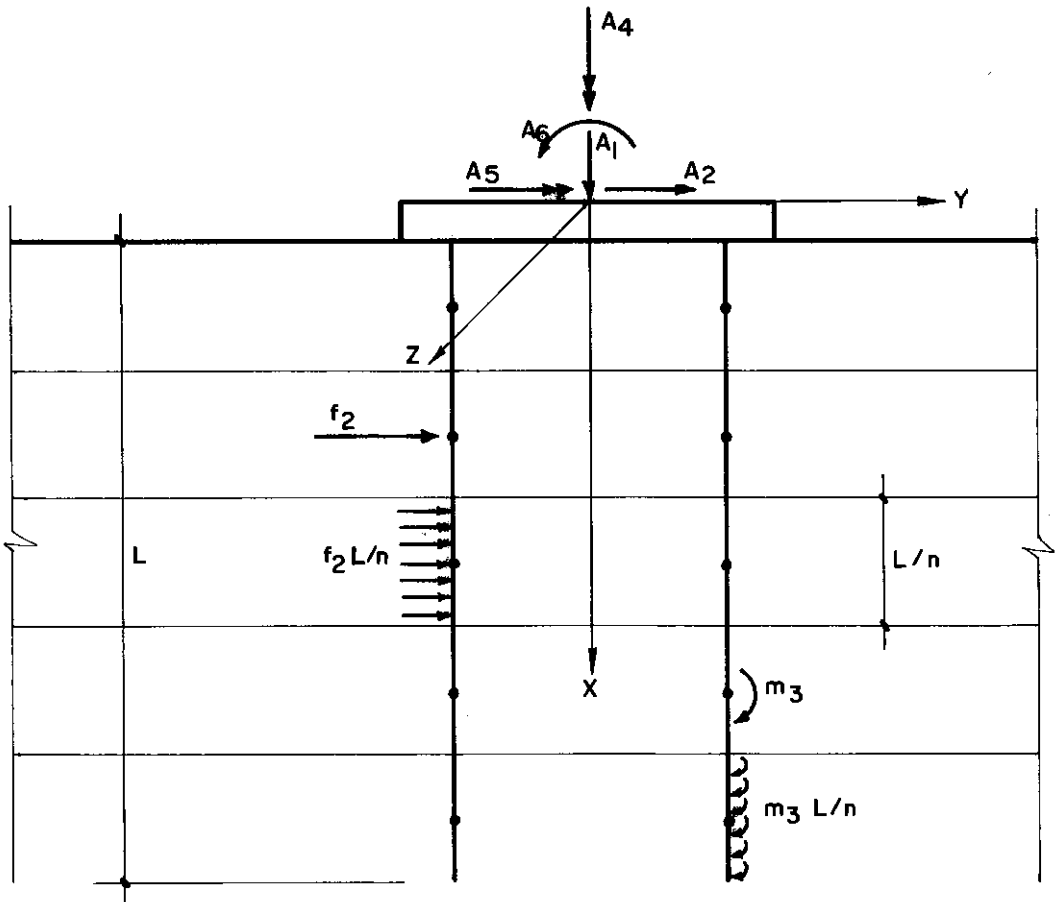


FIG. III.7 — Esquema estrutural do conjunto estaqueamento-solo.

Para fins de cálculo dos coeficientes da matriz de flexibilidade do sistema, que define a interação do meio homogêneo e estaqueamento, os deslocamentos e rotações serão positivos quando ocorrerem no mesmo sentido das forças de ligação incógnitas, como está indicado na figura III.6.

O único carregamento externo considerado para o conjunto estaqueamento-solo é concentrado e aplicado no bloco, no centro do sistema global de coordenadas e é representado por um vetor com 3 forças e 3 momentos. O esquema estrutural do conjunto está representado na figura III.7.

As estacas foram divididas em n elementos de mesmo comprimento L/n . As ações do meio homogêneo sobre cada elemento de comprimento n foram consideradas distribuídas uniformemente ao longo de seus eixos, (figura III.7). Por simplificação, as resultantes destas ações generalizadas distribuídas, ou forças de ligações incógnitas do problema, foram aplicadas nos centros de cada elemento da estaca. Os centros destes elementos foram denominados "nós de referência". A compatibilidade de deslocamentos e rotação entre pontos das estacas e meio homogêneo será feita, somente, nos nós de referência, onde, para a análise em questão, os deslocamentos relativos entre estacas e solo devem ser nulos.

Para cada nó de referência haverá, então, seis componentes de força e de deslocamento possíveis. Considerando que a união entre o estaqueamento e o solo será feita através dos nós de referência, tem-se uma estrutura com um grau de indeterminação

nação m , igual a 6 vezes o número de nós de referência do conjunto. Cada componente do esforço do problema será uma incógnita do sistema de equação.

Os deslocamentos relativos generalizados no sistema principal adotado devido ao carregamento externo foram representados pelo vetor \underline{D}_{EC} ; os esforços de ligação incógnitas esta-ca-meio, pelo vetor \underline{A}_L e os coeficientes de flexibilidade do sistema, pela matriz \underline{F} . A representação matricial das equações de compatibilidade de deslocamentos da estrutura proposta é a seguinte:

$$\underline{F} \underline{A}_L + \underline{D}_{EC} = 0 \quad (\text{III.2})$$

onde \underline{F} é da ordem de $|\underline{m} \times \underline{m}|$ e \underline{A}_L assim como \underline{D}_{EC} de $|\underline{m} \times \underline{1}|$.

Os elementos do vetor \underline{D}_{EC} correspondem aos deslocamentos nas direções incógnitas, para o carregamento externo aplicado no bloco do estaqueamento isolado, estrutura sem os vínculos com o meio, e o cálculo destes deslocamentos será explicado no item 3.5.2. Os esforços internos para este mesmo carregamento e modelo, nas seções transversais que passam pelos nós de referência das estacas sem vínculos, ficarão representados pelo vetor \underline{A}_{EC} .

Um elemento F_{ij} da matriz de flexibilidade \underline{F} representa o coeficiente de influência da força de ligação, entre as estacas e o solo, em uma direção j , sobre o deslocamento relativo entre eles, associado a uma das forças redundantes de

ligação em uma direção \underline{i} e é numericamente igual ao deslocamento relativo entre estacas e meio homogêneo na direção \underline{i} , para uma força de ligação unitária aplicada na direção \underline{j} . Teoricamente uma força de ligação qualquer exerce efeito sobre os deslocamentos em todas as direções de compatibilidade e, portanto, a matriz \underline{F} é cheia.

Os deslocamentos relativos entre estaca e meio, que formam os coeficientes da matriz \underline{F} , são obtidos através da soma de 2 parcelas:

- i) Determinação dos deslocamentos F_{ij}^1 generalizados, (associados às forças de ligação em todas as direções de compatibilidade), do estaqueamento desvinculado do meio devidos a um esforço unitário aplicado em uma direção de cada vez, (o assunto será abordado no item 3.5.5.2).
- ii) Determinação dos deslocamentos F_{ij}^2 generalizados, (associados às forças de ligação em todas as direções), do meio desvinculado do estaqueamento devidos a um esforço unitário aplicado em uma direção de cada vez (o assunto será abordado no item 3.5.5.3.).

Os deslocamentos relativos entre as estacas e o solo nas direções de compatibilidade, que representam os coeficientes de influência F_{ij} da matriz de flexibilidade \underline{F} , são dados pela relação:

$$F_{ij} = F_{ij}^1 + F_{ij}^2 \quad (\text{III.3})$$

Através da solução do sistema de equação III.2 obtem-se o vetor \underline{A}_L de ação do solo sobre os nós de referência de estacas. Estas forças de ligação no estaqueamento isolado, conjuntamente com as ações externas aplicadas no bloco de coroamento das estacas, constituem o carregamento final do estaqueamento para fins de determinação dos esforços internos definitivos nas seções transversais das estacas.

Aplicando os esforços \underline{A}_L sobre os nós de referência do estaqueamento isolado e determinando os esforços internos e deslocamentos generalizados correspondentes, nestes mesmos nós, definidos pelos vetores \underline{A}_{EL} e \underline{D}_{EL} (abordado no item 3.5.7), respectivamente, pode-se obter todos os componentes dos esforços internos e deslocamentos generalizados, finais, nas seções transversais dos nós de referência das estacas, por superposição de efeitos:

$$\underline{A}_E = \underline{A}_{EL} + \underline{A}_{EC} \quad (\text{III.4})$$

$$\underline{D}_E = \underline{D}_{EL} + \underline{D}_{EC} \quad (\text{III.5})$$

3.5 - SOLUÇÕES ADOTADAS PARA CADA ETAPA DA ANÁLISE

3.5.1 - Definição dos Modelos e Resumo das Etapas

Para se poder resolver a equação básica do problema dada pela expressão III.2, é necessário efetuar análises parciais em modelos mecânicos com as seguintes características principais:

- i) Estaqueamento isolado, caracterizado por uma estrutura reticulada espacial que, para uma análise per si, requererá a solução do problema do modelo caracterizado pela estaca isolada.
- ii) Solo isolado com condições de bordo prescritas (sem tensões τ_{11} , τ_{12} e τ_{13} no bordo superior e com deslocamentos nulos no bordo inferior), que para uma análise per si, requererá a solução do problema do modelo caracterizado pelo meio de dimensões infinitas (problema de Kelvin e decorrentes).

As diversas etapas da análise podem ser resumidas nos seguintes procedimentos:

- i) Determinação dos deslocamentos generalizados relativos D_{EC} nos nós de referência do sistema principal referentes a cargas externas, (no caso, limita-se ao modelo do estaqueamento isolado).

- ii) Determinação dos esforços internos \underline{A}_{EC} nas estacas referentes as cargas externas, utilizando o modelo estaqueamento isolado.
- iii) Determinação dos elementos da matriz \underline{F} de flexibilidade no sistema principal (modelos estaqueamento isolado e solo isolado com condições de contorno prescritas).
- iv) Resolução do sistema $\underline{F} \underline{A}_L + \underline{D}_{EC} = 0$, obtendo-se o vetor \underline{A}_L de forças incógnitas de ligação entre estacas e solo.
- v) Cálculo dos deslocamentos generalizados \underline{D}_{EL} nos nós de referência das estacas, referentes as forças de ligação \underline{A}_L , utilizando o modelo do estaqueamento isolado.
- vi) Cálculo dos esforços internos \underline{A}_{EL} nos nós de referência das estacas referentes as forças de ligação \underline{A}_L , utilizando o modelo do estaqueamento isolado.
- vii) Obtenção dos deslocamentos generalizados finais das estacas por superposição de efeitos, através da expressão $\underline{D}_E = \underline{D}_{EL} + \underline{D}_{EC}$.
- viii) Obtenção dos esforços internos finais das estacas por superposição de efeitos, através da expressão $\underline{A}_E = \underline{A}_{EL} + \underline{A}_{EC}$.

Não foram apresentados os procedimentos para calcular os valores dos deslocamentos e de tensões em um ponto genérico.

co do solo. É naturalmente possível determinar estes valores a partir das forças de ligação calculadas nos pontos de união entre o solo e as estacas, discriminados no problema.

3.5.2 - Determinação dos Deslocamentos Generalizados Relativos D_{EC}

3.5.2.1 - Método de Análise

Os deslocamentos generalizados D_{EC} de pontos ao longo das estacas são determinados utilizando somente o modelo correspondente ao estaqueamento isolado já que não existe, na hipótese considerada, carregamento externo aplicado no meio representante do solo.

O método da rigidez foi adotado na análise do estaqueamento isolado. O desenvolvimento teórico da análise considera inclinações e comprimentos diferentes para cada estaca, embora estas possibilidades não sejam utilizadas no problema.

3.5.2.2 - Determinação do Deslocamento do Bloco e das Ações no Topo das Estacas para um Carregamento Externo Aplicado na Origem do Sistema Global de Coordenadas

A seguir será formulado o método de análise utilizado para calcular os deslocamentos e rotações no centro do bloco de coroamento das estacas, e as consequentes ações no topo das estacas, considerando uma carga externa aplicada também no centro do bloco.

O bloco foi definido como absolutamente rígido. O problema, então, se reduz à determinação dos 6 componentes de deslocamentos \underline{D}_{EG} de um único ponto do bloco, origem do sistema global de coordenadas que, usualmente é tomado como o centro geométrico da seção transversal do pilar que carrega o bloco de coroamento das estacas, como mostra a figura III.8.(a).

Deste modo, os vetores de deslocamentos generalizados \underline{D}_{EG} e de ações aplicadas no bloco \underline{A}_{EG} , ambos da ordem 1×6 , referem-se aos eixos globais de coordenadas como indicado na figura III.8.(a) e III.8.(b).

A convenção de sinal adotada será a mesma definida no item 3.4.

O sistema de equações de equilíbrio global do estaqueamento isolado, para o método da rigidez e a carga externa, considerada é portanto igual a:

$$\underline{A}_{EG} = \underline{S}_{EG} \underline{D}_{EG} \quad (\text{III.6})$$

onde \underline{S}_{EG} é a matriz de rigidez global da estrutura.

Para definir as ações e os deslocamentos no topo das estacas é preciso estabelecer um sistema local de coordenadas para cada uma. Neste sistema o eixo \underline{x} está coincidente com o eixo da estaca, orientado para baixo, e os outros dois eixos, \underline{y} e \underline{z} , com os eixos principais de inércia das seções transver-

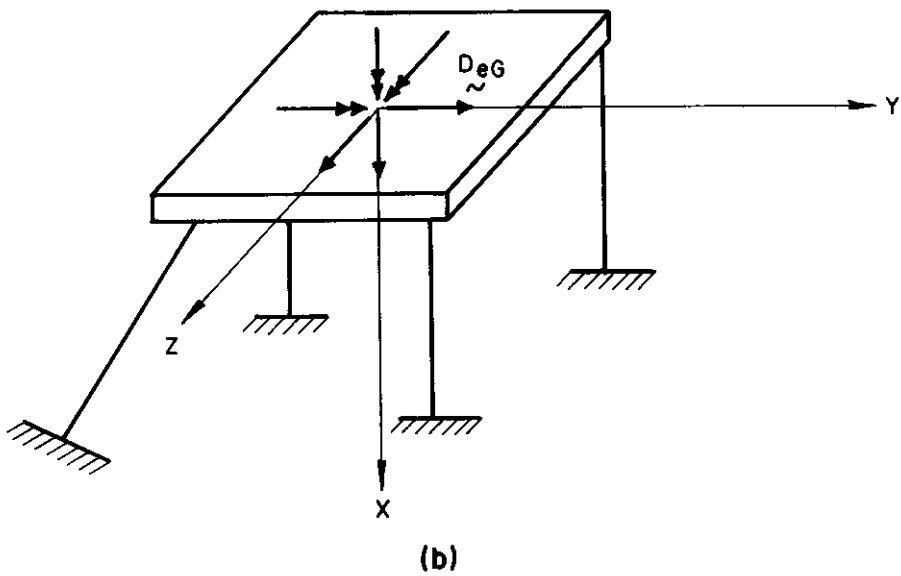
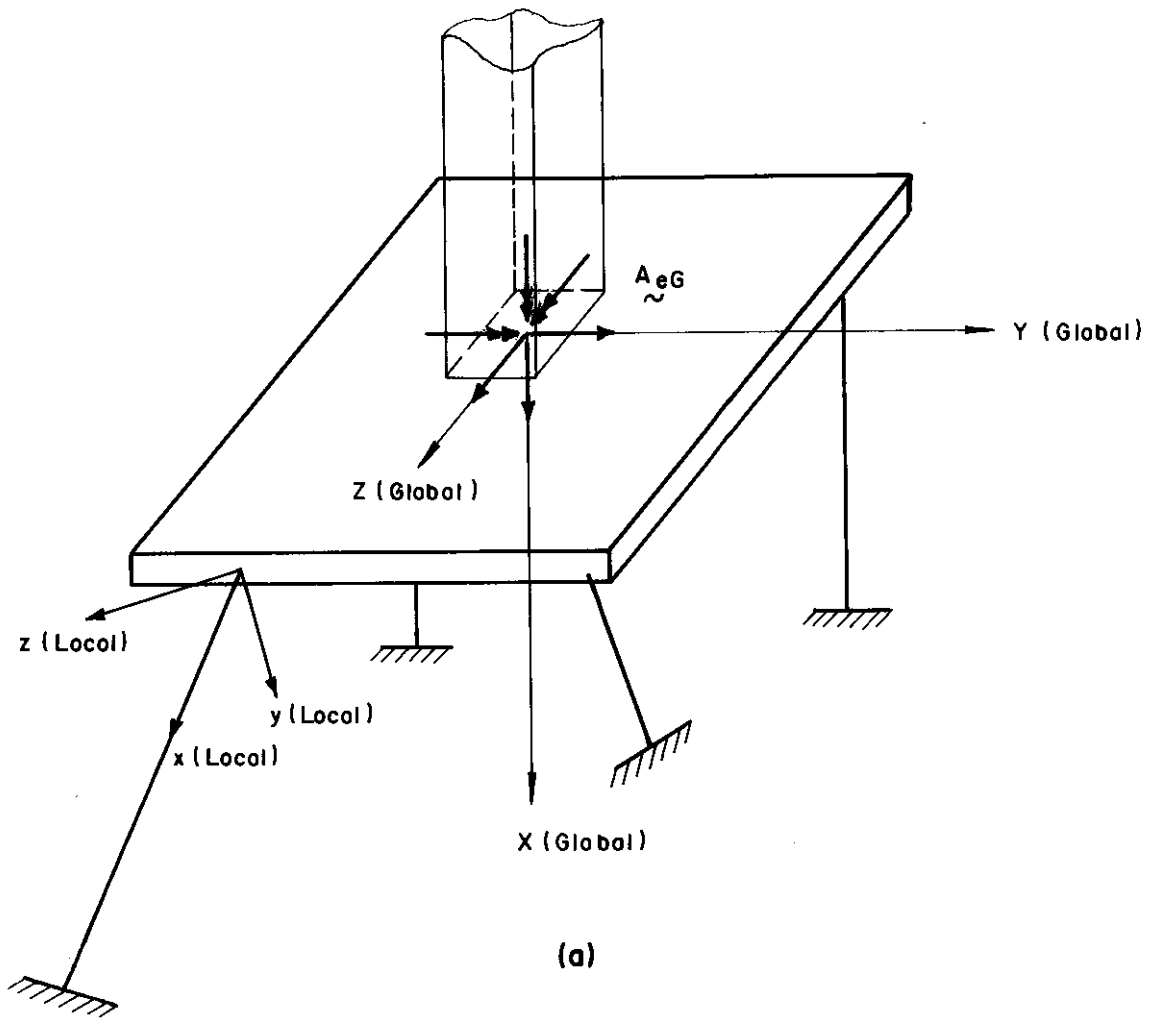


FIG. III.8 — Modelo do estaqueamento isolado — eixos local e global de coordenadas e sentidos positivos das ações generalizadas externas(a) e dos deslocamentos (b) .

sais. Os topos das estacas são os centros dos sistemas locais de coordenadas (figura III.8). O eixo x fica definido pelos cosenos diretores da estaca e pelo ângulo B que o eixo principal da inércia y faz como o plano Y-Z do sistema global de coordenadas.

A matriz de rigidez local de uma estaca qualquer, representada por \underline{S}_{eL} é, neste caso, da ordem de 6 x 6 porque os deslocamentos das bases das estacas estarão sempre impedidos, de acordo com a condição de bordo particular do problema. Os elementos desta matriz foram definidos por Gere¹³ e estão relacionados no Apêndice I. Para cada estaca pode-se definir o seguinte sistema de equações:

$$(\underline{A}_{eL})_k = (\underline{S}_{eL})_k (\underline{D}_{eL})_k \quad (\text{III.7})$$

onde \underline{A}_{eL} é o vetor de ações e \underline{D}_{eL} é o vetor de deslocamento, ambos, no topo da estaca k e da ordem de 6 x 1, utilizando a mesma convenção de sinal adotada para ações e deslocamentos generalizados, referentes aos eixos locais de coordenadas, conforme mostra a figura III-5.

Conhecida a matriz de translação, \underline{T} , dos deslocamentos generalizados do sistema global de coordenadas para um sistema paralelo ao global, com sua origem fixada em um dos eixos cartesianos locais, e a matriz de rotação, \underline{R} , desde último eixo para o sistema local de coordenadas, pode-se determinar, de acordo com Reese²⁸ e Saul²⁹ a matriz de rigidez global da estrutura, a partir das matrizes de rigidez de cada estaca, efetuando-se as translações e rotações necessárias da origem do sistema

local de coordenadas da referida estaca para o centro do sistema global dos eixos cartesianos como mostra a expressão abaixo:

$$\underline{S}_{eG} = \sum_{k=1}^p (\underline{RT})'_k (\underline{S}_{eL})_k (\underline{RT})_k \quad (\text{III.8})$$

onde p é o número de estacas, \underline{RT} é a multiplicação da matriz \underline{R} pela matriz \underline{T} , e $(\underline{RT})'$ é a matriz transposta de (\underline{RT}) .

Resolvendo o sistema de equações III.6, obtém-se os deslocamentos \underline{D}_{eG} do bloco, para o estaqueamento isolado com um carregamento externo definido pelo vetor \underline{A}_{eG} .

Os deslocamentos e ações no topo das estacas são facilmente determinados pelas expressões:

$$(\underline{D}_{eL})_k = (\underline{RT})_k \underline{D}_{eG} \quad (\text{III.9})$$

$$(\underline{A}_{eL})_k = (\underline{S}_{eL})_k (\underline{RT})_k \underline{D}_{eG} \quad (\text{III.10})$$

As matrizes de rigidez \underline{R} , e translação \underline{T} , assim como suas definições, e as deduções das expressões III.8 a III.10 estão no Apêndice A.II.

3.5.2.3 - Deslocamentos Generalizados em uma Haste Isolada a Partir de Ações Aplicadas no Topo e ao Longo da Estaca

A obtenção dos deslocamentos generalizados \underline{D} nos nós de referência, que serão utilizados no sistema de equações

III.2 e na expressão III.5, podem ser calculados a partir das ações no topo das estacas \underline{A}_{eL} obtidas pela solução do sistema de equações III.7, considerando cada estaca como um balanço engastado na base.

Os deslocamentos e rotações em qualquer ponto do eixo de uma estaca isolada foram obtidos a partir da integração ao longo do eixo das estacas, do produto das 2 funções referentes aos esforços solicitantes dividido pela rigidez, através do princípio dos trabalhos virtuais. A integração foi feita para ações aplicadas no topo das estacas.

Como será mais tarde necessário também determinar deslocamentos para esforços aplicados ao longo de estacas, as expressões serão deduzidas supondo também a atuação de esforços ao longo das estacas.

O esquema estrutural adotado no cálculo dos deslocamentos e rotações nos nós de referência, está representado na figura III.9.

A notação utilizada nas expressões III.11, que determinam os deslocamentos generalizados nas seções transversais das estacas, está também representada na figura III.9, onde x é a coordenada do ponto onde se deseja calcular os deslocamentos e rotações; ξ é a coordenada do ponto onde são aplicadas as ações fora do topo das estacas; ζ é o maior de dois valores x e ξ ; \underline{A}_{eL} e \underline{A}_n são os vetores, de ordem de 1×6 , de ações aplicadas

no topo e no nó ξ do elemento, respectivamente; o vetor \underline{D} corresponde a 3 deslocamentos nas direções dos eixos coordenados locais da estaca e a 3 rotações em torno dos eixos x , y e z , respectivamente; I_x , I_y e I_z são os momentos de inércia da haste considerada. A convenção de sinal é a mesma definida no item 3.4.

As expressões III.11 são apresentadas a seguir:

$$\begin{aligned}
 D_1 &= \frac{1}{E_e A_x} \{A_{eL1}(L-x) + A_{n1}(L-\zeta)\} \\
 D_2 &= \frac{1}{E_e I_z} \left\{ \frac{A_{eL2}}{6} [x^3 + L^2(2L-3x)] - \frac{A_{eL6}}{2}(L-x)^2 + \right. \\
 &\quad + A_{n2} \left[\left(\frac{L^3}{3} - \frac{\zeta^3}{3} \right) - (x+\xi) \left(\frac{L^2}{2} - \frac{\zeta^2}{2} \right) + x\xi(L-\zeta) \right] - \\
 &\quad \left. - A_{n6} \left[\left(\frac{L^2}{2} - \frac{\zeta^2}{2} \right) - x(L-\zeta) \right] \right\} \\
 D_3 &= \frac{1}{E_e I_y} \left\{ \frac{A_{eL3}}{6} [x^3 + L^2(2L-3x)] + \frac{A_{eL5}}{2}(L-x)^2 + \right. \\
 &\quad + A_{n3} \left[\left(\frac{L^3}{3} - \frac{\zeta^3}{3} \right) - (x+\xi) \left(\frac{L^2}{2} - \frac{\zeta^2}{2} \right) + x\xi(L-\zeta) \right] + \\
 &\quad \left. + A_{n5} \left[\left(\frac{L^2}{2} - \frac{\zeta^2}{2} \right) - x(L-\zeta) \right] \right\} \\
 D_4 &= \frac{1}{G_e I_x} \{A_{eL4}(L-x) + A_{n4}(L-\zeta)\} \\
 D_5 &= \frac{1}{E_e I_y} \left\{ \frac{A_{eL3}}{2}(L^2-x^2) + A_{eL5}(L-x) + A_{n3} \left[\left(\frac{L^2}{2} - \frac{\zeta^2}{2} \right) - \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. - \xi(L-\zeta) \right] + A_{n5}(L-\zeta) \right\}
 \end{aligned}
 \tag{III.11}$$

$$D_6 = \frac{1}{E_e I_z} \left\{ -\frac{A_{eL2}}{2} (L^2 - x^2) + A_{eL6}(L-x) - A_{n2} \left[\left(\frac{L^2}{2} - \frac{\xi^2}{2} \right) - \xi(L-\xi) \right] + A_{n6}(L-\xi) \right\} \quad (III.11)$$

3.5.4 - Determinação dos Esforços Internos A_{EC} para as Cargas Externas Aplicadas no Sistema Principal

O cálculo de A_{EC} nos nós de referência de uma estaca é feito com auxílio dos esforços A_{eL} nos topos das estacas já determinados no item 3.5.2.2. Aqui são empregadas as expressões usuais da estática considerando a estaca como um balanço engastado na rocha.

A convenção de sinal adotada para os esforços internos é a mesma definida no item 3.4, seguindo a orientação dos eixos cartesianos locais de cada estaca, conforme mostra a figura III.5.

3.5.5 - Determinação dos Coeficientes da Matriz de Flexibilidade

3.5.5.1 - Generalidades

Como já foi dito no item 3.4, um coeficiente da matriz de flexibilidade F corresponde a um deslocamento relativo em uma direção de compatibilidade, obtido pela aplicação de uma força de ligação unitária no sistema principal. A força de ligação corresponde ao conjunto de forças que agem do solo sobre as estacas e suas opostas de mesmo valor absoluto, das estacas sobre o

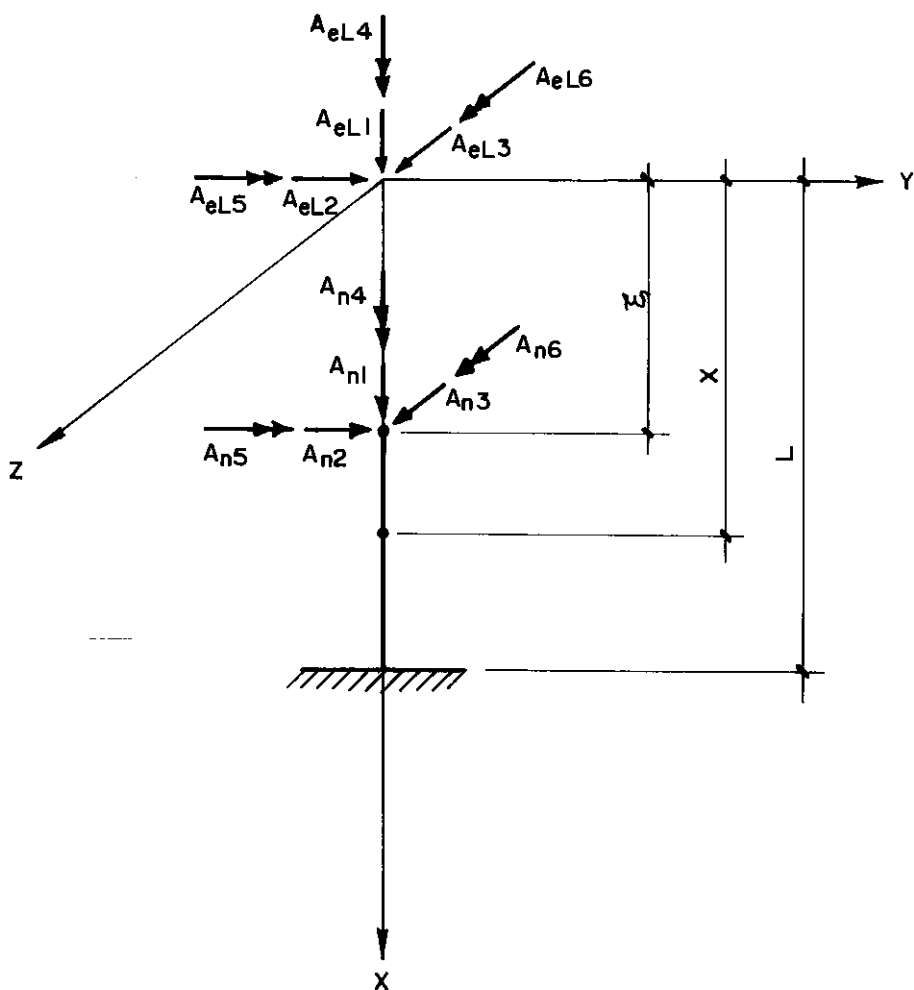


FIG. III.9 — Modelo utilizado para o cálculo dos esforços e deslocamentos ao longo da estaca.

solo. Os sentidos positivos destas forças de ligação estão indicadas na figura III.6. O sistema principal, como foi dito no item 3.3, é constituído do estaqueamento junto com o solo circumdante sem vínculos entre si.

Os deslocamentos relativos, então, podem ser calculados pela soma de duas parcelas: a primeira aplicando forças de ligação em um sentido no estaqueamento isolado, e depois, as mesmas forças de ligação, no sentido oposto, aplicada no solo isolado, como foi explicado no item 3.4. Os deslocamentos generalizados decorrentes da aplicação de forças unitárias no estaqueamento isolado terão seus sentidos considerados positivos se os deslocamentos e rotações ocorrerem no mesmo sentido positivo definido para as forças de ligação da figura III.6(b) e os decorrentes da força unitária aplicada no solo isolado serão considerados positivos se o sentido dos deslocamentos e rotações forem contrários aos anteriores, como está indicado na figura III.6(c).

3.5.5.2 - Determinação das Contribuições aos Coeficientes da Matriz de Flexibilidade Referentes ao Estaqueamento Iso lado

3.5.5.2.1 - Generalidades

Os coeficientes da matriz de flexibilidade referentes ao estaqueamento isolado são obtidos, calculando-se os deslocamentos generalizados nos nós de referência, para uma força de ligação unitária aplicada em uma direção prescrita qualquer

do estaqueamento.

O estaqueamento isolado é representado, como já foi mostrado, por um modelo mecânico semelhante a uma estrutura espacial com todas as hastes ligadas a uma peça rígida. Aplicando uma ação unitária em um ponto de uma haste qualquer da estrutura, os deslocamentos dos pontos de referência das hastes podem ser facilmente determinados pelo método da rigidez.

Um elemento qualquer F_{ij}^1 da matriz de flexibilidade parcial é numericamente igual ao deslocamento na direção i referente a uma força incôgnita unitária aplicada na direção j de compatibilidade do estaqueamento isolado.

As explicações subsequentes seguem os procedimentos usualmente utilizados no método de rigidez.

3.5.5.2.2 - Cálculo dos Esforços nas Extremidades Superiores das Estacas para Forças Unitárias Aplicadas ao Longo de seus Eixos.

A obtenção das ações no topo das estacas, para forças aplicadas ao longo de seus eixos, constitui o primeiro passo a ser executado afim de calcular os deslocamentos generalizados nos nós de referência, referentes à primeira parcela da matriz de flexibilidade. O modelo mecânico e o método de solução usados são os mesmos do item 3.5.2 sendo utilizado, como foi visto, o método da rigidez.

O carregamento do modelo neste caso é constituído por uma ação aplicada no interior da estaca. O procedimento inicial então é o de obter as ações equivalentes ao carregamento da

haste, no não de referência de encontro do topo da estaca com o bloco, através da determinao das ações de engastamento perfeito no topo da estaca carregada, que será representada pelo vetor \underline{A}_{eHL} , da ordem de 1×6 (figura III.10).

Fazendo-se a rotao e translao das ações equivalentes para o centro do sistema global de coordenadas, determina-se o vetor de cargas na origem dos eixos globais de coordenadas, correspondente ao vetor \underline{A}_{eG} . A equao de equilíbrio do estaqueamento isolado então, já  conhecida pela expressão III.6, fazendo neste caso:

$$\underline{A}_{eG} = \sum_{k=1}^p - (RT)'_k (\underline{A}_{eHL})_k \quad (III.12)$$

Determinando o deslocamento do bloco \underline{D}_{eG} através da soluço do sistema de equao III.6, pode-se obter as ações no topo das estacas como se segue:

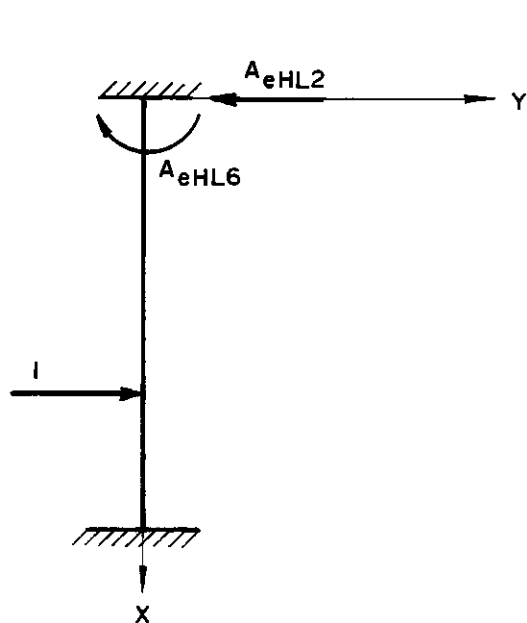
a) Para a estaca \underline{k} carregada, tem-se:

$$(\underline{A}_{eL})_k = (S_{eL})_k (\underline{RT})_k \underline{D}_{eG} + (\underline{A}_{eHL})_k \quad (III.13)$$

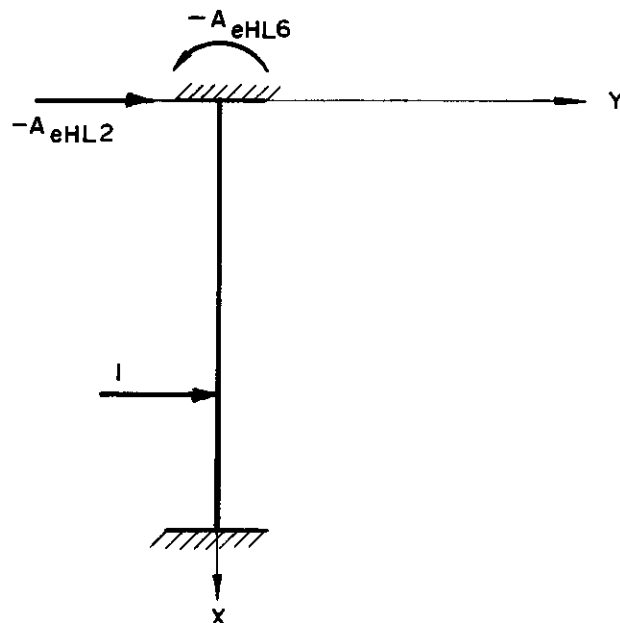
b) Para outras estacas não carregadas no seu interior vale a expressão III.10.

3.5.5.2.3 - Determinao dos Deslocamentos F^1_{ij}

Uma vez conhecidas as ações no topo das estacas e o carregamento unitário na direo j da estaca \underline{k} , fica fácil ob-



a) AÇÃO DE ENGASTAMENTO PERFEITO NO TOPO DA ESTACA.



b) AÇÃO EQUIVALENTE SOBRE O BLOCO DE COROAMENTO.

FIG. III.10 — Vektor A_{eHL} de ações de engastamento perfeito na haste carregada e ação \tilde{A}_{eHL} equivalente correspondente.

ter os deslocamentos generalizados F_{ij}^1 em todas as direções i de compatibilidade do sistema estaqueamento-solo, utilizando o princípio dos trabalhos virtuais aplicado em cada estaca separadamente.

As expressões fechadas obtidas da integração da fórmula dos trabalhos virtuais que são, utilizadas para calcular os deslocamentos F_{ij}^1 , considera a ação no topo das estacas dada pelo vetor A_{eL} e as forças de ligação unitárias expressas pelo vetor A_n na expressão III.11 do item 3.5.2.3.

3.5.5.3 - Determinação da Contribuição dos Coeficientes da Matriz de Flexibilidade Referentes ao Solo Isolado

3.5.5.3.1 - Generalidades

O meio homogêneo tridimensional considerado como modelo para o solo é limitado por duas fronteiras planas uma superior e outra inferior (figura III.11). A fronteira superior é constituída de uma superfície livre e a inferior por um plano onde os deslocamentos generalizados estão impedidos. Deseja-se calcular os deslocamentos neste meio em todas as direções de compatibilidade, 6 direções para cada nó de referência do sistema, para uma força de ligação unitária, entre estaca e solo, aplicada em uma das direções de cada vez. Estes deslocamentos correspondem aos coeficientes F_{ij}^2 , segunda parcela da matriz de flexibilidade F , (ver expressão III.3), da ação aplicada em uma das direções de compatibilidade j , do meio homogêneo isolado, sobre os desloca-

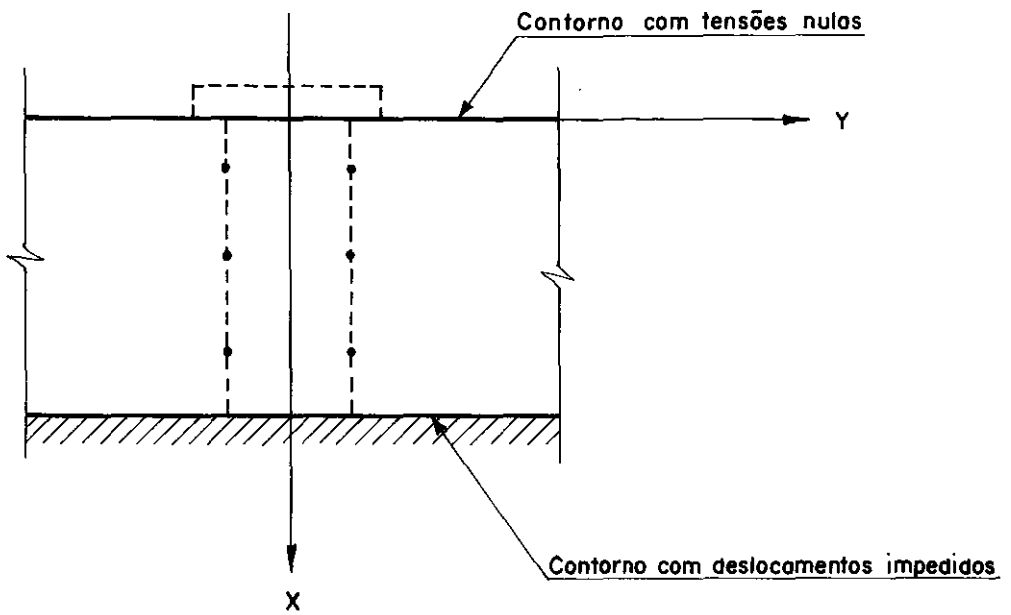


FIG. III.11 — Modelo adotado para o solo.

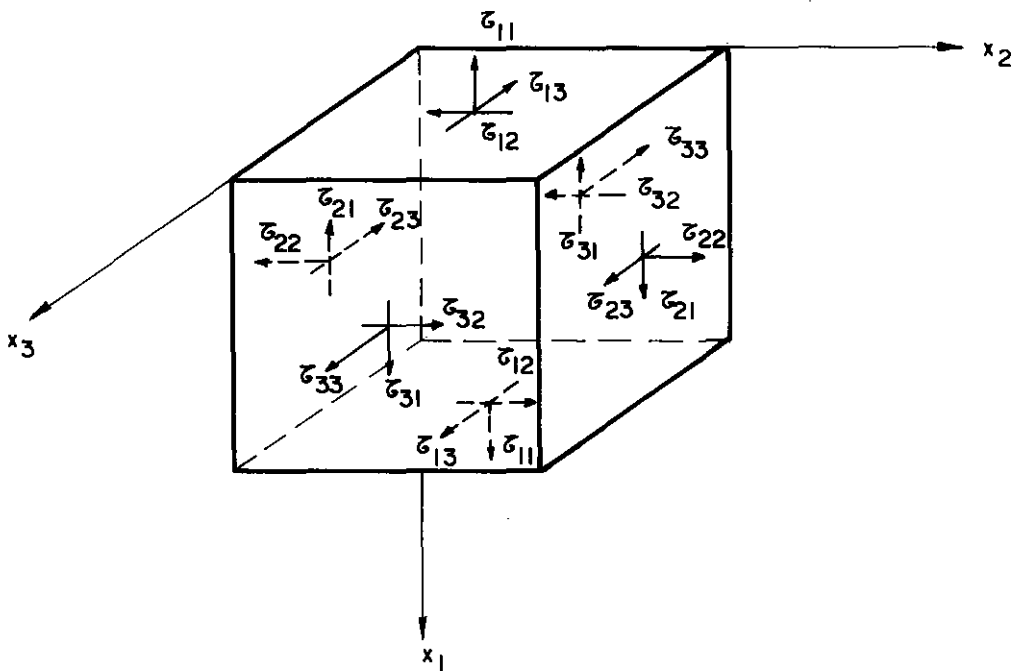


FIG. III.12 — Notação e convenção de sinal para as tensões.

mento associado a uma das forças redundantes de ligação, entre estaca e o solo, na direção i de sua aplicação.

Os deslocamentos e ações, generalizados, calculados neste item, referem-se aos eixos de coordenadas cartesianas globais de referência, ou a eixos cartesianos paralelos aos globais, como definido no item 3.4.

As forças de ligação da estaca sobre o solo serão consideradas positivas quando seus sentidos forem contrários aos sentidos dos eixos cartesianos globais (figura III.6(b)), como já foi definido no item 3.4. Os deslocamentos serão positivos quando seus sentidos forem os mesmos das forças positivas sobre o solo definidas anteriormente.

Para resolver o problema do solo carregado, apresentando as condições de contorno do modelo da figura III.11, foi escolhido o método da flexibilidade. O sistema principal escolhido para o método foi o sólido infinito, cujas soluções básicas para as tensões e deslocamentos generalizados em qualquer ponto do meio são conhecidas pela teoria da elasticidade.

É necessário ressaltar que para satisfazer as condições de contorno do problema do solo, com fronteira superior livre e fronteira inferior restringida, bastaria resolver o problema uma só vez para uma determinada componente unitária do esforço de ligação situado numa determinada profundidade. As diversas soluções para os diversos valores de (Y, Z) , que definiriam a posição da estaca, seriam obtidas, meramente, por translação das soluções conhecidas. Este procedimento, mais econômico em termos de proces

samento, não foi entretanto utilizado em vista da maior sofisticação da programação necessária à resolução deste procedimento.

As notações e convenções de sinal adotadas para as tensões, deslocamentos e rotações do meio homogêneo, foram as comumente utilizadas nos estudos da teoria da elasticidade. Foi escolhida, por conveniência, a notação e convenção utilizada por Sokolnikoff³¹. Os eixos de coordenadas X , Y e Z , também podem ser designados por x_1 , x_2 e x_3 , respectivamente.

Definem-se um volume elementar cúbico com arestas paralelas aos eixos coordenados. A notação e os sentidos positivos das componentes das tensões que agem nas faces deste elemento estão indicados na figura III.12.

As notações utilizadas para os deslocamentos e rotações determinadas pela teoria da elasticidade são u_i e ω_{ij} , onde os subscritos indicam que o deslocamento se deu no sentido do eixo cartesiano x_i ou a rotação se deu no sentido do eixo x_i para o eixo x_j . Isto indica que, ω_{12} corresponde a uma rotação no sentido do eixo x_1 para x_2 e que ω_{21} será igual a $-\omega_{12}$ nas expressões explícitas que utilizam a notação resumida.

3.5.5.3.2 - Solução Básica Utilizada na Formulação da Solução Adotada para o Solo Isolado

A solução, pela teoria da elasticidade, para o problema de Kelvin, figura III.13 (uma força aplicada no interior de um meio tridimensional infinito) pode proporcionar formulações para sólidos de qualquer formato com condições de bordo generalizados. Por isso ela foi escolhida como solução elementar pa

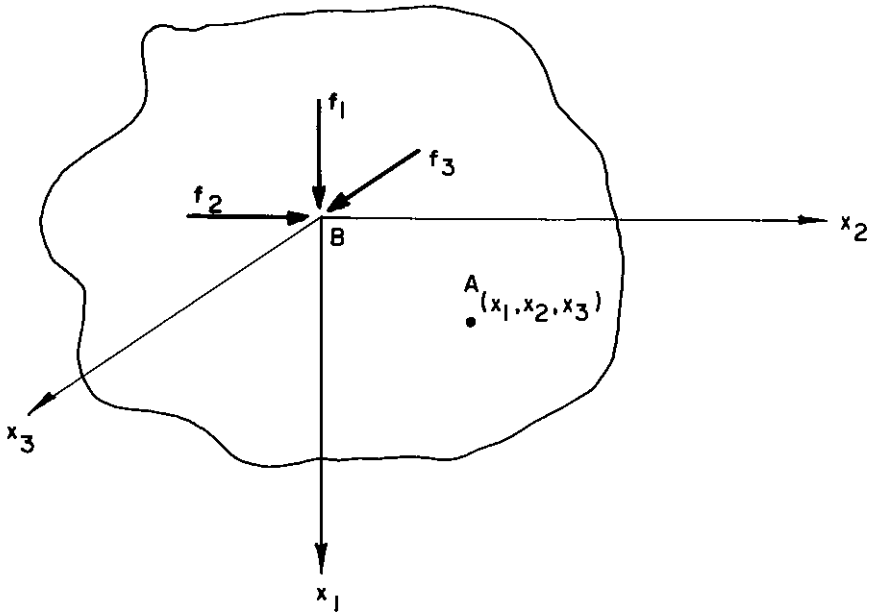


FIG. III.13 — Tensões, deslocamentos e rotações no ponto A provocadas por forças aplicadas no ponto B (Problema de Kelvin).

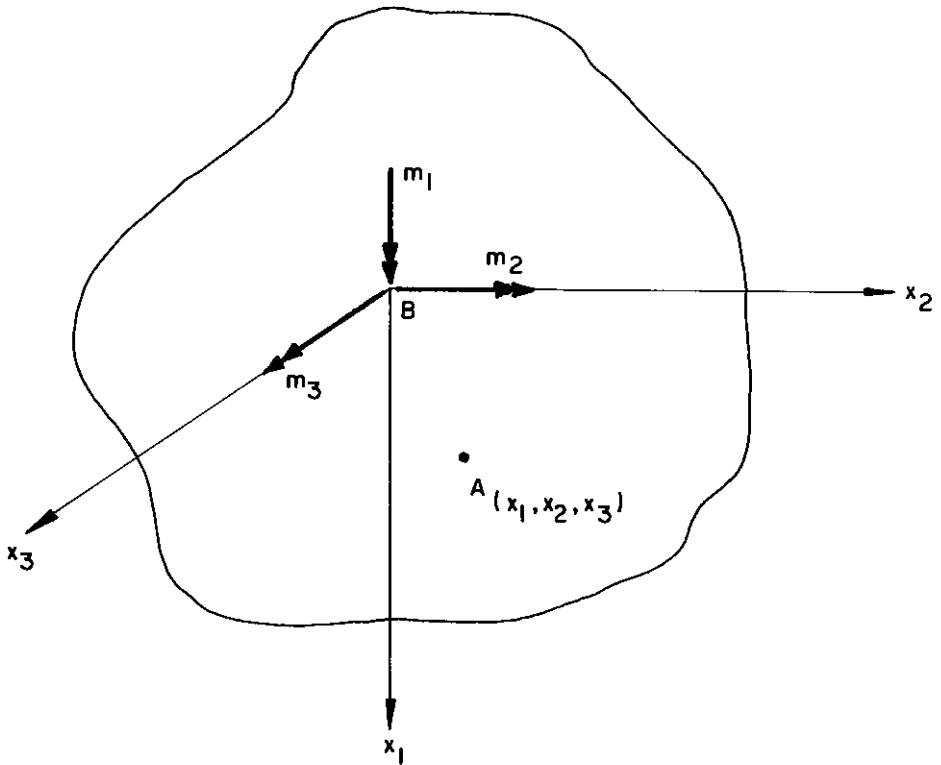


FIG. III.14 — Tensões, deslocamentos e rotações no ponto A provocadas por momentos aplicados no ponto B.

ra o método, no cálculo dos deslocamentos F_{ij}^2 nos nós de referência do modelo da figura III.11. Além da solução dada por Kelvin, foi necessário deduzir uma outra, para um momento concentrado e aplicado em um ponto no interior de um sólido infinito, como mostra o esquema da figura III.14.

As funções que expressam o valor das tensões, deslocamentos e rotações em um ponto A do meio homogêneo tridimensional infinito (figuras III.13 e III.14), para uma ação aplicada na origem do sistema de eixos cartesianos (ponto B), estão definidas para o problema de Kelvin, pelas expressões III.14 e, para o momento aplicado, pelas expressões III.15, onde τ_{ij} correspondem às 6 tensões no ponto A; x_i são as 3 coordenadas cartesianas do ponto A; f_i e m_i são componentes correspondentes a 3 forças e 3 momentos na direção x_i do ponto B; u_i corresponde a 3 deslocamentos e ω_{ij} a 3 rotações do ponto A.

$$\begin{aligned}\tau_{11} &= \frac{-(f_1 x_1 + f_2 x_2 + f_3 x_3)}{8\pi(1-\nu) r^3} \left\{ \frac{3x_1^2}{r^2} - (1-2\nu) \right\} - \frac{f_1 x_1 (1-2\nu)}{4\pi(1-\nu) r^3} \\ \tau_{22} &= \frac{-(f_1 x_1 + f_2 x_2 + f_3 x_3)}{8\pi(1-\nu) r^3} \left\{ \frac{3x_2^2}{r^2} - (1-2\nu) \right\} - \frac{f_2 x_2 (1-2\nu)}{4\pi(1-\nu) r^3} \\ \tau_{33} &= \frac{-(f_1 x_1 + f_2 x_2 + f_3 x_3)}{8\pi(1-\nu) r^3} \left\{ \frac{3x_3^2}{r^2} - (1-2\nu) \right\} - \frac{f_3 x_3 (1-2\nu)}{4\pi(1-\nu) r^3} \\ \tau_{12} &= \frac{-1}{8\pi(1-\nu) r^3} \left\{ \frac{3}{r^2} (f_1 x_1^2 x_2 + f_2 x_1 x_2^2 + f_3 x_1 x_2 x_3) + \right.\end{aligned}\tag{III.14}$$

$$+ (1-2\nu) (f_1 x_2 + f_2 x_1)\}$$

$$\tau_{13} = \frac{-1}{8\pi(1-\nu)r^3} \left\{ \frac{3}{r^2} (f_1 x_1^2 x_3 + f_2 x_1 x_2 x_3 + f_3 x_1 x_3^2) + \right.$$

$$\left. + (1-2\nu) (f_3 x_1 + f_1 x_3)\right\}$$

$$\tau_{23} = \frac{-1}{8\pi(1-\nu)r^3} \left\{ \frac{3}{r^2} (f_1 x_1 x_2 x_3 + f_2 x_2^2 x_3 + f_3 x_2 x_3^2) + \right.$$

$$\left. - (1-2\nu) (f_2 x_3 + f_3 x_2)\right\}$$

$$u_1 = \frac{(1+\nu)}{8\pi E s (1-\nu) r} \left\{ \frac{(f_1 x_1^2 + f_2 x_1 x_2 + f_3 x_1 x_3)}{r^2} + (3-4\nu) f_1 \right\} \quad (\text{III.14})$$

$$u_2 = \frac{(1+\nu)}{8\pi E s (1-\nu) r} \left\{ \frac{(f_1 x_1 x_2 + f_2 x_2^2 + f_3 x_2 x_3)}{r^2} + (3-4\nu) f_2 \right\}$$

$$u_3 = \frac{(1+\nu)}{8\pi E s (1-\nu) r} \left\{ \frac{(f_1 x_1 x_3 + f_2 x_2 x_3 + f_3 x_3^2)}{r^2} + (3-4\nu) f_3 \right\}$$

$$\omega_{23} = \frac{(1+\nu)}{4\pi E s r^3} (f_2 x_3 - f_3 x_2)$$

$$\omega_{31} = \frac{(1+\nu)}{4\pi E s r^3} (f_3 x_1 - f_1 x_3)$$

$$\omega_{12} = \frac{(1+\nu)}{4\pi E s r^3} (f_1 x_2 - f_2 x_1)$$

$$\tau_{11} = \frac{3x_1}{4\pi r^5} (-m_2 x_3 + m_3 x_2)$$

$$\tau_{22} = \frac{3x_2}{4\pi r^5} (m_1 x_3 - m_3 x_1)$$

$$\tau_{33} = \frac{3x_3}{4\pi r^5} (-m_1 x_2 + m_2 x_1)$$

$$\tau_{12} = \frac{3x_3}{8\pi r^5} \left\{ m_1 x_1 - m_2 x_2 + \frac{m_3}{x_3} (x_2^2 - x_1^2) \right\}$$

$$\tau_{13} = \frac{3x_2}{8\pi r^5} \left\{ m_1 x_1 + \frac{m_2}{x_2} (x_1^2 - x_3^2) - m_3 x_3 \right\}$$

$$\tau_{23} = \frac{3x_1}{8\pi r^5} \left\{ \frac{m_1}{x_1} (x_3^2 - x_2^2) + m_2 x_2 - m_3 x_3 \right\} \quad (\text{III.15})$$

$$u_1 = \frac{2(1+\nu)}{8\pi E_s r^3} (m_2 x_3 - m_3 x_2)$$

$$u_2 = \frac{2(1+\nu)}{8\pi E_s r^3} (-m_1 x_3 + m_3 x_1)$$

$$u_3 = \frac{2(1+\nu)}{8\pi E_s r^3} (m_1 x_2 - m_2 x_1)$$

$$\omega_{23} = \frac{(1+\nu)}{8\pi E_s r^3} \left\{ 2m_1 - \frac{3}{r^2} \left[m_1 (x_2^2 + x_3^2) + m_2 x_2 x_1 - \right. \right.$$

$$\left. - m_3 x_3 x_1 \right\}$$

$$\omega_{31} = \frac{(1+\nu)}{8\pi E_s r^3} \left\{ 2m_2 - \frac{3}{r^2} \left[-m_1 x_1 x_2 + m_2 (x_3^2 + x_1^2) + \right. \right. \\ \left. \left. + m_3 x_3 x_2 \right] \right\} \quad \text{(III.15)}$$

$$\omega_{12} = \frac{(1+\nu)}{8\pi E_s r^3} \left\{ 2m_3 - \frac{3}{r^2} \left[m_1 x_1 x_3 - m_2 x_2 x_3 + \right. \right. \\ \left. \left. + m_3 (x_1^2 + x_2^2) \right] \right\}$$

Algumas deduções e expressões, para o espaço e semi-espaço infinitos, estão apresentadas no Apêndice A.III.

No ponto de aplicação das forças, as funções III.14 e III.15 são descontínuas. A forma pela qual os problemas decorrentes destas singularidades foram contornados será explicada no decorrer do desenvolvimento do método.

3.5.5.3.3 - Formulação do Método de Análise para o Solo Isolado

Uma vez conhecidas as soluções para o meio homogêneo infinito, deseja-se achar as tensões que são necessárias aplicar a cada uma das superfícies de contorno do meio, de tal forma que a ação simultânea delas com uma força concentrada, aplicada no interior do meio tridimensional infinito, faça com que o comportamento do sólido infinito se assemelhe ao modelo escolhido para o solo, como mostra a equivalência de modelos da figura III.15. Portanto, para simular os contornos livre e restringido do sólido limitado, basta anular as tensões τ_{11} , τ_{12} e τ_{13} no plano superior e os deslocamentos assim como as rotações no plano inferior de um sólido infinito, para um carregamento definido por um conjunto de forças quaisquer que atuam entre os planos de contorno que delimitam o meio infinito. É claro que, para cada ação aplicada em um ponto no interior do meio, existe uma solução diferente para as tensões a serem aplicadas nos planos de contorno.

A imposição das condições de contorno só será feita em zonas próximas ao estaqueamento e não ao longo de toda a superfície inferior e superior do modelo. A partir de distâncias preestabelecidas, as tensões e deslocamentos do meio infinito se tornam praticamente nulas.

Pode-se substituir as tensões nos contornos do sólido, que atuam sobre uma área limitada, por forças e momentos resultantes no centro desta área, de tal forma que, aplicando-se

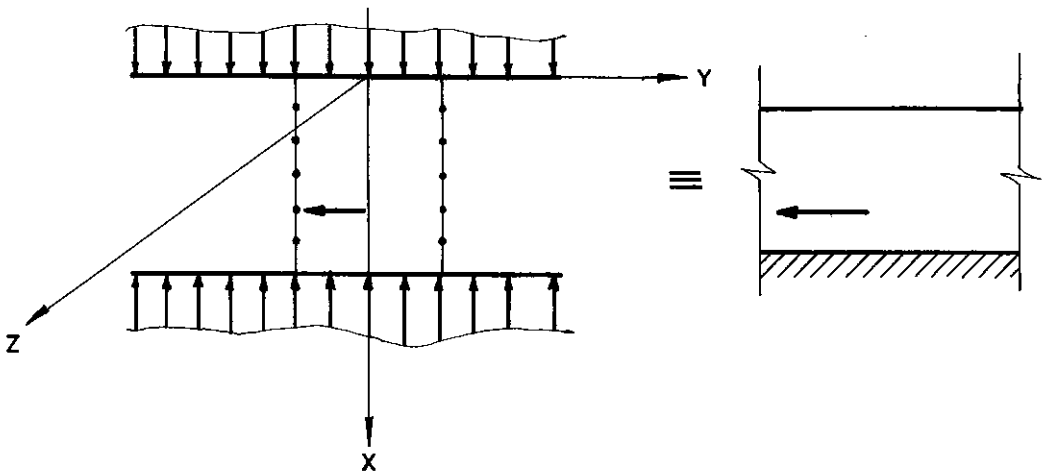


FIG. III.15 — Equivalência de modelos para o solo isolado.

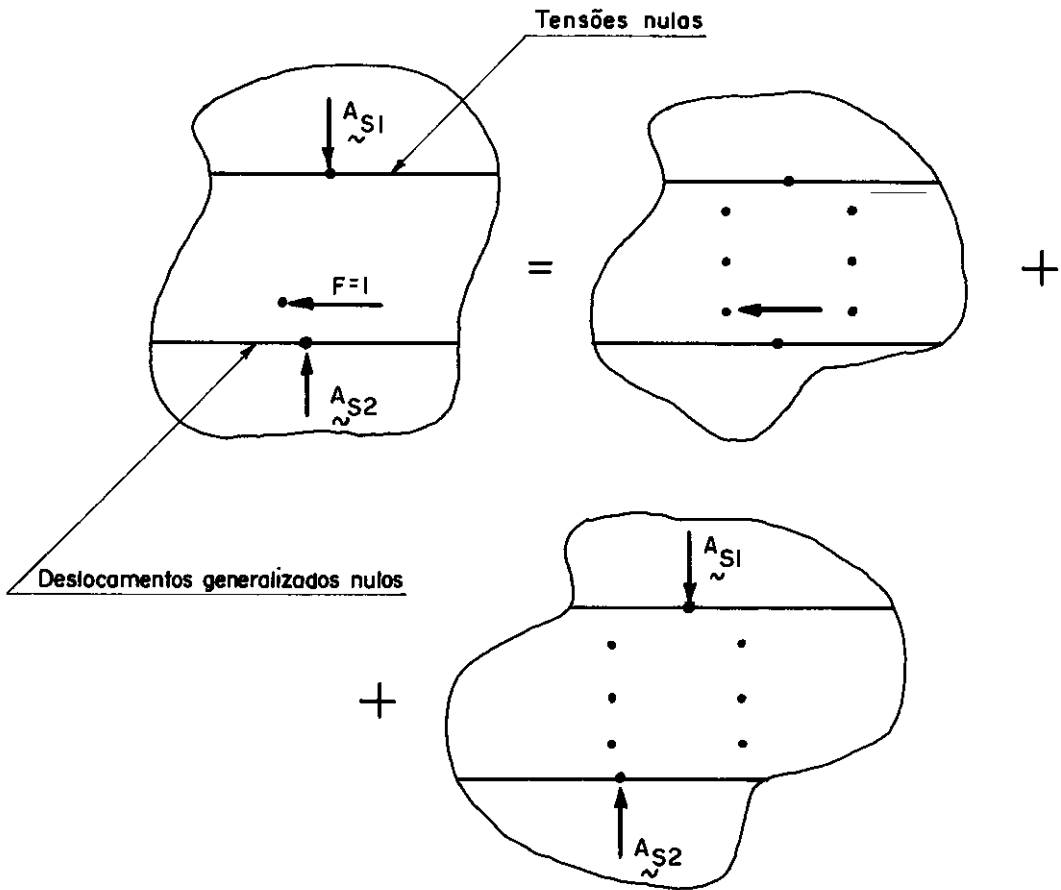


FIG. III.16 — Representação simbólica do vetor A_{S1} e A_{S2} que satisfazem as condições de contorno.

todas as ações concomitantemente no meio homogêneo tridimensional infinito, obtem-se as resultantes em termos de forças e momentos, assim como deslocamentos generalizados, nos pontos de compatibilidade dos planos de contorno, nulos. Pode-se fazer a compatibilidade de forças e momentos resultantes nos pontos do plano de contorno superior, assim como de deslocamentos e rotações no inferior, através do seguinte sistema de equação:

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{s11} & \vdots & \underline{I}_{s12} \\ \dots\dots\dots & & \\ \underline{J}_{s21} & \vdots & \underline{J}_{s22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \underline{A}_{s1} \\ \dots\dots\dots \\ \underline{A}_{s2} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \underline{R}_{s1} \\ \dots\dots\dots \\ \underline{D}_{s2} \end{Bmatrix} = 0 \quad (\text{III.16})$$

Onde \underline{A}_{s1} e \underline{A}_{s2} são os vetores de ações incógnitas a serem aplicadas nos pontos de compatibilidade dos planos de contorno e estão representados de forma resumida na figura III.16; \underline{R}_{s1} assim como \underline{D}_{s2} são os vetores das resultantes das tensões e dos deslocamentos generalizados, calculados nos pontos de compatibilidade do plano superior e inferior, respectivamente, provocados por uma força de ligação unitária aplicada no interior do meio; \underline{I}_{s11} e \underline{I}_{s12} , assim como \underline{J}_{s21} e \underline{J}_{s22} são as submatrizes dos fatores de influência das resultantes de tensões e dos deslocamentos generalizados, respectivamente, sobre as direções de aplicação das ações incógnitas nos contornos, devidas às ações unitárias aplicadas, uma de cada vez, nos pontos de compatibilidade do contorno.

O número de incógnitas do sistema III.16 é igual a seis vezes o número de pontos escolhidos sobre as áreas de influência consideradas para os 2 planos de contorno. A área de influência é definida como área do plano de contorno fora da qual as tensões ou deslocamentos podem ser considerados desprezíveis no cálculo da solução final para o comportamento do sólido desejado.

O sistema de equação III.16 é misto. O teorema da reciprocidade só se aplica a submatriz \underline{J}_{s22} que é, portanto, simétrica. A matriz completa, do sistema de equações III.16, é então, cheia e não simétrica.

Os elementos do vetor \underline{R}_{s1} e das submatrizes \underline{I}_{s11} e \underline{I}_{s12} são calculados utilizando as fórmulas III.14, III.15 para as tensões e determinando as suas resultantes como será explicado no item a seguir. Os deslocamentos que formam o vetor \underline{D}_{s2} e as submatrizes \underline{J}_{s21} e \underline{J}_{s22} são calculados utilizando as fórmulas III.14 e III.15 para os deslocamentos.

Obtidos o vetor \underline{A}_s pela solução do sistema III.16, os deslocamentos generalizados dos nós de referência no meio, que correspondem aos coeficientes parciais F_{ij}^2 da matriz de flexibilidade \underline{F} , podem ser calculados, por superposição de efeitos, através das próprias expressões III.14 e III.15 para os deslocamentos, como está representado na figura III.16. O sinal da solução da equação III.16, em relação ao sistema cartesiano global, terá sempre a interpretação de ação a ser aplicada sobre o sólido.

do que se situa entre os planos de contorno do meio infinito.

3.5.5.3.4 - Forças e Momentos Resultantes das Tensões no Plano Superior

Como já foi dito, os fatores de influência das submatrizes I_{s11} e I_{s12} assim como o vetor R_{s1} , do sistema de equações III.16, são obtidos pelo cálculo das resultantes de forças e de momentos das tensões ao redor dos pontos de compatibilidade do plano superior de contorno.

Um dos objetivos do sistema de equação III.16 é o de anular as tensões τ_{11} , τ_{12} e τ_{13} no plano de contorno superior do modelo, que serão representados pelas suas resultantes de forças e momentos sobre o centro de um elemento de área do plano.

Teoricamente, quanto menores forem os elementos de áreas considerados, melhor estarão representadas as tensões pelas suas resultantes e menores serão as tensões finais absolutas nos pontos intermediários aos de aplicação destas resultantes, depois de determinada a solução do problema proposto para o solo isolado.

Suponha-se, então, que a área de influência esteja subdividida em elementos de área retangulares. Chamou-se de uma reação em um ponto do plano superior do meio homogêneo, à força resultante do somatório das tensões sobre o elemento de área cor

respondente ou ao momento produzido por elas em torno do centro deste elemento. As resultantes das tensões τ_{11} , τ_{12} e τ_{13} nos centros destes elementos, considerando que cada tensão atua em uma área elementar dx_2 , dx_3 , como mostra a figura III.17, são:

$$Q_1 = \int_S \tau_{11} dx_2 dx_3$$

$$Q_2 = \int_S \tau_{12} dx_2 dx_3$$

$$Q_3 = \int_S \tau_{13} dx_2 dx_3$$

$$Q_4 = \int_S (\tau_{13} x_2 - \tau_{12} x_3) dx_2 dx_3 \quad (III.17)$$

$$Q_5 = \int_S \tau_{11} x_3 dx_2 dx_3$$

$$Q_6 = \int_S \tau_{11} x_2 dx_2 dx_3$$

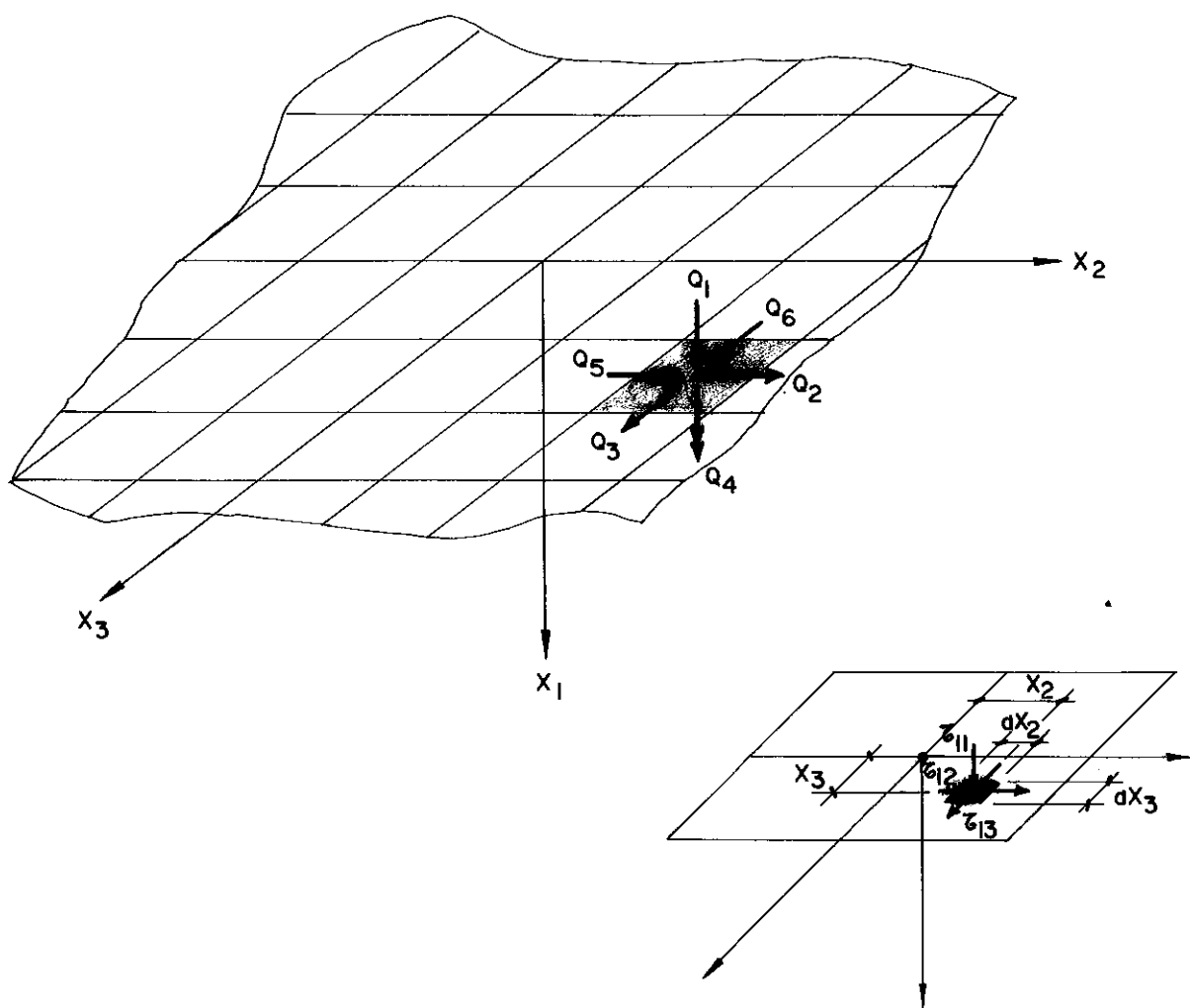


FIG. III.17 — Tensões em um elemento de área da área de contorno do plano superior e suas resultantes sobre este elemento.

3.5.5.3.5 - Reações e Deslocamentos sob Cargas Concentradas Aplicadas em um Sólido Infinito

Neste item será explicado como foi contornado o problema da singularidade das reações e deslocamentos sob carga concentrada, aplicado em um ponto no interior de um sólido infinito, para obtenção de alguns elementos das submatrizes I_{s11} e J_{s22} .

Como já foi observado no item 3.5.5.3.2, as funções III.14 e III.15 são singulares no ponto de aplicação da carga concentrada. Aplicando-se uma força concentrada na direção x_1 , por exemplo, sabe-se que o volume elementar de coordenada $x_1 - dx_1$ está tracionado e o de coordenada $x_1 + dx_1$ está comprimido (figura III.18).

A integral das tensões τ_{11} no plano $x_1 + dx_1$, perpendicular ao eixo x_1 , é igual a metade da carga aplicada e a outra metade é determinada pela integral das tensões τ_{11} no plano paralelo, de coordenada $x_1 - dx_1$. Quanto mais próximo do ponto x_1 estiver o plano de coordenada $x_1 + dx_1$, mais rapidamente a tensão no plano tende a zero, quando se afasta do ponto. Pode-se, então, dizer que para uma ação qualquer concentrada e aplicada no interior de um sólido infinito, a reação do semi-espaco oposto sob a carga concentrada é de metade de seu valor com sinal trocado. Então, para $x_1 = 0$, os valores das reações sob carga concentrada são:

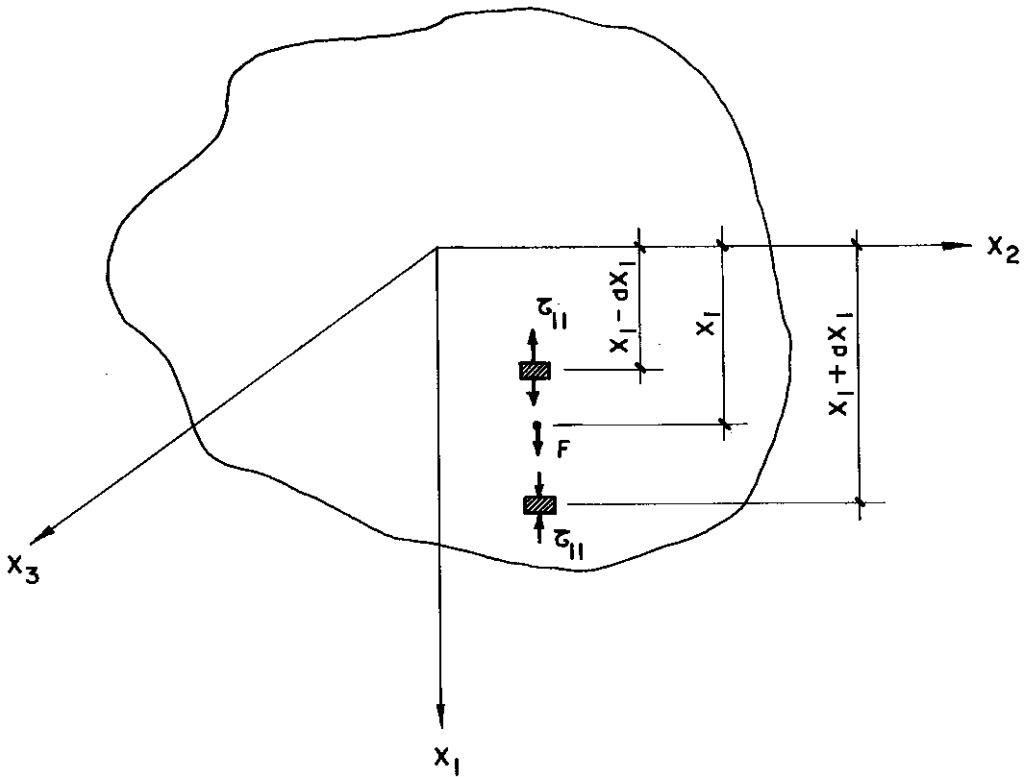


FIG. III. 18 — Tensões próximas ao ponto de aplicação da ação, no meio tridimensional infinito.

$$Q_i = - \frac{1}{2} f_i \quad (III.18)$$

$$Q_{i+3} = - \frac{1}{2} m_i$$

Os deslocamentos generalizados sob carga concentrada são teoricamente infinitos, pois uma força finita atua sobre uma área infinitamente pequena. Foi necessário, então, usar um artifício para determinar os deslocamentos sob carga concentrada. Foram considerados dois casos:

i) Carga concentrada no plano de contorno inferior

Distribui-se a carga concentrada sobre uma área em torno do ponto. A média dos deslocamentos em uma outra área, paralela e bem próxima à de aplicação de carga distribuída, como mostra a figura III.19, foi considerada como o deslocamento efetivo sob a carga concentrada. Para um elemento de área de dimensões x_{s2} e x_{s3} , pode-se dizer que o deslocamento sob carga concentrada, neste caso, para $x_1 = \epsilon$, é:

$$u_i^! = \frac{\int_s u_i \, dx_2 \, dx_3}{x_{s2} \, x_{s3}} \quad (III.19)$$

ii) Carga concentrada no nó de referência do meio infinito

A carga concentrada foi distribuída linearmente sobre o eixo da estaca, em um comprimento correspondente ao do

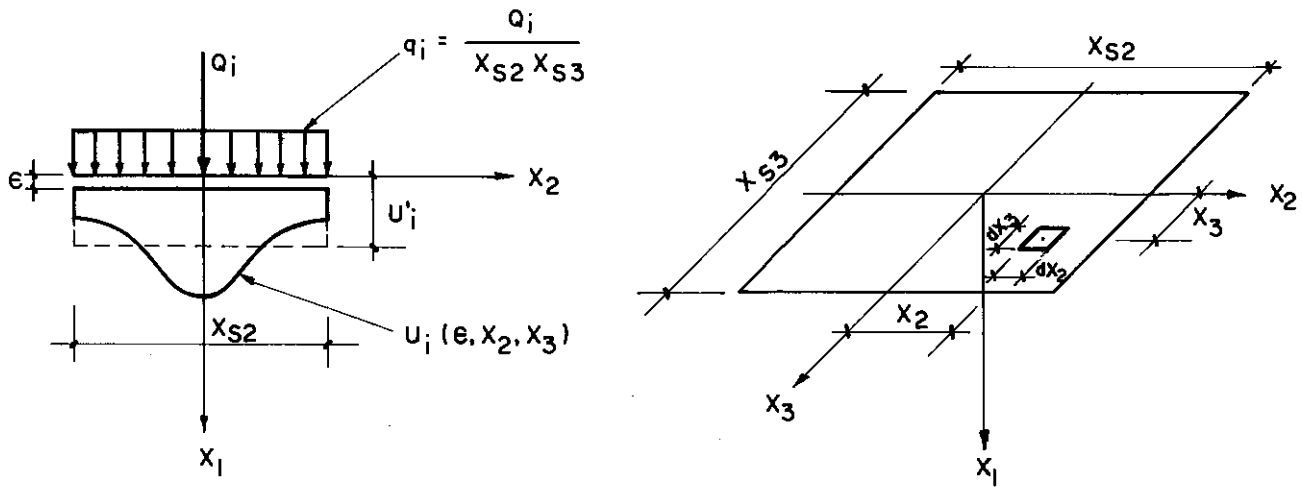


FIG. III. 19 — Deslocamento sob carga concentrada no plano de contorno do meio.

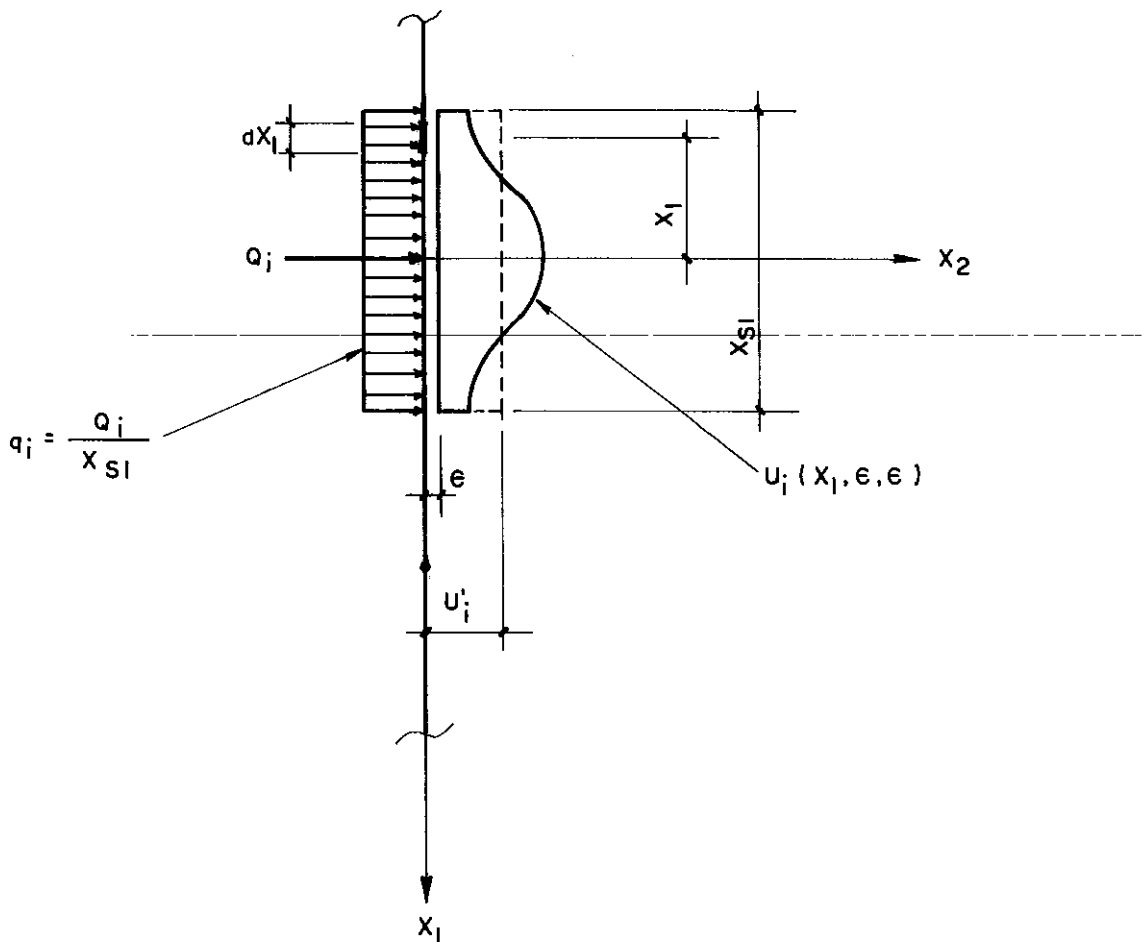


FIG. III. 20 — Deslocamento sob carga concentrada no interior do meio.

elemento em cujo nó de referência deseja-se calcular o deslocamento. A média dos deslocamentos calculados em um elemento linear fictício de comprimento x_{s1} , paralelo e bem próximo, ao do de aplicação da carga, como mostra a figura III.20, foi considerada como o deslocamento efetivo do nó de referência, sob uma carga concentrada. Para $x_2 = \epsilon$ ou $x_3 = \epsilon$, pode-se, então, dizer que o deslocamento sob carga concentrada, neste caso é:

$$u_i' = \frac{\int_{-x_{s1/2}}^{x_{s1/2}} u_i \, dx_1}{x_{s1}} \quad (\text{III.20})$$

As expressões III.19 e III.20 são válidas para as rotações, fazendo u_i' e u_i iguais a ω_{ij} e ω_{ij}' , respectivamente.

Considerações baseadas nos teoremas de energia poderiam ser utilizadas neste item para obter aproximações mais coerentes. Uma melhor sistematização teórica poderia assim, ser obtida.

3.5.6 - Resolução dos Sistemas de Equações

Uma vez calculados vetores \underline{D}_{EC} , item 3.5.2, e a matriz de flexibilidade \underline{F} , item 3.5.5, fica definido o sistema de equações III.2. A obtenção do vetor de forças incôgnitas de ligação entre as estacas e o solo \underline{A}_L é feita através da solução do sistema de equações III.2.

No programa preparado, a solução dos sistemas de equações gerados pelo método da rigidez, foi efetuada utilizando-se o método de Cholesky, e nos sistemas de equações criados pelo método de flexibilidade, foi utilizada a eliminação de Gauss na resolução dos sistemas.

3.5.7 - Cálculo dos Esforços Internos \underline{A}_{EL} e dos Deslocamentos \underline{D}_{EL} nos nós de Referência das Estacas, Referentes à Ação das Forças de Ligação \underline{A}_L Sobre o Estaqueamento

Já foram calculados os esforços solicitantes nos nós de referência das estacas devidos às ações externas aplicadas sobre o bloco de coroamento, representado pelo vetor \underline{A}_{EC} , assim como também, os deslocamentos, dados pelo vetor \underline{D}_{EC} , (modelo da figura III.3(a)). Fica então faltando determinar os esforços internos e os deslocamentos generalizados nos nós de referência, devido a ação do solo sobre o estaqueamento, (modelo (b) da figura III.3).

A obtenção dos vetores dos esforços internos e deslocamentos generalizados nos nós de referência, \underline{A}_{EL} e \underline{D}_{EL} , devidos somente à ação do solo sobre o estaqueamento, é feita aplicando-se o vetor solução da equação III.3, \underline{A}_L , nos nós de referência do estaqueamento isolado.

Para isto, inicialmente, é feita a determinação do vetor de ações equivalentes totais na origem do sistema global de coordenadas cartesianas, \underline{A}_{eG} , através da soma das ações de

engastamento perfeito no topo de cada estaca, devido a aplicação do vetor \underline{A}_L de ação do solo, sobre as estacas, como está formulado em III.21:

$$\underline{A}_{eG} = - (\underline{RT})'_k (\underline{A}_{eHL})_k \quad (\text{III.21})$$

Utilizando a equação III.6, obtem-se o vetor dos deslocamentos generalizados do bloco, \underline{D}_{eG} . As ações no topo das estacas são obtidas utilizando-se a expressão III.13 para cada estaca separadamente.

Aplicando sucessivamente as fórmulas III.11, deduzidas a partir do teorema dos trabalhos virtuais para cada estaca isoladamente, cujo modelo, como balanço engastado na base, está esquematizado na figura III.21, chega-se aos deslocamentos \underline{D}_{EL} em todas as direções do estaqueamento isolado.

Determina-se o vetor \underline{A}_{EL} de esforços internos nos nós de referência de cada estaca, através das expressões usuais da estática, considerando cada estaca isoladamente, como um balanço engastado na base.

É conveniente lembrar que o método considera que, em cada elemento de estaca de comprimento L/n , a ação do solo é uniformemente distribuída ao longo de seu eixo e que, por simplificação, foi substituída pela resultante concentrada no nó de referência central do elemento. Por isso os resultados obtidos para os deslocamentos generalizados nos nós de referência, pelo

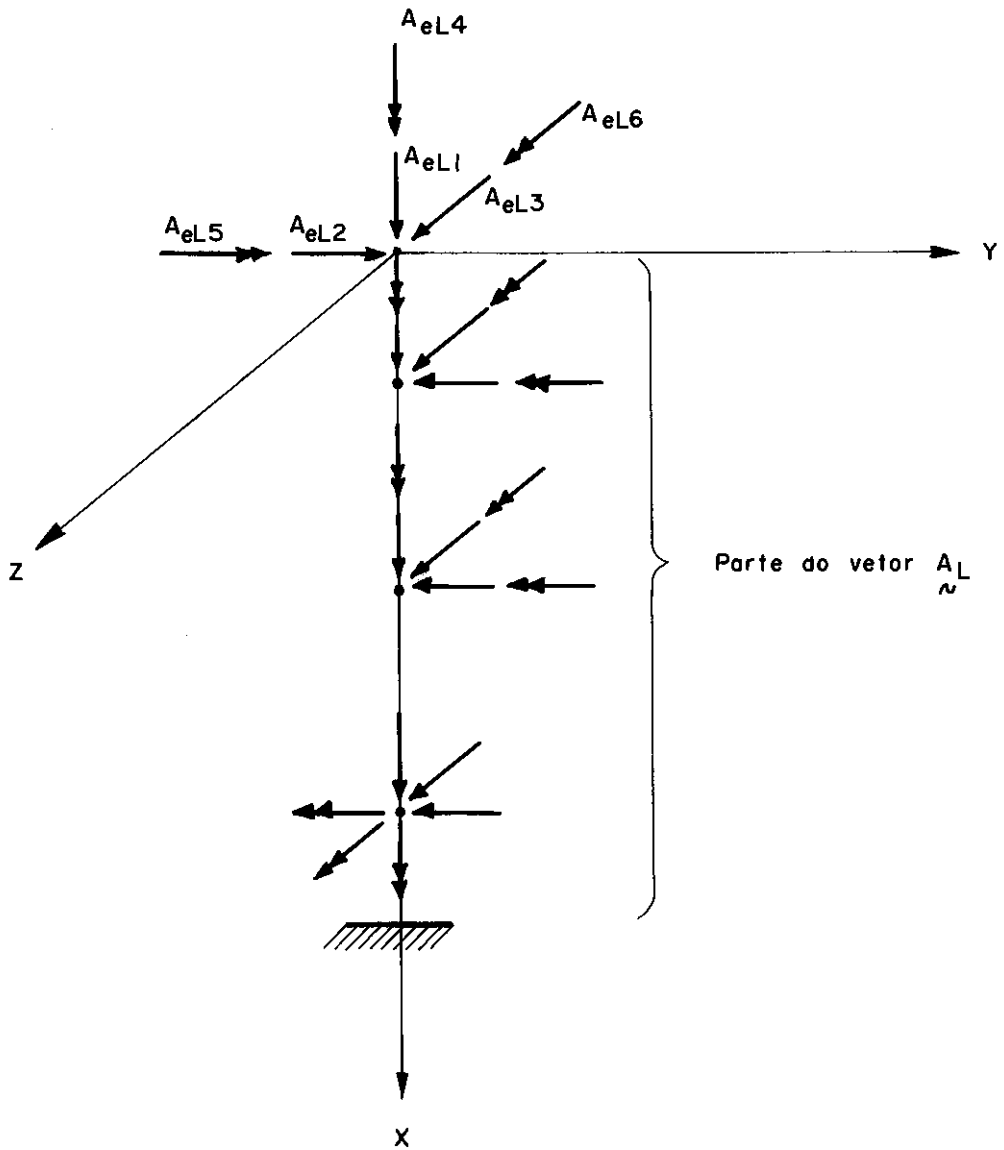


FIG. III.21 — Modelo de uma estaca para fins de determinação dos esforços \tilde{A}_{EL} e deslocamentos \tilde{D}_{EL} .

teorema dos trabalhos virtuais, não serão os mesmos para uma força de ligação distribuída e concentrada no elemento da estaca. Para fins de programação, foram utilizadas forças de ligação concentradas.

Em contrapartida, o cálculo dos esforços internos nos nós de referência são os mesmos para ambos os casos, sendo necessário fazer algumas observações. O diagrama de um esforço interno ao longo de um elemento de haste da estaca, para uma força de ligação aplicada na mesma direção do esforço calculado, tem as seguintes características: se a força de ligação for considerada distribuída sobre o elemento de estaca, o diagrama dos esforços internos para esta força de ligação, varia linearmente ao longo do elemento; se a força de ligação for concentrada no centro do elemento, haverá uma descontinuidade no diagrama dos esforços internos, como mostra a figura III.22. Observa-se então que, nos pontos de aplicação das componentes de A_L que provocam descontinuidade nos diagramas dos esforços internos, a contribuição da força de ligação, que atua na mesma direção do esforço interno que está sendo calculado, no mesmo nó de aplicação da força, é de metade de seu valor.

Por isso, será considerado que a componente de A_L aplicada no centro de um elemento de estaca em uma determinada direção, contribui com metade de seu valor para fins de cálculo dos esforços internos na mesma direção e ponto de aplicação da referida componente.

AÇÃO CONCENTRADA

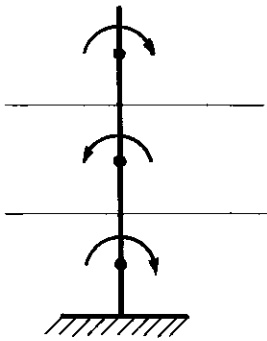
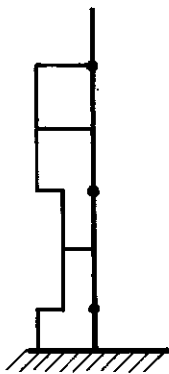


DIAGRAMA DE MOMENTOS



AÇÃO DISTRIBUIDA

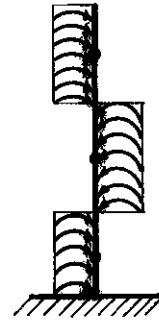


DIAGRAMA DE MOMENTOS

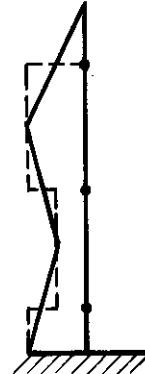


FIG. III.22 — Procedimento para determinação dos diagramas de esforços A_{EL} nas estacas devido à ação do solo sobre o estaqueamento.

3.6 - DETERMINAÇÃO DOS ESFORÇOS INTERNOS \underline{A}_E E DOS DESLOCAMENTOS GENERALIZADOS \underline{D}_E , FINAIS, DAS ESTACAS

Os deslocamentos generalizados e os esforços internos finais nos nós de referência das estacas, são obtidos pela soma dos efeitos da ação externa sobre o bloco (\underline{D}_{EC} e \underline{A}_{EC}), e da ação do solo sobre o estaqueamento (\underline{D}_{EL} e \underline{A}_{EL}), como esquematizado na figura III.3 e representado matematicamente pelas expressões III.4 e III.5.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 - COMENTÁRIOS GERAIS

O método numérico de cálculo de esforços internos e deslocamentos generalizados em estacas pertencentes a um grupo, descrito no Capítulo III, foi implementado através de um programa de computador em linguagem Fortran IV. Ao programa, desenvolvido no computador Burroughs 6700 do Núcleo de Computação Eletrônica da UFRJ, foi dado o nome de TELLUS e sua listagem, manual de uso assim como uma breve descrição das subrotinas podem ser encontradas no apêndice AIV.

Através do programa TELLUS foram analisadas estacas isoladas verticais assim como grupos de estacas verticais unidas por um bloco rígido. Por ser alto o tempo de processamento de máquina necessário para executar tais cálculos, usando o método proposto, decidiu-se analisar somente estacas carregadas lateralmente no topo por forças horizontais ou por momentos, pois é sabido que estes tipos de carregamentos são os que provocam maiores problemas na determinação dos esforços internos em grupos de estacas.

Algumas características físicas e geométricas dos estaqueamentos, comuns a todos os exemplos, foram estabelecidas afim de simplificar sua execução. As unidades adotadas foram

kN e m. Todas as estacas de qualquer dos exemplos aqui expostos terão seções transversais circulares com diâmetro igual a 1,3m. Como consequência tem-se as seguintes características geométricas para as estacas: área da seção transversal igual a $1,327\text{m}^2$; momentos de inércia à flexão iguais a $0,1402\text{ m}^4$; e momento de inércia à torção igual a $0,2804\text{ m}^4$. O comprimento, L, adotado para as estacas foi de 32,5 m, o módulo de elasticidade, E_e , igual a 30 000 000 kPa e o módulo de elasticidade transversal, E_t , igual a 12 480 000 kPa.

De acordo com Bowles⁴, o módulo de elasticidade E_s das argilas variam entre 300 kPa e 425 000 kPa e das areias entre 50 000 kPa e 100 000 kPa. Contudo foram escolhidos valores para E_s fora da realidade técnica para que elas conduzissem a fatores de rigidez convenientes, semelhantes aos adotados por Poulos²⁴ e definidos, por ele como sendo igual a $(E_e I_y / E_s L^4)$. Assim valores similares aos de Poulos²⁴ serviram de orientação na escolha dos dados dos exemplos aqui apresentados, cujos resultados ajudaram na depuração do programa assim como na confirmação dos resultados encontrados pelo método numérico deste trabalho. Vale lembrar que a maioria dos estudos publicados sobre o problema interativo de estaqueamento aborda os aspectos de deformação e rotação das estacas, não constituindo o trabalho de Poulos²⁴, uma exceção.

4.2 - RESULTADOS PARA ESTACAS ISOLADAS

Inicialmente foram obtidos resultados para estacas com topo livre e base engastada, sujeitas a forças horizon-

tais de 350 kN e momentos de 455 kN m, aplicados no topo, como está indicado na figura IV-1. Primeiramente adotou-se o módulo de elasticidade do solo, E_s , de 140 000 kPa para os dois carregamentos ilustrados na figura IV-1. Em seguida adotou-se, para os mesmos carregamentos, um módulo de elasticidade para o solo de 37,7 kPa. Em ambos os exemplos, escolheu-se 20 nós de referência para cada estaca, pontos onde são feitas a compatibilidade de deslocamentos do método de análise.

Os resultados obtidos foram comparados com os calculados pela teoria da viga sob base elástica, tomando para o coeficiente de reação horizontal o valor de 4Gs/d. Para o caso do solo rijo, foram utilizadas as expressões de Hetenyi¹⁵ e para o solo mole, foram utilizadas as expressões de Diaz⁹. Verificou-se que a coincidência dos resultados é muito boa, divergindo não mais que 7%, em um ponto onde ocorre um máximo, tanto para os diagramas dos momentos fletores como para o de esforço constantes.

Nos resultados dos processamentos acima, verificou-se ainda, ao observar o vetor de esforços de ligação entre estaca e solo, que as forças de ligação de momentos são muito pequenas, indicando que a aproximação adotada por Poulos²⁰ em despreza-las, é lícita. Processou-se ainda os mesmos exemplos da figura IV-1, utilizando, então, 42 nós de referência e um módulo de elasticidade do solo igual a 140 000 kPa. Os resultados dos diagramas de momento fletor e de esforço cortante obti-

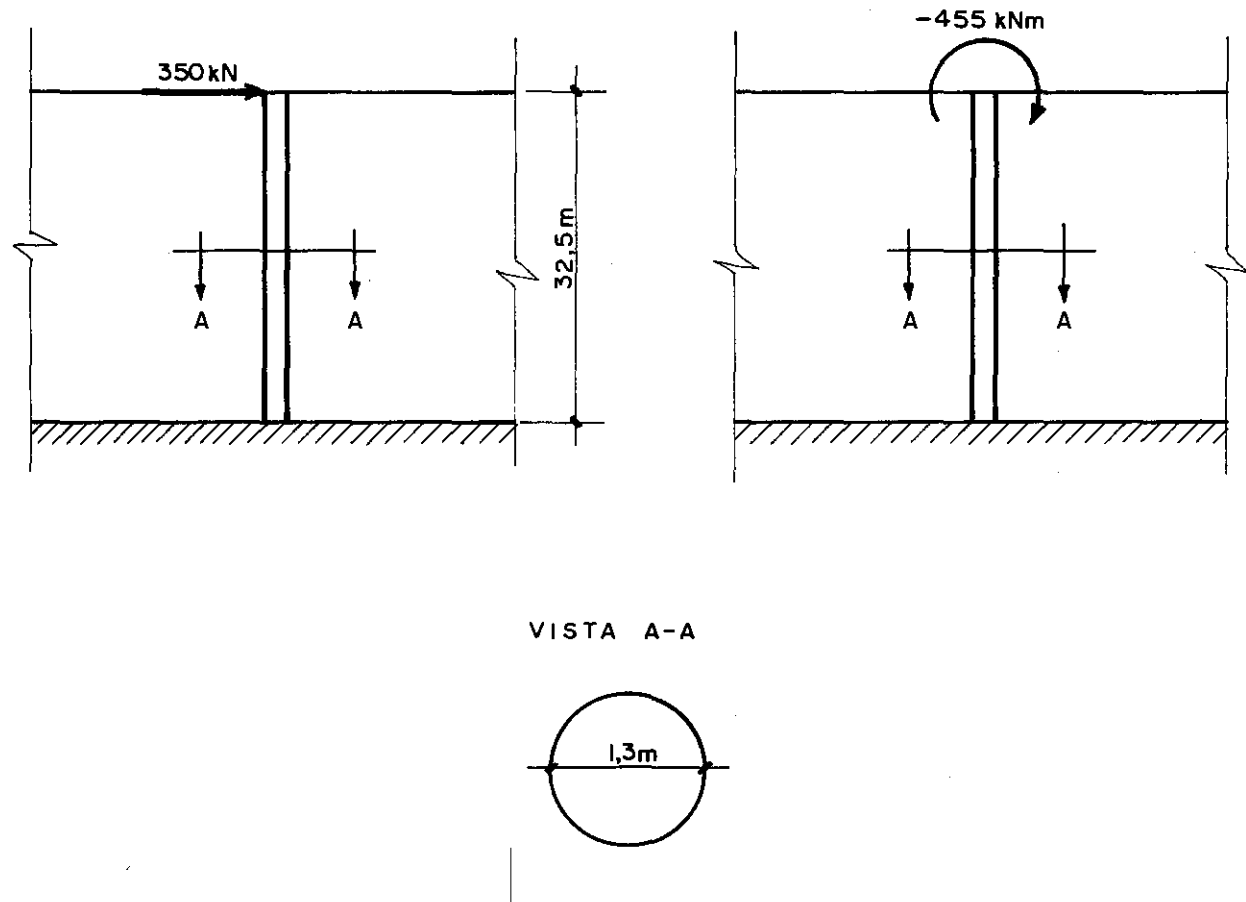


FIG. IV.1 — Esquema utilizado para estacas isoladas.

dos deste exemplo foram comparados com os obtidos pelo mesmo mo
dêlo utilizando-se somente 20 nós de referência. Verificou-se
discrepâncias em alguns pontos em cerca de 7%.

Comparando-se os resultados com os obtidos pela
teoria da viga sob base elástica, notou-se que para 42 nós de
referência os diagramas são praticamente coincidentes, como já
era esperado.

Para solos muito rijos, por causa da sinuosidade
acentuada da curva de reação do solo sobre a estaca, principal-
mente próxima ao topo da estaca, o exemplo rodado com 10 nós de
referência e módulo de elasticidade igual a 376991 kPa superes-
timou bastante os esforços máximos, (chegando até a 60%), não
apresentando nenhuma confiabilidade, em virtude naturalmente dos
poucos pontos adotados na análise.

Para solos moles, entretanto, este problema de
análise com poucos nós de referência não é tão visível pois a
consideração de tensões constantes ao longo do elemento de has-
te, representadas pela sua resultante no nó de referência cen-
tral, é mais próxima da curva teórica de reações neste caso. Con-
firma-se então a afirmação de Poulos²⁴, de que as soluções da
análise utilizando-se 21 nós de referência por estacas são sufi-
cientemente precisas para as condições estudadas.

Para alguns módulos de elasticidade do solo, os
diagramas de esforços internos das estacas isoladas, esquematiza-
das na figura IV-1, estão representadas nas figuras de IV-2 a IV-5.

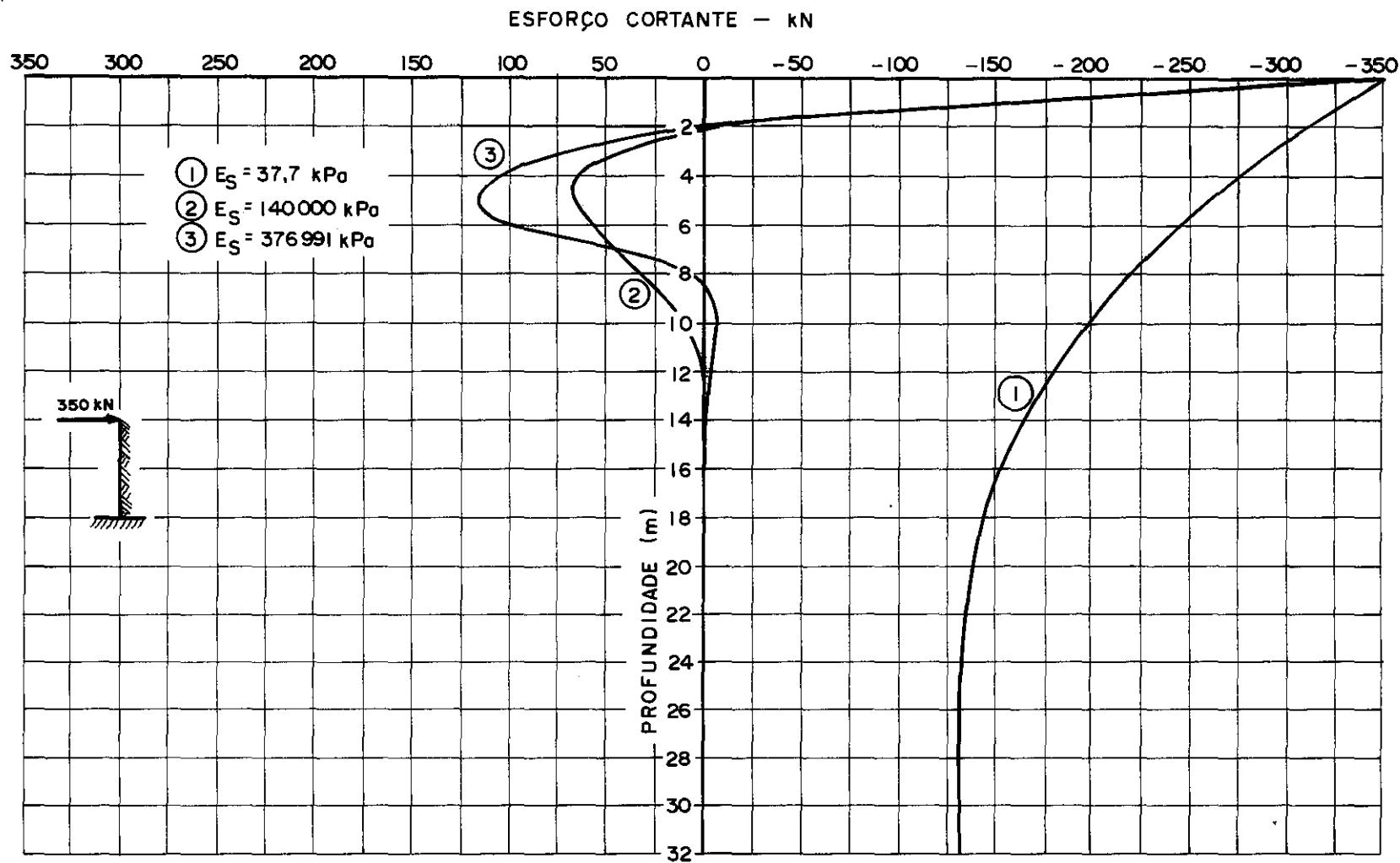


FIG. IV.2 — Esforços cortantes em estaca isolada carregada lateralmente.

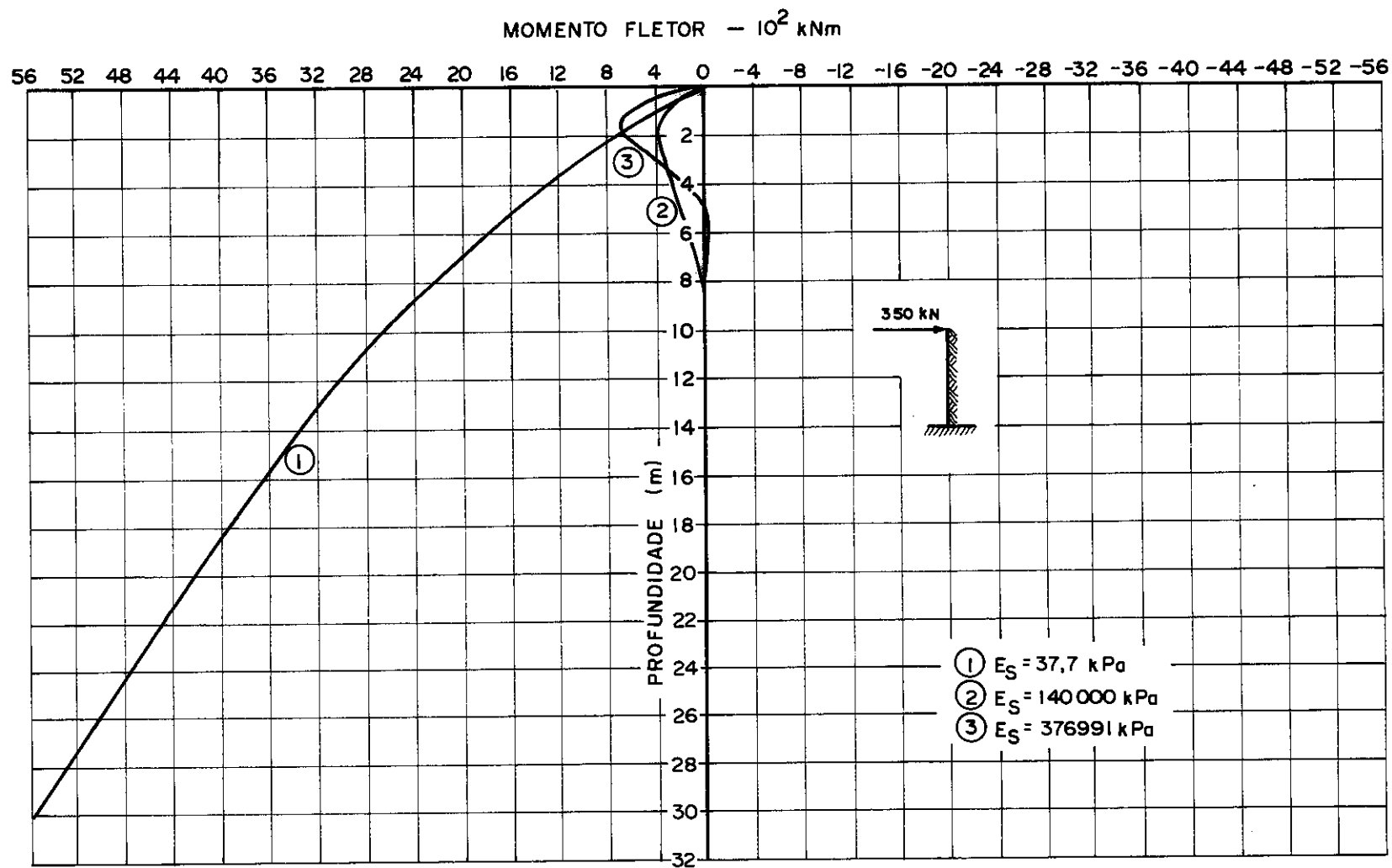


FIG. IV.3 — Momento fletor em estaca isolada carregada lateralmente.

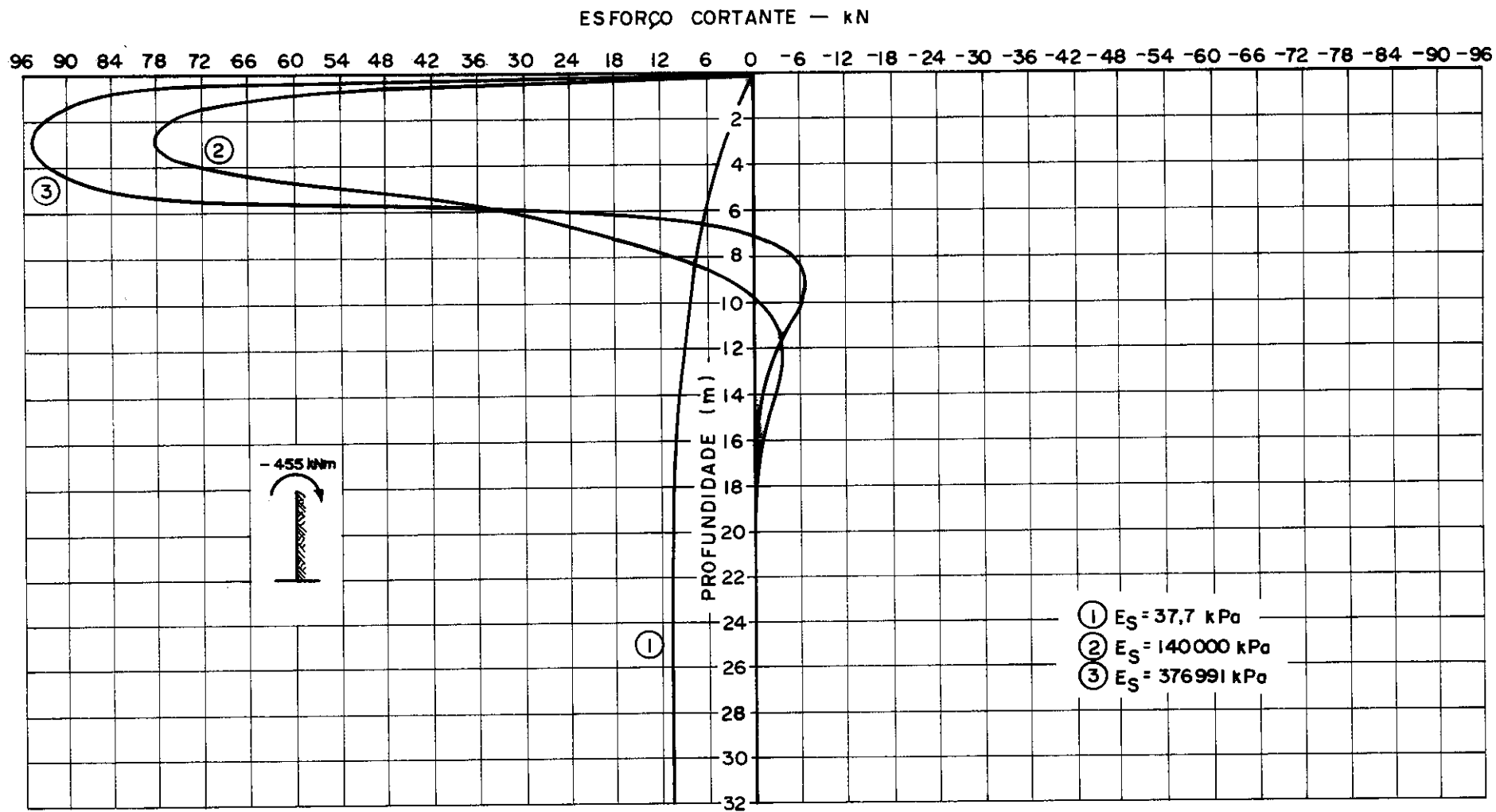


FIG. IV.4 — Esforço cortante em estaca carregada por um momento.

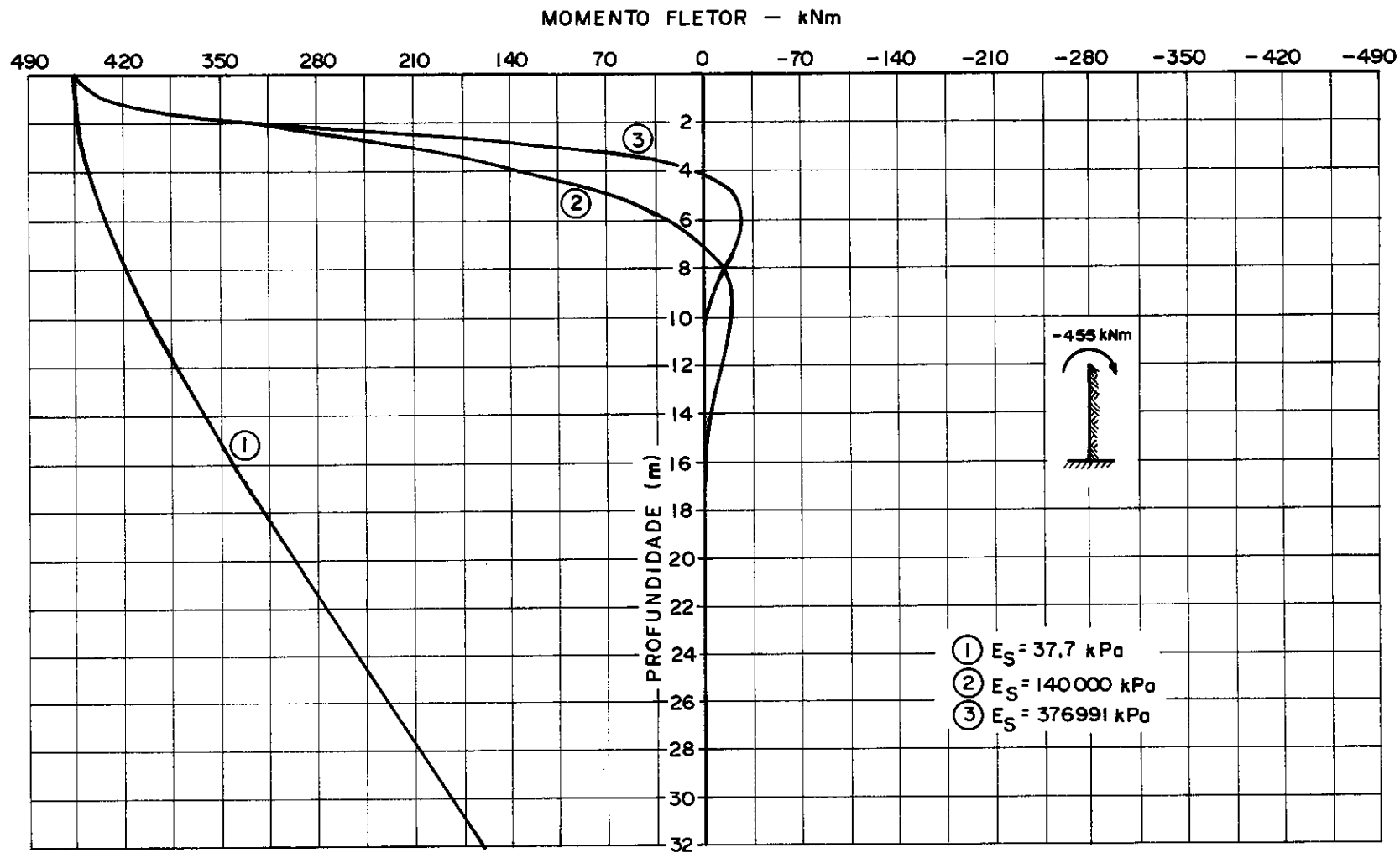


FIG. IV.5 — Momento fletor em estaca carregada por um momento.

Por limitações técnicas, de processamento, foi-se obrigatório utilizar somente 10 nós de referência por estaca na análise de grupos, como é explicado a seguir.

4.3 - RESULTADOS PARA GRUPOS DE ESTACAS

A solução do sistema de equações, usada no programa TELLUS, exige que toda a matriz dos coeficientes esteja armazenada na memória principal. O usuário do Burroughs 6700 do N.C.E. da UFRJ, onde o programa foi desenvolvido, está limitado ao uso de 65535 elementos por matriz ou vetor declarado na linguagem Fortran IV. Isto limita a análise pelo programa TELLUS, a um total de 42 nós de referência por problema. Para haver uma comparação razoável entre grupos de estacas determinou-se que cada estaca deveria ter 10 nós de referência, permitindo com isto comparar grupos de até 4 estacas.

Processou-se grupos de 2 a 4 estacas e comparou-se os resultados com os obtidos para uma estaca isolada engastada a momento, porém deslocável, como mostram as figuras IV-6 e IV-7.

Os diagramas obtidos para os exemplos descritos acima, adotando módulos de elasticidade para o solo igual a 37,7 kPa assim como coeficiente de Poisson de 0,5, podem ser observados nas figuras IV-8 e IV-9.

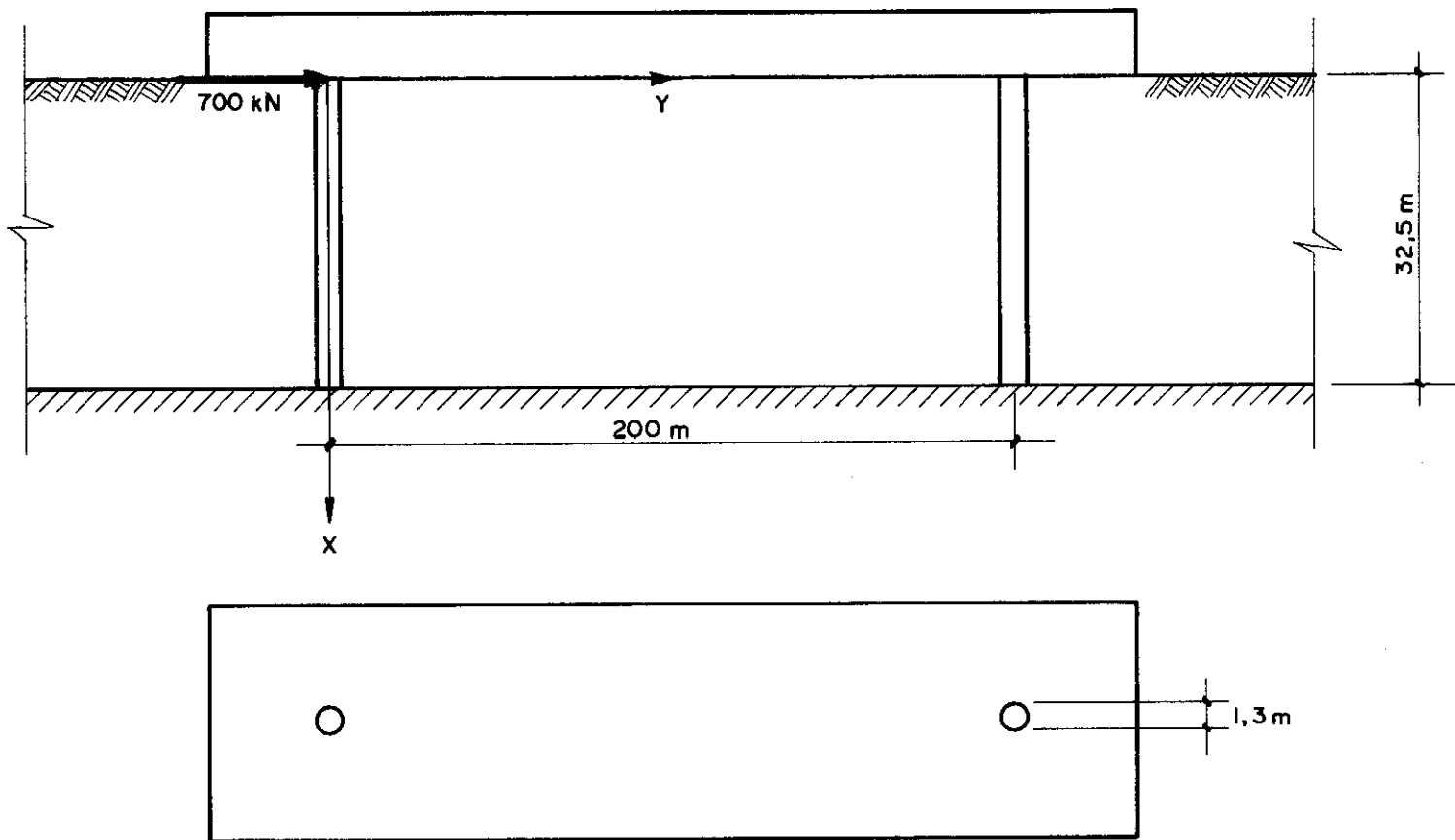
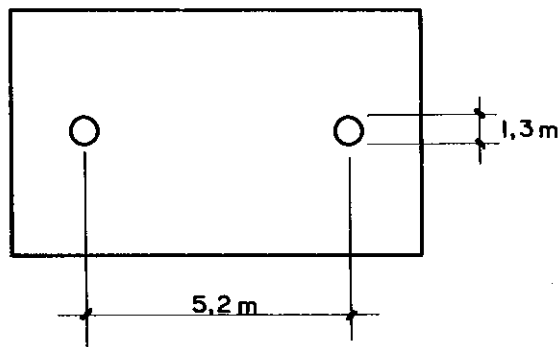
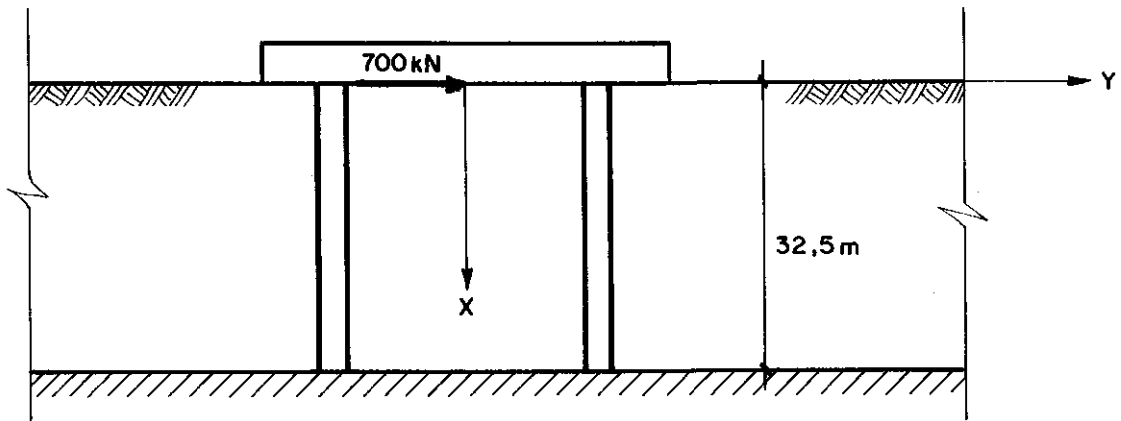
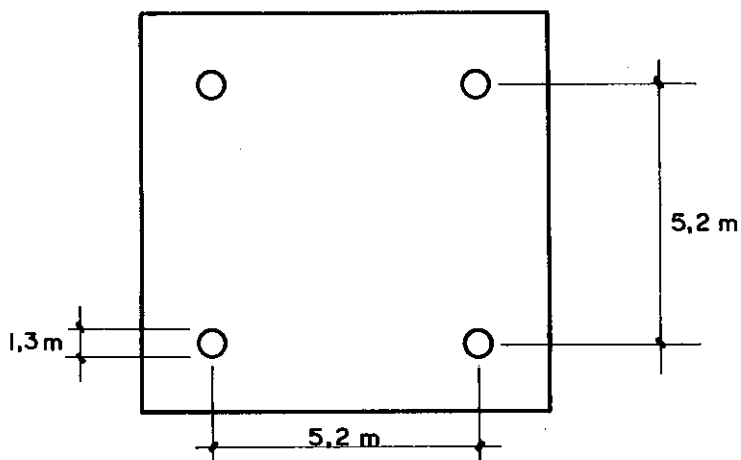
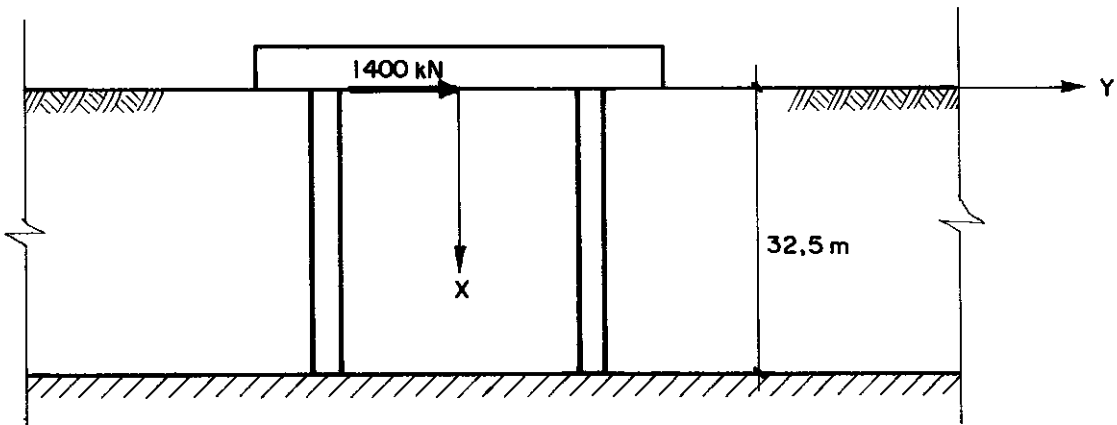


FIG. IV.6 — Modelo adotado para obtenção dos diagramas dos esforços para uma estaca isolada engastada a momento no topo .



(a)



(b)

FIG. IV.7 — Grupo constituído de duas (a) e quatro (b) estacas.

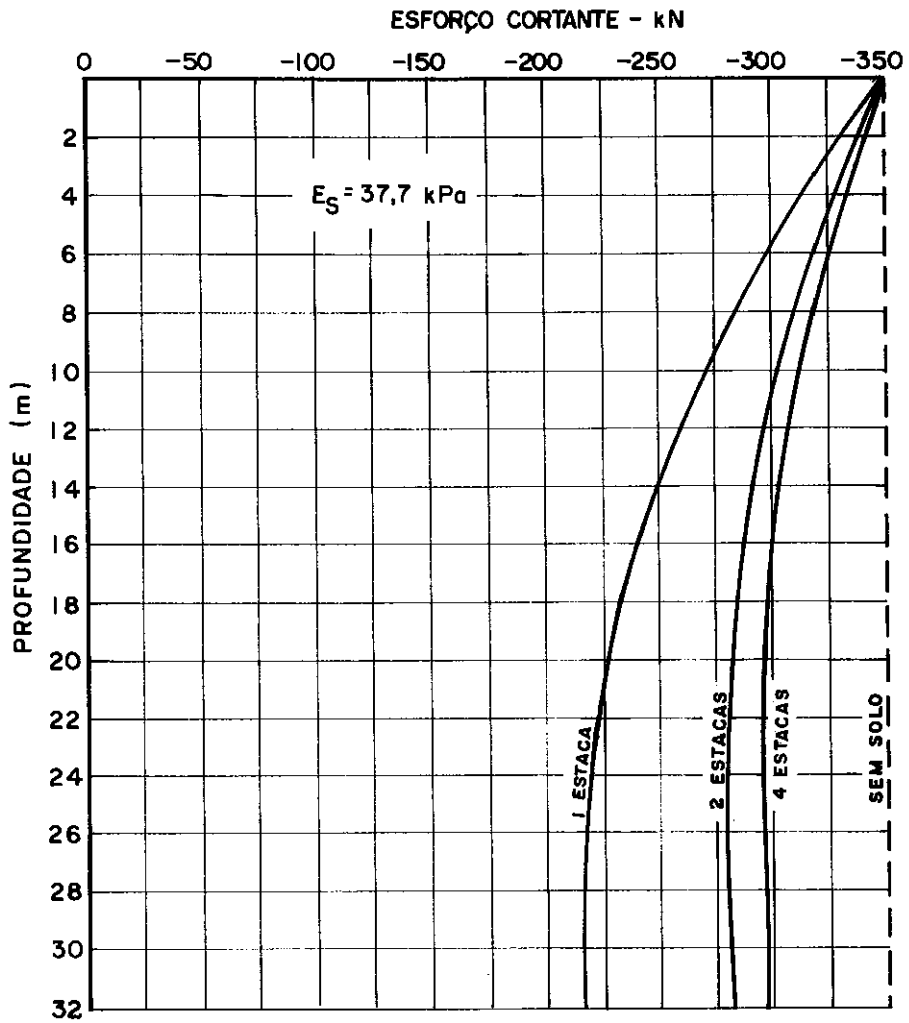


FIG. IV.8 — Diagrama dos esforços cortantes para os casos indicados na figura IV.2 e IV.3.

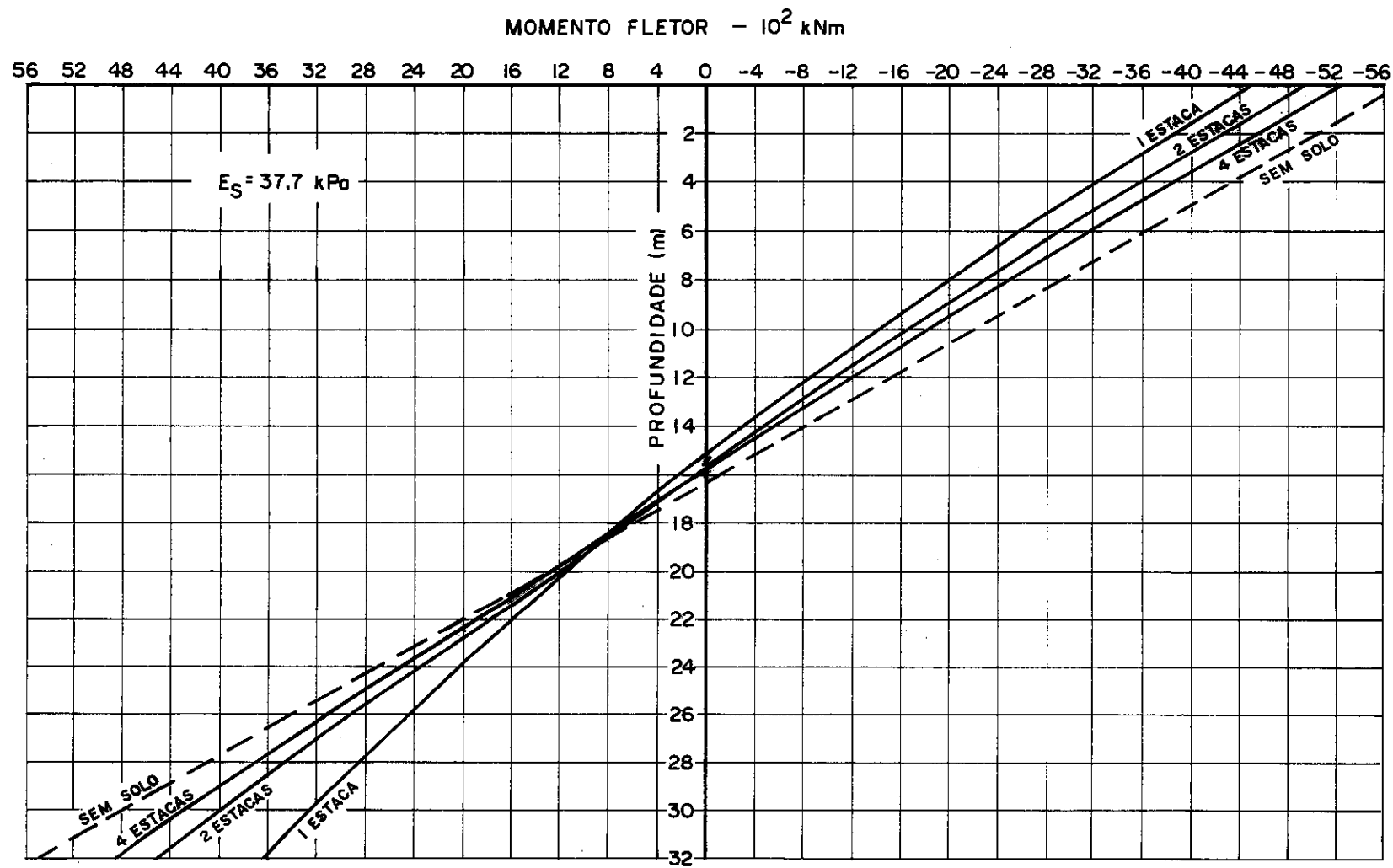


FIG. IV.9 — Diagrama dos momentos fletores obtidos para os casos indicados nas figuras IV.2 e IV.3.

De novo, verificou-se uma perfeita coincidência dos resultados obtidos para estaca isolada com a teoria da viga sob base elástica, tomando-se, como usual em análise dinâmicas elásticas, um coeficiente de recalque horizontal igual a $4Gs/d$.

É-se de opinião que o estudo paramétrico deste problema exigiria custos elevados de processamento de modo a se ter, quando se aumenta o número de estacas, uma resistência oferecida pelo solo cada vez menor, tendendo a atingir os limites assinalados nas figuras IV-8 e IV-9.

Este estudo paramétrico, embora custoso poderia ser executado mais tarde e, se completamente bem realizado, deveria envolver variações diversas dos parâmetros tais como rigidez da estaca, módulo de elasticidade do solo, espaçamento entre estacas, comprimento e diâmetro de estacas, coeficiente de Poisson e outros, possibilitando, desta forma, estabelecer relações de influência para diversos grupos de estacas em relação à estaca isolada, uteis em projetos de fundações.

CAPÍTULO V

CONCLUSÃO

Um processo geral de análise de grupos de estacas com a finalidade de determinar os efeitos da interação entre estacas, unidas no topo por um bloco rígido, engastadas na base e imersas em um meio homogêneo, foi apresentado neste trabalho.

Este programa evitaria o uso da análise, altamente sofisticada, por elementos finitos.

O processo de análise básico, para obtenção da reação do solo sobre as estacas do grupo, foi feita pelo método da flexibilidade em que o sistema principal é constituído pelo estaqueamento e pelo solo com os vínculos, entre eles, liberados. Os coeficientes da matriz de flexibilidade foram determinados com o auxílio das equações de Kelvin, impondo condições de bordo para o plano superior e inferior do meio representante do solo.

Considerou-se, nesta análise, um solo com módulo de elasticidade, E_s , constante. Entretanto é de se ressaltar que é possível, sem maiores dificuldades, fazer um estudo, baseado nas idéias aqui apresentadas, para um estaqueamento instalado em solo estratificado.

Mostrou-se que, para estacas isoladas, os resultados dos diagramas de momentos fletores e de esforços cortantes são extremamente similares à hipótese de Winkler, tomando o valor usual de $4Gs/d$ para o coeficiente de recalque horizontal.

O programa leva em conta as 6 componentes possíveis para os esforços de ligação entre estacas e solo. Entretanto notou-se que os efeitos dos esforços de ligação de momento são bem pequenos obtendo-se assim uma confirmação numérica da hipótese adotada por Poulos²⁰, em que estes esforços foram abandonados na solução do problema.

Em vista do alto tempo de processamento requerido neste tipo de análise, não foram estudados, com a devida atenção, os esforços em grupos de estacas. Entretanto, evidencia-se que em teses futuras uma maior sofisticação do programa seria possível fazer, para analisar solos estratificados e executar estudos paramétricos na determinação dos esforços para grupos de estacas.

Com o aprimoramento dos processos numéricos, seria também possível determinar com precisão, como se comporta a distribuição de forças entre as estacas de um grupo com grande número delas.

É sabido que este problema foi analisado com grandes dificuldades técnicas no caso de fundações de estacas em centrais nucleares, onde o número de estacas por bloco pode a-

tingir duas centenas, ou mais. Nestes casos é necessário considerar a interação de forma correta uma vez que este efeito conduz a esforços maiores para as estacas externas do estaqueamento, em relação aos esforços das estacas internas. Assim este programa, melhor aprimorado em outras teses e com um desenvolvimento numérico mais adequado, poderia ser usado em projetos importantes da engenharia civil.

APÊNDICE AI

MATRIZ DE RIGIDEZ DE UMA ESTACA

Apesar de ser bastante conhecida a matriz de rigidez de um elemento de haste prismático, foi decidido apresentá-la neste Apêndice.

A matriz de rigidez S_{eL} de uma estaca k , utilizada na equação III.7, é da ordem de 6×6 por só haver interesse, neste caso, sobre os deslocamentos generalizados do topo das estacas.

Para uma estaca engastada no solo e no bloco, os elementos da matriz, de acordo com Gere¹³ (Pág. 198) são:

$$\begin{aligned}
 S_{eL11} &= Ee \, Ax/L \\
 S_{eL22} &= 12 \, Ee \, Iz/L^3 \\
 S_{eL26} &= 6 \, Ee \, Iz/L^2 \\
 S_{eL33} &= 12 \, Ee \, Iy/L^3 \\
 S_{eL35} &= - 6 \, Ee \, Iy/L^2 \\
 S_{eL44} &= Ge \, Ix/L \\
 S_{eL55} &= 4 \, Ee \, Iy/L \\
 S_{eL66} &= 4 \, Ee \, Iz/L
 \end{aligned}
 \tag{AI.1}$$

S_{eL} é simétrica e todos os elementos da matriz não relacionados em A1.1, são nulos.

APÊNDICE AII

TRANSLAÇÕES E ROTAÇÕES DE AÇÕES ASSIM COMO DE
DESLOCAMENTOS DA ORIGEM DE UM SISTEMA DE EIXOS
COORDENADOS CARTESIANOS PARA OUTRO

O presente Apêndice visa justificar as expressões utilizadas no Capítulo III, que utilizam as matrizes de rotação e de translação de eixos coordenados cartesianos.

Sabendo-se que as coordenadas da origem dos eixos locais de coordenadas cartesianas, (x, y, z) , em relação aos eixos globais (X, Y, Z) , são X_t , Y_t e Z_t representadas na figura AII.1 pode-se definir uma matriz de translação.

$$\underline{T} = \begin{vmatrix} \underline{1} & \underline{t} \\ 0 & \underline{1} \end{vmatrix}, \text{ onde } \underline{t} = \begin{vmatrix} 0 & Z_t & -Y_t \\ -Z_t & 0 & X_t \\ Y_t & -X_t & 0 \end{vmatrix}, \text{ de tal forma que:}$$

$$\underline{D}^* = \underline{T} \underline{D}_G \quad \text{e} \quad (AII.1)$$

$$\underline{A}_G = \underline{T}' \underline{A}^* ;$$

onde \underline{A}^* e \underline{D}^* correspondem aos vetores de ações e de deslocamentos generalizados em um sistema de eixos coordenados cartesiano paralelo ao sistema global de eixos, passando pela origem do sistema local de eixos, como indicado na figura AII.1; \underline{D}_G e \underline{A}_G assim como \underline{D}_L e \underline{A}_L são vetores de ações e deslocamentos que refe

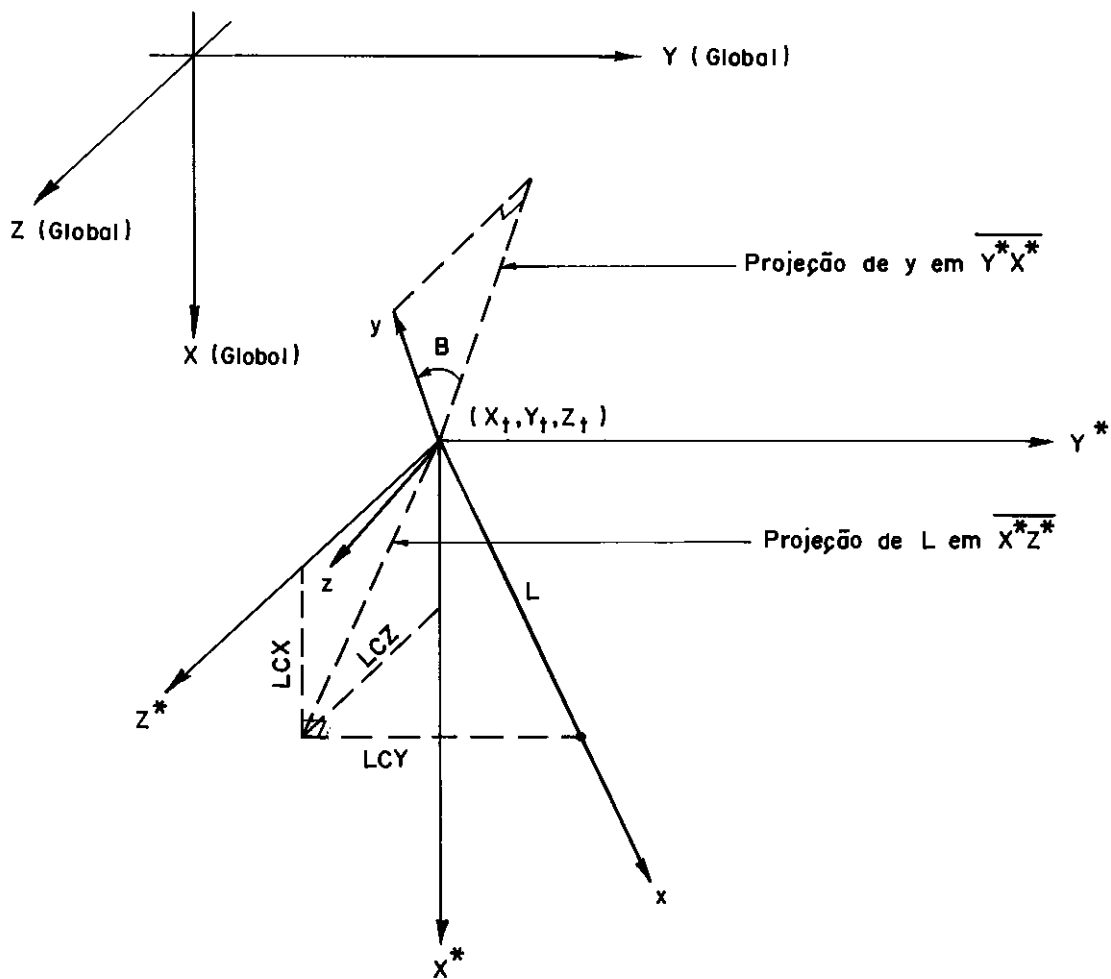


FIG. AII.1 — Translação e rotação de eixos coordenados cartesianos.

rem-se aos eixos globais e eixos locais de coordenadas, de acordo com os subscritos G e L, respectivamente. O apóstrofo designará que se deve tomar a transposta da matriz assinalada.

Definindo uma matriz de rotação \underline{R} obtem-se as relações

$$\underline{D}_L = \underline{R} \underline{D}^* \quad \text{e} \quad (\text{AII.2})$$

$$\underline{A}_L = \underline{R} \underline{A}^* ,$$

Sabe-se que \underline{R} é ortogonal e sua transposta, então, é igual à sua inversa. Assim obtem-se as expressões

$$\underline{D}^* = \underline{R}' \underline{D}_L \quad \text{e}$$

$$\underline{A}^* = \underline{R}' \underline{A}_L .$$

É interessante ressaltar que a matriz \underline{T} não é sempre ortogonal.

A passagem das ações e deslocamentos diretamente de um sistema de coordenadas para outro, é feita através das seguintes relações:

$$\underline{D}_L = (\underline{RT}) \underline{D}_G \quad (\text{AII.3})$$

$$\underline{A}_G = (\underline{RT})' \underline{A}_L$$

onde (\underline{RT}) e $(\underline{RT})'$ são as matrizes resultantes da multiplicação de \underline{R} por \underline{T} e \underline{T}' por \underline{R}' respectivamente.

Utilizando a equação III.7 do tipo $\underline{A}_L = \underline{S}_L \underline{D}_L$, válida para uma estaca isolada, e as expressões AII.2, teremos:

$$\underline{A}^* = \underline{R}' (\underline{S}_L \underline{D}_L) \quad , \quad (\text{AII.4})$$

$$\underline{A}^* = \underline{R}' \underline{S}_L \underline{R} \underline{D}^*$$

Utilizando as expressões AII.1, para transladar AII.4 para o sistema global de coordenadas, tem-se:

$$\underline{A}_G = \underline{T}' (\underline{R}' \underline{S}_L \underline{R} \underline{D}^*) ;$$

$$\underline{A}_G = \underline{T}' \underline{R}' \underline{S}_L \underline{R} \underline{T} \underline{D}_G ;$$

ou, finalmente para cada estaca,

$$\underline{A}_G = (\underline{RT})' \underline{S}_L (\underline{RT}) \underline{D}_G \quad (\text{AII.5})$$

Comparando esta expressão com a III.8, pode-se afirmar que para n estacas,

$$\underline{S}_G = \sum_{k=1}^n (\underline{RT})' \underline{S}_L (\underline{RT}) \quad , \quad (\text{AII.6})$$

correspondendo à expressão III.8 utilizada no Capítulo III, na obtenção da matriz de rigidez global do estaqueamento isolado.

A matriz de rotação \underline{R} de uma estaca é bastante conhecida. Seus elementos são os seguintes: (Gere¹³, pág. 292 e 294).

COEFICIENTES	PARA $Q = \sqrt{CX^2 + CY^2} \neq 0$	PARA $Q = 0$
r_{11}	CX	0
r_{12}	CY	CY
r_{13}	CZ	0
r_{21}	$(-CX \text{ CY } \cos B - CZ \sin B)/Q$	$-CY \cos B$
r_{22}	$Q \cos B$	0
r_{23}	$(-CY \text{ CZ } \cos B + CX \sin B)/Q$	$\sin B$
r_{31}	$(CX \text{ CY } \sin B - CZ \cos B)/Q$	$CY \sin B$
r_{32}	$-Q \sin B$	0
r_{33}	$(CY \text{ CZ } \sin B + CX \cos B)/Q$	$\cos B$

onde $\underline{R} = \begin{vmatrix} \underline{r} & 0 \\ 0 & \underline{r} \end{vmatrix}$; CX, CY e CZ são os cosenos diretores da esta

ca em relação aos eixos globais, como mostra a figura AII.1, e B é o ângulo que o plano $X^* Y^*$ faz com o eixo y.

APÊNDICE AIII

DEDUÇÃO DAS EXPRESSÕES DE MOMENTOS APLICADOS NO ESPAÇO E NO SEMI-ESPAÇO INFINITO E RESUMO DAS FUNÇÕES

Este Apêndice apresenta o resumo das expressões para o cálculo das tensões e dos deslocamentos em um ponto qualquer de um sólido e de um semi-sólido infinitos, para uma força aplicada na origem do sistema de eixos cartesianos (figura AIII.1), utilizando a notação e convenção de sinal adotada no Capítulo III item 3.5.5.3.1.

A solução básica adotada no problema do solo isolado, item 3.5.5.3.2, foram as expressões da Teoria da Elasticidade para o meio homogêneo infinito. Contudo as expressões para o problema de Cerutti e Boussinesq (figura AIII.1), também foram resumidas assim como as deduções para um momento em qualquer direção, aplicado no interior do sólido infinito e na superfície do semi-sólido infinito.

Conhecidas as soluções de Kelvin para uma força aplicada no interior de um sólido infinito (expressões AIII.1) e as soluções de Cerrutti e Boussinesq para uma forma horizontal e vertical, respectivamente, aplicadas na superfície de contorno do semi-sólido infinito (expressões AIII.2 e AIII.3) problemas estes esquematizados na figura AIII.1, pode-se deduzir as soluções para momentos aplicados no interior do espaço infinito e na fronteira do espaço semi-infinito como está explicado a seguir.

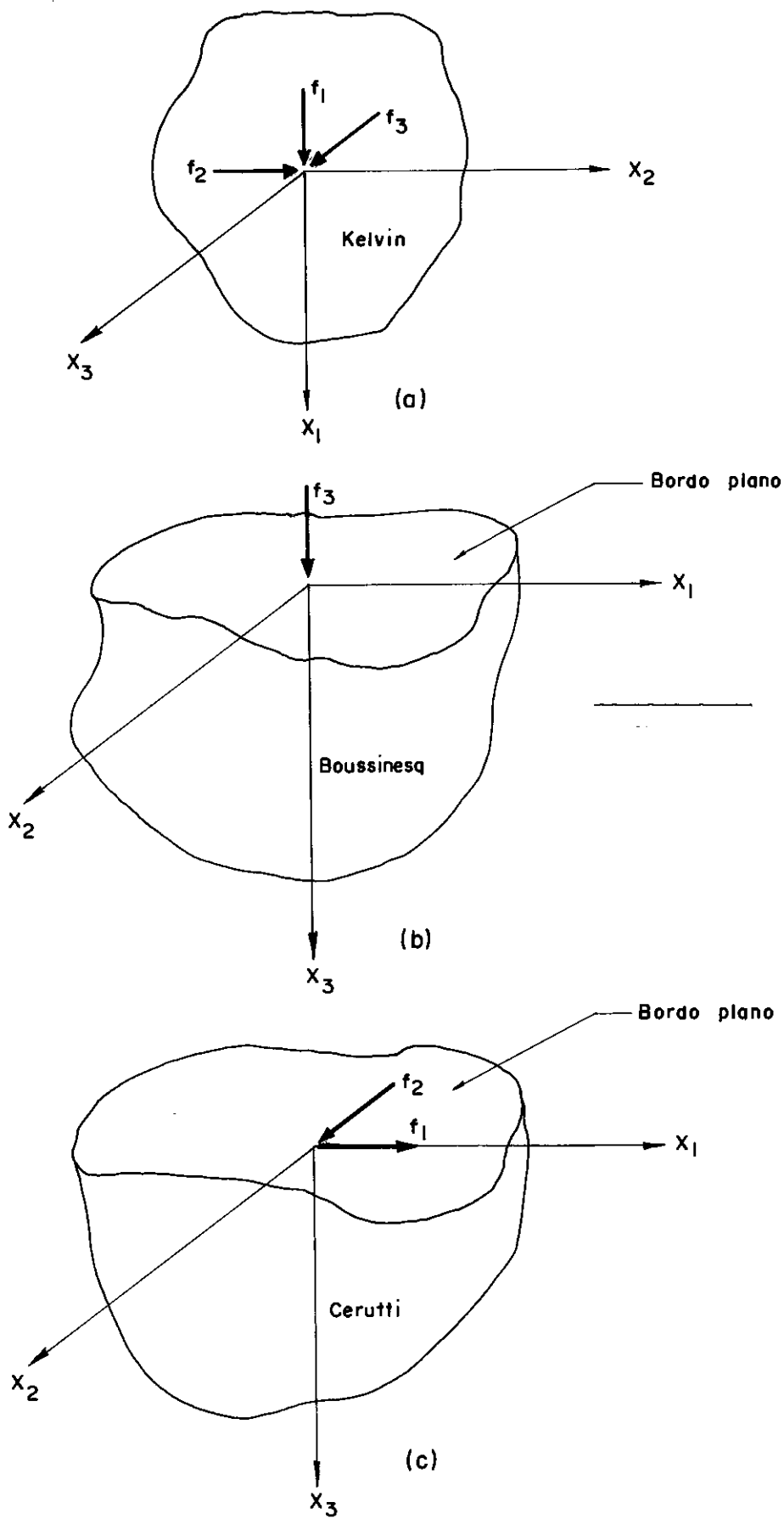


FIG. A III.1 — (a) Problema de Kelvin; (b) Problema de Boussinesq; (c) Problema de Cerutti

$$\tau_{11} = \frac{-(f_1 x_1 + f_2 x_2 + f_3 x_3)}{8\pi(1-\nu) r^3} \left\{ \frac{3x_1^2}{r^2} - (1-2\nu) \right\} - \frac{f_1 x_1 (1-2\nu)}{4\pi(1-\nu) r^3}$$

$$\tau_{22} = \frac{-(f_1 x_1 + f_2 x_2 + f_3 x_3)}{8\pi(1-\nu) r^3} \left\{ \frac{3x_2^2}{r^2} - (1-2\nu) \right\} - \frac{f_2 x_2 (1-2\nu)}{4\pi(1-\nu) r^3}$$

$$\tau_{33} = \frac{-(f_1 x_1 + f_2 x_2 + f_3 x_3)}{8\pi(1-\nu) r^3} \left\{ \frac{3x_3^2}{r^2} - (1-2\nu) \right\} - \frac{f_3 x_3 (1-2\nu)}{4\pi(1-\nu) r^3}$$

$$\tau_{12} = \frac{-1}{8\pi(1-\nu) r^3} \left\{ \frac{3}{r^2} (f_1 x_1^2 x_2 + f_2 x_1 x_2^2 + f_3 x_1 x_2 x_3) + \right.$$

$$\left. + (1-2\nu) (f_1 x_2 + f_2 x_1) \right\}$$

(AIII.1)

$$\tau_{13} = \frac{-1}{8\pi(1-\nu) r^3} \left\{ \frac{3}{r^2} (f_1 x_1^2 x_3 + f_2 x_1 x_2 x_3 + f_3 x_1 x_3^2) + \right.$$

$$\left. + (1-2\nu) (f_3 x_1 + f_1 x_3) \right\}$$

$$\tau_{23} = \frac{-1}{8\pi(1-\nu) r^3} \left\{ \frac{3}{r^2} (f_1 x_1 x_2 x_3 + f_2 x_2^2 x_3 + f_3 x_2 x_3^2) + \right.$$

$$\left. + (1-2\nu) (f_2 x_3 + f_3 x_2) \right\}$$

$$u_1 = \frac{(1+\nu)}{8\pi E s(1-\nu) r} \left\{ \frac{(f_1 x_1^2 + f_2 x_1 x_2 + f_3 x_1 x_3)}{r^2} + (3-4\nu) f_1 \right\}$$

$$u_2 = \frac{(1+\nu)}{8\pi E s (1-\nu) r} \left\{ \frac{(f_1 x_1 x_2 + f_2 x_2^2 + f_3 x_2 x_3)}{r^2} + (3-4\nu) f_2 \right\}$$

$$u_3 = \frac{(1+\nu)}{8\pi E s (1-\nu) r} \left\{ \frac{(f_1 x_1 x_3 + f_2 x_2 x_3 + f_3 x_3^2)}{r^2} + (3-4\nu) f_3 \right\}$$

$$\omega_{23} = \frac{(1+\nu)}{4\pi E s r^3} (f_2 x_3 - f_3 x_2) \quad (\text{AIII.1})$$

$$\omega_{31} = \frac{(1+\nu)}{4\pi E s r^3} (f_3 x_1 - f_1 x_3)$$

$$\omega_{12} = \frac{(1+\nu)}{4\pi E s r^3} (f_1 x_2 - f_2 x_1)$$

$$\tau_{11} = \frac{f_1 x_1 + f_2 x_2}{2\pi r^3} \left\{ -\frac{3x_1^2}{r^2} + \frac{(1-2\nu)}{(r+x_3)^2} \left(-x_2^2 - \frac{2rx_2^2}{r+x_3} \right) \right\} \\ + \frac{(1-2\nu)}{2\pi (r+x_3)^2 r} (f_1 + 3f_2)$$

$$\tau_{22} = \frac{f_1 x_1 + f_2 x_2}{2\pi r^3} \left\{ -\frac{3x_2^2}{r^2} + \frac{(1-2\nu)}{(r+x_3)^2} \left(-x_1^2 - \frac{2rx_1^2}{r+x_3} \right) \right\} + \\ + \frac{(1-2\nu)}{2\pi (r+x_3)^2 r} (3f_1 - f_2)$$

$$\tau_{33} = \frac{-3x_3^2 (f_1 x_1 + f_2 x_2)}{2\pi r^5} \quad (AIII.2)$$

$$\tau_{12} = \frac{1}{2\pi r^3} \left\{ -\frac{3}{r^2} (f_1 x_1^2 x_2 + f_2 x_1 x_2^2) + \frac{(1-2\nu)}{(r+x_3)^2} \right. \\ \left. (-r^2 + x_1^2 + \frac{2rx_1^2}{r+x_3}) f_1 x_2 + (-r^2 + x_2^2 + \frac{2rx_2^2}{r+x_3}) f_2 x_1 \right\}$$

$$\tau_{13} = \frac{-3(f_1 x_1^2 x_3 + f_2 x_1 x_2 x_3)}{2\pi r^5}$$

$$\tau_{23} = \frac{-3(f_1 x_1 x_2 x_3 + f_2 x_2^2 x_3)}{2\pi r^5}$$

$$\begin{aligned}
\bar{u}_1 &= \frac{(1+\nu)}{2\pi E s \ r} \left\{ f_1 \left| 1 + \frac{x_1^2}{r^2} + (1-2\nu) \left(\frac{r}{r+x_3} - \frac{x_1^2}{(r+x_3)^2} \right) \right| \right. \\
&\quad \left. + f_2 \ x_1 \ x_2 \left(\frac{1}{r^2} - \frac{(1-2\nu)}{(r+x_3)^2} \right) \right\} \\
u_2 &= \frac{(1+\nu)}{2\pi E s \ r} \left\{ f_1 \ x_1 \ x_2 \left(\frac{1}{r^2} - \frac{(1-2\nu)}{(r+x_3)^2} \right) + f_2 \right\} \left| 1 + \right. \\
&\quad \left. + \frac{x_2^2}{r^2} + (1-2\nu) \left(\frac{r}{r+x_3} - \frac{x_2^2}{(r+x_3)^2} \right) \right| \} \quad (AIII.2) \\
u_3 &= \frac{(1+\nu) (f_1 x_1 + f_2 x_2)}{2\pi E s \ r} \left(\frac{x_3}{r^2} + \frac{(1-2\nu)}{r+x_3} \right)
\end{aligned}$$

$$\tau_{12} = \frac{f_3 x_1 x_2}{2\pi r^3} \left\{ \frac{-3 x_3}{r^2} + (1-2\nu) \frac{2r+x_3}{(r+x_3)^2} \right\}$$

$$\tau_{13} = - \frac{3f_3 x_1 x_3^2}{2\pi r^5}$$

$$\tau_{23} = \frac{-3 f_3 x_2 x_3^2}{2\pi r^5}$$

(AIII.3)

$$u_1 = \frac{f_3 x_1 (1+\nu)}{2\pi E s r} \left\{ \frac{x_3}{r^2} - \frac{(1-2\nu)}{r+x_3} \right\}$$

$$u_2 = \frac{f_3 x_2 (1+\nu)}{2\pi E s r} \left\{ \frac{x_3}{r^2} - \frac{(1-2\nu)}{r+x_3} \right\}$$

$$u_3 = \frac{f_3 (1+\nu)}{2\pi E s r} \left\{ \frac{x_3^2}{r^2} + 2 (1-\nu) \right\}$$

Suponha-se um conjunto genérico, que represente um momento em uma direção, aplicado em um plano do sólido infinito ou na superfície de um semi-sólido infinito, como na figura AIII.2. Pode-se substituir este conjugado por dois conjugados rebatidos nos eixos do plano, como na figura AIII.6, considerando, para simplificar, que $\sin \alpha = \cos \alpha$.

Suponha-se que a função $f_1(x_1, x_2, x_3)$ represente as tensões ou deslocamentos, em qualquer ponto do meio, para uma carga \underline{P} aplicada na origem do sistema de eixos cartesianos, na direção e sentido de x_1 . A tensão ou deslocamento em um ponto (x_1, x_2, x_3) , para uma força \underline{P} aplicada a uma distância \underline{d} da origem, como mostra a figura AIII.3(a), pode ser determinada desenvolvendo a função $f_1(x_1, x_2 - d, x_3)$ em série de Taylor nas vizinhanças do ponto x_2 , pois as coordenadas do ponto em relação ao ponto de aplicação da força \underline{P} distante \underline{d} da origem é igual a $(x_1, x_2 - d, x_3)$. Então:

$$f_1(x_1, x_2 - d, x_3) = f_1(x_1, x_2, x_3) + f'_1(x_1, x_2, x_3) (x_2 - d - x_2) + \\ + \frac{1}{2!} f''_1(x_1, x_2, x_3) (x_2 - d - x_2)^2 + \dots$$

Para um valor muito pequeno de \underline{d} , podemos desprezar os infinitésimos de ordem superior:

$$f_1(x_1, x_2 - d, x_3) = f_1(x_1, x_2, x_3) - f'_1(x_1, x_2, x_3) d.$$

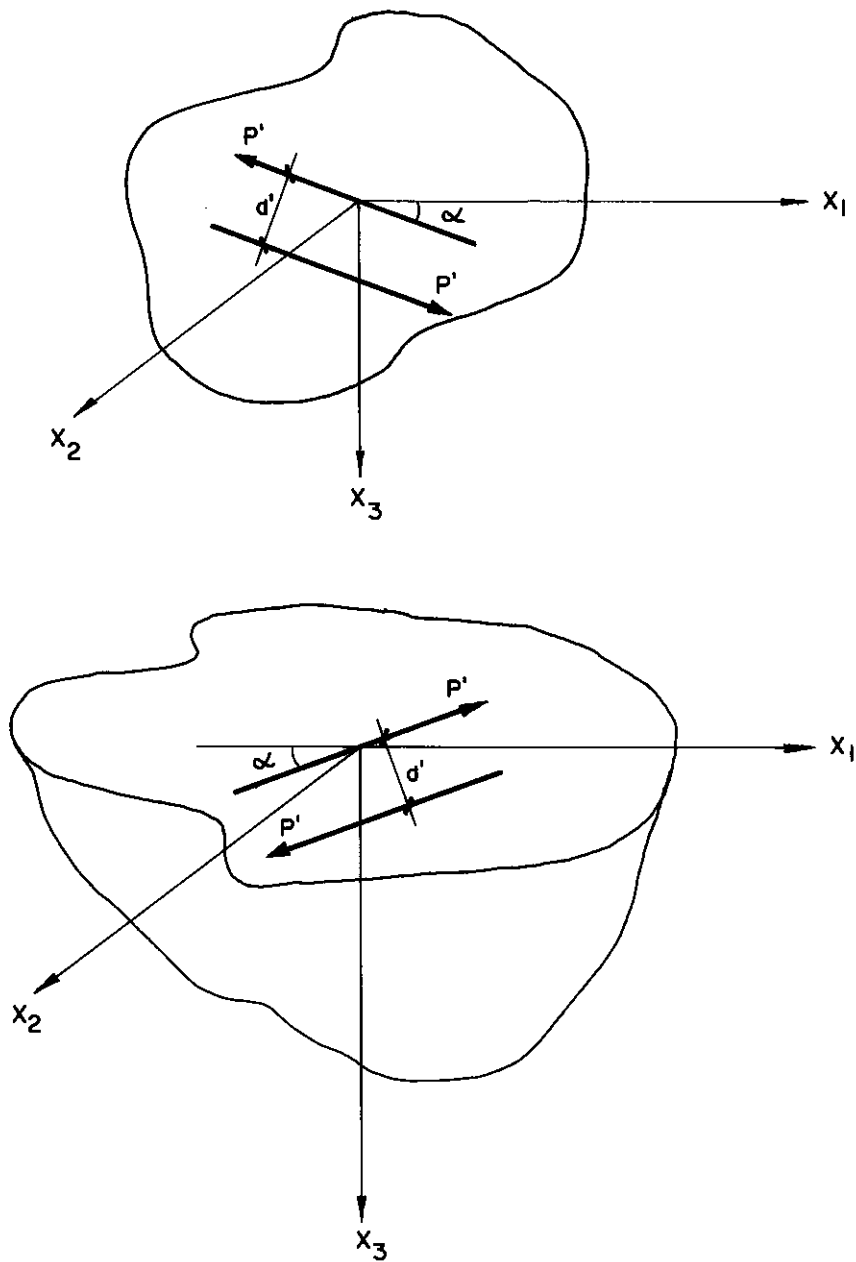
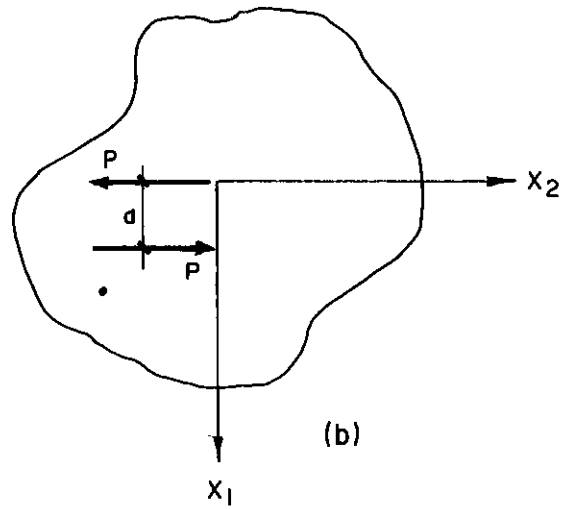
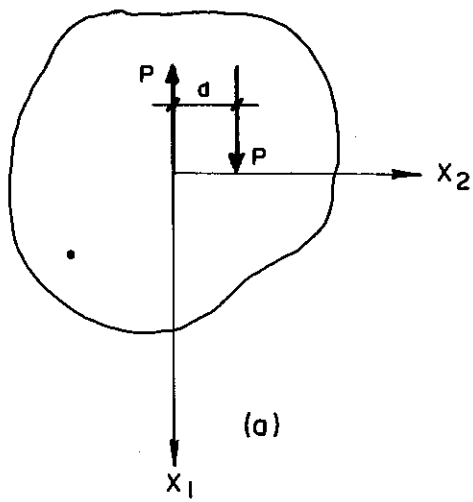


FIG. A III.2 — Conjugado para cálculo das tensões e deslocamentos no interior do sólido e semi-sólido infinitos.



$$P = P' \cos$$

$$d = d' \cos$$

$$\text{MOMENTO} = 2Pd = P'd'$$

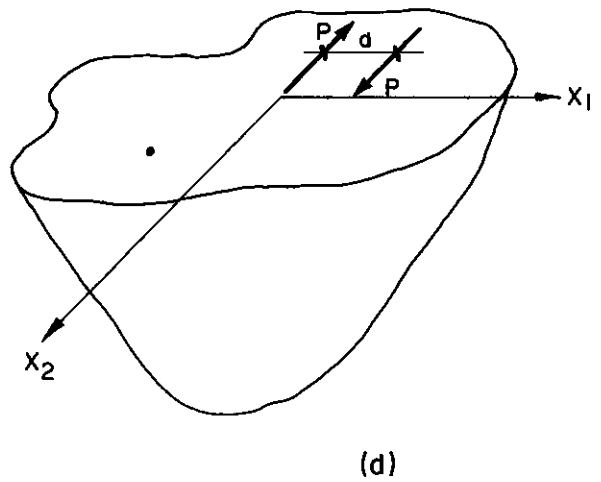
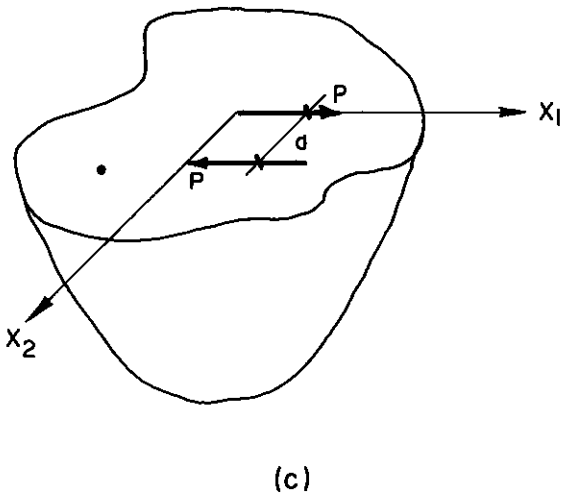


FIG. A III. 3 — Conjugados equivalentes do momento aplicado no sólido e semi-sólido infinitos.

A função, então, no ponto (x_1, x_2, x_3) , para o conjunto aplicado, próximo da origem dos eixos cartesianos, é neste caso, igual a:

$$\begin{aligned}
 & f_1(x_1, x_2, x_3) - f_1(x_1, x_2 - d, x_3) = \\
 & = f_1(x_1, x_2, x_3) - f_1(x_1, x_2, x_3) + \\
 & + f'_1(x_1, x_2, x_3) d = \\
 & = \frac{\partial f_1(x_1, x_2, x_3)}{\partial x_2} d
 \end{aligned}
 \tag{AIII.4}$$

Analogamente, considerando que $f_2(x_1, x_2, x_3)$ é a função que expressa o valor das tensões ou dos deslocamentos em um ponto do meio homogêneo infinito, para uma carga P aplicada na origem dos eixos cartesianos, na direção e sentido de x_2 a função que representa as tensões ou os deslocamentos no ponto (x_1, x_2, x_3) devidos ao conjugado da figura III.6(b), aplicado na direção de x_2 , será igual a:

$$- \frac{\partial f_2(x_1, x_2, x_3)}{\partial x_1} d
 \tag{AIII.5}$$

A função então, que representa um momento, numericamente igual a $2Pd$, aplicado em torno do eixo x_3 do meio homogêneo infinito, será igual a soma das expressões AIII.4 e AIII.5. Esta modalidade de solução faz com que as expressões obtidas sejam simétricas em relação aos eixos x_1 e x_2 .

Concluindo então, a função f_{ij} , que representa as tensões ou deslocamentos em um ponto (x_1, x_2, x_3) qualquer do meio, para um momento m_{ij} aplicado no sentido ij dos eixos cartesianos do meio infinito, em relação a função que expressa as tensões ou os deslocamentos no ponto (x_1, x_2, x_3) , devidos a uma força aplicada na origem dos eixos cartesianos, pode ser obtida pela seguinte relação:

$$f_{ij} = \frac{1}{2} (f_{i,j} - f_{j,i}); \text{ para } i \neq j, \quad (\text{AIII.6})$$

onde f_{ij} é uma função que expressa as tensões ou deslocamentos em um ponto de coordenadas (x_1, x_2, x_3) , para um momento aplicado na origem de um sistema cartesiano de um sólido infinito; $f_{i,j}$ é a derivada em relação a x_j de uma função que expressa tensões ou deslocamentos no mesmo ponto para uma força aplicada na origem dos eixos na direção e sentido de x_i do sistema de coordenadas cartesianas de um sólido infinito; e o carregamento, antes representando uma força concentrada, representará então um momento concentrado.

Utilizando uma análise semelhante à anterior, determina-se a função solução para um momento aplicado na superfície de um semi-sólido infinito (figura AIII.3 (c,d) e AIII.4), pelas seguintes relações:

$$f_{23} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_3} - \frac{\partial f_3}{\partial x_2} \right) \quad (\text{AIII.7})$$

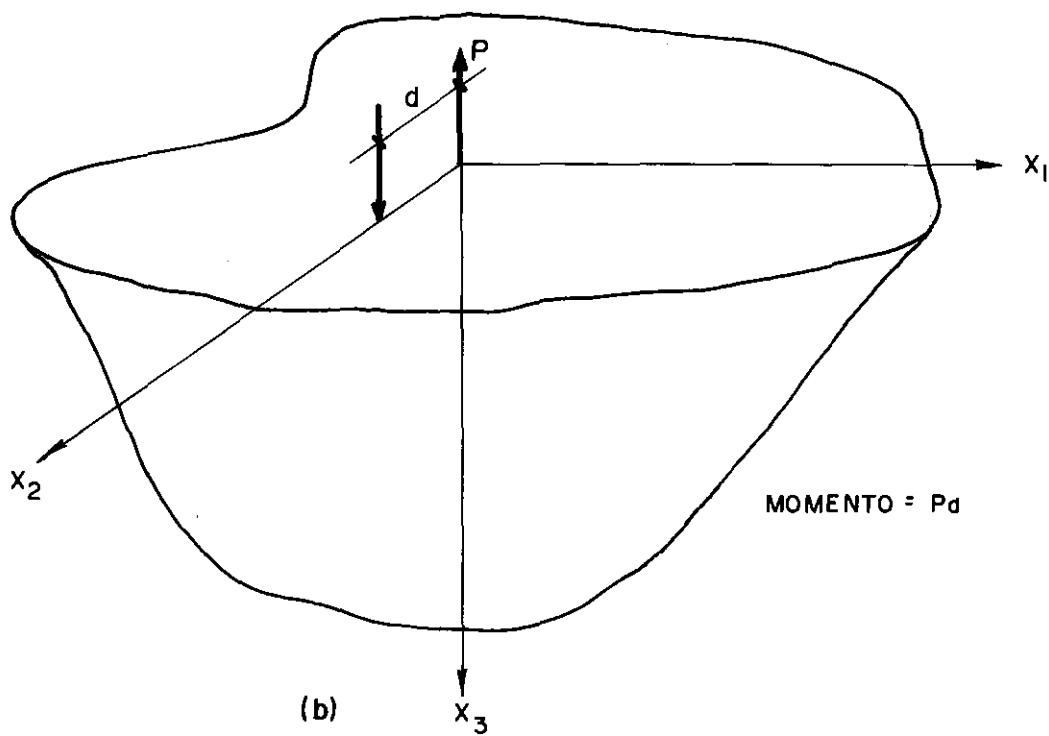
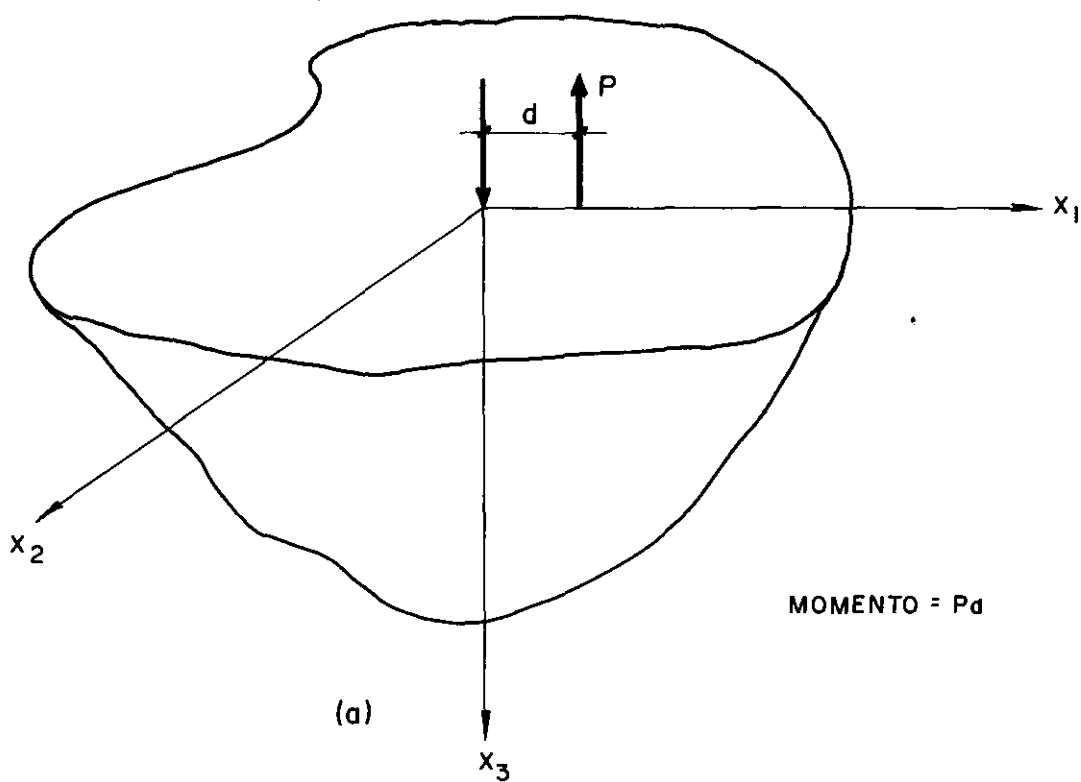


FIG. A III. 4 — Conjugados equivalentes aos momentos aplicados na superfície do semi-sólido infinito.

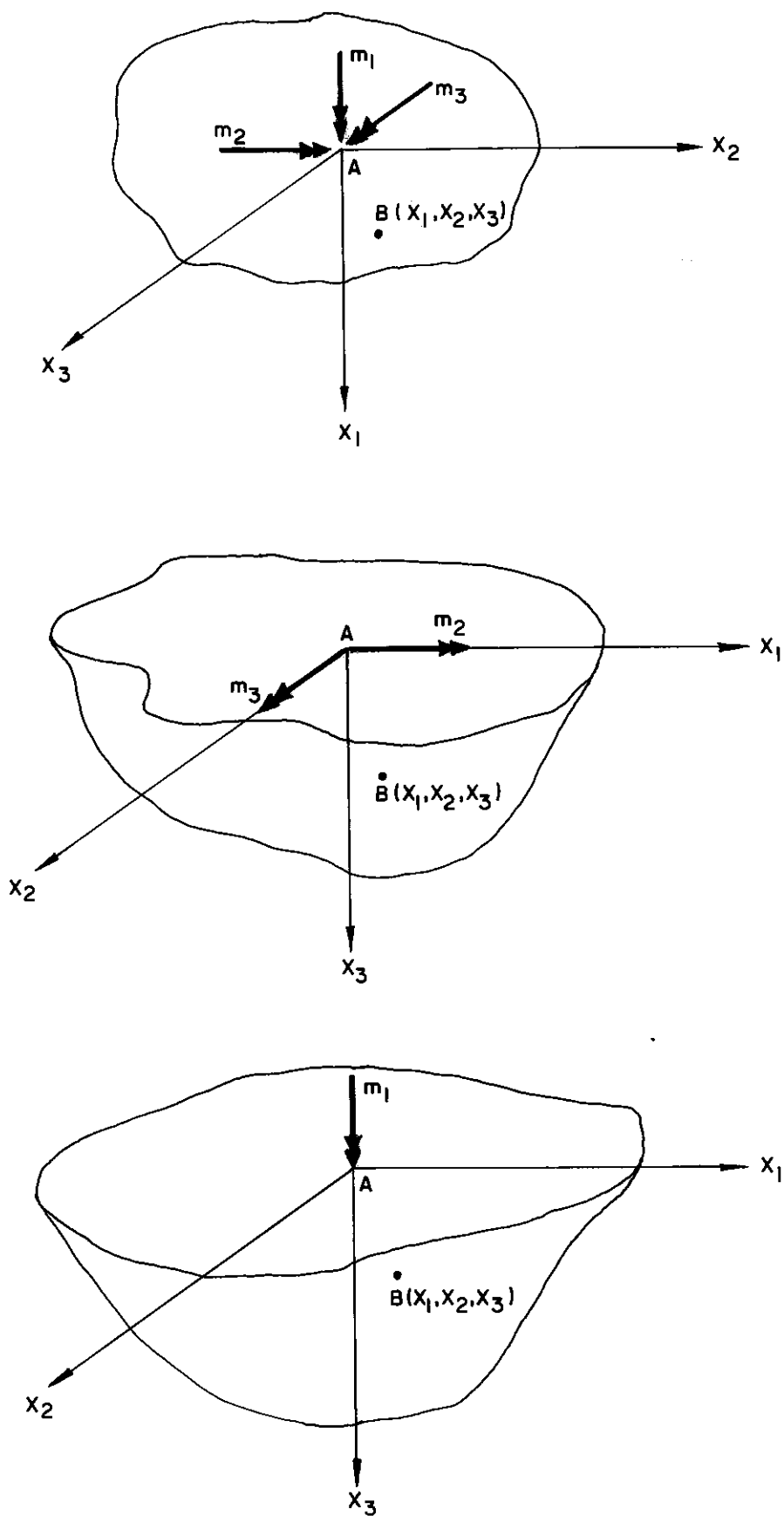


FIG. A III. 5 — Esquemas representantes das tensões e deslocamentos obtidos pelas expressões A III.7 a A III.9, em um ponto B qualquer, devido a um momento aplicado no ponto A.

$$\begin{aligned} f_{31} &= - \frac{\partial f_1}{\partial x_3} \\ f_{12} &= - \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \end{aligned} \quad \left| \right. \quad \text{(AIII.7)}$$

As rotações em um ponto qualquer, pela Teoria da Elasticidade, podem ser determinadas a partir dos deslocamentos, ambos para o mesmo carregamento:

$$\omega_{ij} = \frac{1}{2} (u_{j,i} - u_{i,j}); \text{ para } i \neq j \quad \text{(AIII.8)}$$

onde $u_{i,j}$ é a derivada em relação x_j da função que expressa o deslocamento na direção x_i e ω_i é a rotação no sentido ij , ambos para o mesmo carregamento aplicado no meio. Vale observar que a rotação de ω_{31} é positiva no sentido 31 e, por isso, o sinal de ω_{13} é trocado (Love¹⁶, pag. 38).

As expressões dos deslocamentos e das tensões, em qualquer ponto do meio, obtidas para cada caso esquematizado na figura AIII.5, assim como também as rotações para o caso da figura AIII.5(a), estão resumidas da seguinte forma: expressões AIII.9 para os momentos aplicados no meio infinito; expressões AIII.10 para os momentos aplicados na superfície do semi-espaço infinito e expressões AIII.11 para uma torsão aplicada na superfície do semi-espaço infinito.

$$\tau_{11} = \frac{3x_1}{4\pi r^5} (-m_2 x_3 - m_3 x_2) \quad \left| \right. \quad \text{(AIII.9)}$$

$$\tau_{22} = \frac{3x_2}{4\pi r^5} (m_1 x_3 - m_3 x_1)$$

$$\tau_{33} = \frac{3x_3}{4\pi r^5} (-m_1 x_2 + m_2 x_1)$$

$$\tau_{12} = \frac{3x_3}{8\pi r^5} \left| m_1 x_1 - m_2 x_2 + \frac{m_3}{x_3} (x_2^2 - x_1^2) \right|$$

$$\tau_{13} = \frac{3x_2}{8\pi r^5} \left| m_1 x_1 + \frac{m_2}{x_2} (x_1^2 - x_3^2) - m_3 x_3 \right|$$

$$\tau_{23} = \frac{3x_1}{8\pi r^5} \left| \frac{m_1}{x_1} (x_3^2 - x_2^2) + m_2 x_2 - m_3 x_3 \right|$$

(AIII.9)

$$u_1 = \frac{2(1+\nu)}{8\pi E s r^3} (m_2 x_3 - m_3 x_2)$$

$$u_2 = \frac{2(1+\nu)}{8\pi E s r^3} (-m_1 x_3 + m_3 x_1)$$

$$u_3 = \frac{2(1+\nu)}{8\pi E s r^3} (m_1 x_2 - m_2 x_1)$$

$$\omega_{23} = \frac{(1+\nu)}{8\pi E s r^3} \left\{ 2m_1 - \frac{3}{r^2} \left| m_1 (x_2^2 + x_3^2) - \right. \right. \\ \left. \left. - m_2 x_2 x_1 + m_3 x_3 x_1 \right| \right\}$$

$$\omega_{31} = \frac{(1+\nu)}{8\pi E_S r^3} \left\{ 2m_2 - \frac{3}{r^2} \left[-m_1 x_1 x_2 + \right. \right.$$

$$\left. + m_2 (x_3^2 + x_1^2) + m_3 x_3 x_2 \right\}$$

(AIII.9)

$$\omega_{12} = \frac{(1+\nu)}{8\pi E_S r^3} \left\{ 2m_3 - \frac{3}{r^2} \left[m_1 x_1 x_3 - \right. \right.$$

$$\left. - m_2 x_2 x_3 + m_3 (x_1^2 + x_2^2) \right\}$$

$$\tau_{11} = \frac{(m_1 x_2 - m_2 x_1)}{2\pi r^3} \left\{ \frac{-15 x_1^2 x_3}{r^4} + (1-2\nu) \left| \frac{-(x_2^2 + x_3^2)}{r(r+x_3)} \right. \right.$$

$$\left. \left(\frac{3}{r} + \frac{1}{r+x_3} \right) + \frac{2 x_1^2}{(r+x_3)^2} \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r+x_3} \right) + \frac{3x_3}{r^2} \right\} +$$

$$+ \frac{1}{2\pi r^3} \left\{ (m_1 x_2) (1-2\nu) \frac{2}{r+x_3} - (m_2 x_1) \left| \frac{6x_3}{r^2} - \right. \right.$$

$$\left. - (1-2\nu) \frac{2 r}{(r+x_3)^2} \right\}$$

$$\tau_{22} = \frac{(m_1 x_2 - m_2 x_1)}{2\pi r^3} \left\{ \frac{-15 x_2^2 x_3}{r^4} + (1-2\nu) \left| \frac{-(x_1^2 + x_3^2)}{r(r+x_3)} \right. \right\} \times$$

(AIII.10)

$$\times \left(\frac{3}{r} + \frac{1}{r+x_3} \right) + \frac{2x_2^2}{(r+x_3)^2} \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r+x_3} \right) + \frac{3x_3}{r^2} \right\} +$$

$$+ \frac{1}{2\pi r^3} \left\{ (m_1 x_2) \left(\frac{6x_3}{r^2} - (1-2\nu) \frac{2 r}{(r+x_3)^2} \right) - \right.$$

$$\left. - (m_2 x_1) (1-2\nu) \frac{2}{r+x_3} \right\}$$

$$\tau_{33} = \frac{-15 x_3^3}{2\pi r^7} (m_1 x_2 - m_2 x_1)$$

$$\begin{aligned}
\tau_{12} = & \frac{-m_1 x_1}{2\pi r^3} \left\{ \frac{-3x_3}{r^2} + \frac{15 x_2^2 x_3}{r^4} + \frac{(1-2\nu)}{(r+x_3)^2} \right| 2r + x_3 - \\
& - \frac{3x_2^2 x_3}{r} \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r+x_3} \right) - 4 x_2^2 \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r+x_3} \right) + \\
& + \frac{x_2^2 x_3}{r(r+x_3)} \left| \right\} + \frac{m_2 x_2}{2\pi r^3} \left\{ \frac{-3x_3}{r^2} + \frac{15x_1^2 x_3}{r^4} + \right. \\
& + \frac{(1-2\nu)}{(r+x_3)^2} \left| 2r+x_3 - \frac{3x_1^2 x_3}{r} \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r+x_3} \right) - \right. \\
& \left. - 4 x_1^2 \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r+x_3} \right) + \frac{x_2^2 x_3}{r(r+x_3)} \right| \} \quad (\text{AIII.10})
\end{aligned}$$

$$\tau_{13} = \frac{-3 x_3^2}{2\pi r^5} \left\{ \frac{5}{r^2} (m_1 x_1 x_2 - m_2 x_1^2) + m_2 \right\}$$

$$\tau_{23} = \frac{-3 x_3^2}{2\pi r^5} \left\{ \frac{5}{r^2} (m_1 x_2^2 - m_2 x_1 x_2) - m_1 \right\}$$

$$\begin{aligned}
u_1 = & \frac{(1+\nu)}{2\pi E s r^3} \left\{ (m_1 x_2 - m_2 x_1) \left| \frac{-3x_3 x_1}{r^2} + \frac{(1-2\nu)x_1}{r+x_3} \left(1 + \frac{r}{r+x_3} \right) \right| \right. \\
& + m_2 \left(x_3 - \frac{(1-2\nu)r^2}{r+x_3} \right) \left. \right\}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 u_2 = & \frac{-(1+\nu)}{2\pi E s r^3} \{ (m_1 x_2 - m_2 x_1) \left| -\frac{3x_2 x_3}{r^2} \right. + \\
 & + \frac{(1-2\nu)x_2}{r + x_3} \left(1 + \frac{r}{r+x_3} \right) \left| + m_1 \left| x_3 - \frac{(1-2\nu)r^2}{r+x_3} \right| \right\} \quad (\text{AIII.10})
 \end{aligned}$$

$$u_3 = \frac{(1+\nu)(m_1 x_2 - m_2 x_1)}{2\pi E s r^3} \left\{ -\frac{3x_3^2}{r^2} + 2(1-\nu) \right\}$$

$$\tau_{11} = \frac{3m_3 x_1 x_2}{2\pi r^5}$$

$$\tau_{22} = \frac{-3m_3 x_1 x_2}{2\pi r^5}$$

$$\tau_{33} = 0$$

$$\tau_{12} = \frac{3m_3}{4\pi r^5} (x_2^2 - x_1^2)$$

(AIII.11)

$$\tau_{13} = \frac{3m_3 x_2 x_3}{4\pi r^5}$$

$$\tau_{23} = \frac{-3m_3 x_1 x_3}{4\pi r^5}$$

$$u_1 = \frac{-m_3 (1+\nu) x_2}{4\pi E s r^3}$$

$$u_2 = \frac{m_2 (1+\nu) x_1}{4\pi E s r^3}$$

$$u_3 = 0$$

APÊNDICE A-IVPROGRAMA TELLUSA4.1 - LIMITAÇÕES DO PROGRAMA

O programa TELLUS foi preparado para o compilador FORTRAN IV do computador Burroughs 6700 (release 3.1 do sistema operacional) e elaborado no Núcleo de Computação Eletrônica da UFRJ.

Todas as simplificações adotadas no programa, tiveram o intuito de facilitar os trabalhos de programação e processamento, já que o principal objetivo é o de mostrar a viabilidade de uma solução, que represente satisfatoriamente o comportamento do conjunto estaqueamento-solo.

A área de memória permitida ao usuário da linguagem FORTRAN IV do B-6700, para cada declaração de tipo (com: "COMMON", "DIMENSION", "REAL", e outras), é de 65535 elementos. Isto limita a 63504 elementos o número de incógnitas de cada sistema de equações do problema proposto, que induz a uma matriz da ordem de 252 x 252 elementos. Uma matriz desta ordem comporta um problema de um máximo de 42 nós de referência para o estaqueamento juntamente com duas superfícies de contorno do solo com 16 pontos de compatibilidade cada. Segundo Poulos²⁴ (pág. 180), que fez uma análise semelhante a esta, visando medir deflexões e rotações das estacas, o número mínimo de subdivisões

de cada estaca, para se obter um resultado com precisão adequada, foi determinada como sendo de 21 elementos. Isto limitaria a análise pelo programa TELLUS a um estaqueamento constituído de duas estacas no máximo. Procurou-se, então, utilizar o disco para armazenar as matrizes dos coeficientes do solo e de flexibilidade, por partes.

Uma subrotina, preparada por Curotto⁸, que resolve sistemas de equações com a matriz dos coeficientes gravada por partes em disco, foi utilizada em fase experimental do programa, mas o elevado tempo de processamento gasto para solucionar cada sistema, tornou sua aplicação inviável neste caso. Para resolver este problema seria necessário desenvolver uma subrotina que resolvesse sistemas de equações particionados, com eficiência. Parece que neste caso seria interessante desenvolver subrotina em linguagem de baixo nível, ou em ALGOL para o Burroughs 6700. Apesar de terem sido utilizadas no programa TELLUS, subrotinas que trabalham com a matriz do coeficiente toda armazenada na memória principal, o armazenamento das matrizes em disco foi mantida. Com a utilização das matrizes todas armazenadas na memória central, a "integral" de memória gasta pelo programa na execução dos exemplos aumentou substancialmente. Um remanejamento dos COMMON e DIMENSION e a elaboração de uma subrotina trabalhando com sistemas particionados resolveria este problema.

A eficiência do programa também seria melhorada se fosse modificada a geração dos vetores independentes do sis-

tema de equação, que resolve o problema para o solo isolado. O programa TELLUS, soluciona só um sistema de equações de cada vez. Concluindo, o programa é bastante ineficiente para uso técnico geral e nenhuma melhoria destas condições foi elaborada, por não ser este o objetivo do trabalho. Qualquer melhoria na programação seria dispendiosa em tempo de trabalho e de processamento e por isto procurou-se comentar ao máximo o programa, como pode ser visto na listagem fornecida no final do Apêndice, para eventuais modificações futuras.

Através da bibliografia existente, sabe-se que uma particularização do método de solução e do programa para solucionar somente estaqueamentos, tem vantagens econômicas em relação a métodos gerais de análise estrutural que poderiam fornecer precisão semelhante. Contudo, não foi possível comparar os tempos de processamento do programa TELLUS, com os dos programas gerais de análise existentes, em vista dos grandes tempos de processamento previstos para os programas gerais. Os tempos de processamento do programa TELLUS, diminuirão sensivelmente com qualquer melhoria na sua programação, principalmente se ela for localizada no seu ponto nevrálgico que é a resolução dos sistemas de equações.

Os comandos usados meramente para a depuração do programa durante a fase de testes foram mantidos. Todos os cartões que estiverem entre os comentários iniciais e finais (cartões CI e CF) podem ser retirados sem alterar a execução do programa.

O programa só considera estacas imersas em um meio homogêneo com E_s e G_s constantes. A subdivisão deste meio em camadas para simular solos com características físicas diferentes entre si, ou solos argilosos, onde o módulo de elasticidade é assumido como variando com a profundidade, pode ser feita introduzindo-se pontos de compatibilidade de deformações entre as superfícies das camadas e utilizando a mesma formulação para o meio, exposta no Capítulo III.

A utilização de solução de Mindlin para o meio homogêneo que corresponde à força aplicada no interior de um semi-sólido infinito, seria mais econômica para o programa TELLUS. Porém a solução dada por Kelvin é mais geral e ela proporciona expressões mais simples para as tensões e deslocamentos generalizados facilitando a dedução das expressões para um momento aplicado no interior do meio (Apêndice A.III).

Um carregamento na superfície do solo poderia ser levado em consideração pela simples adição dos deslocamentos generalizados, decorrentes deste carregamento sobre o solo isolado, no vetor \underline{D}_{EC} do sistema de equações III.2.

As subrotinas TDSC e DLSC poderiam ter sido chamadas somente uma vez para todo o programa. A necessidade porém de verificar as soluções dos sistemas de equações do solo isolado, através das subrotinas TESTE2, fez com que se optasse pela chamada das subrotinas mencionadas metodicamente, afim de proporcionar menor tempo de depuração durante a programação, garantindo

tindo menos probabilidade de ocorrência de erros. A possibilidade de usar as características de simetria existentes para as tensões, na elaboração das subrotinas TDSC e DLSC foi abandonada porque dificultaria os testes efetuados durante a programação.

A generalização do programa exigiria, além das modificações já mencionadas, a consideração de um estaqueamento com qualquer geometria, a introdução de apoios elásticos na base das estacas, a introdução de outros tipos de apoio no topo das estacas, a introdução da cota da superfície superior do solo como dado de entrada variável, e outras.

Pode ser útil observar que para grandes estaqueamentos, a influência de uma estaca em uma extremidade do estaqueamento sobre uma outra oposta pode ser desprezada de tal forma que a matriz de flexibilidade possa ser transformada em uma matriz banda. Como o carregamento costuma atuar em um único plano, poder-se-ia abandonar muitas incógnitas do problema diminuindo consideravelmente o tempo de uso de máquina na execução do programa. Outra hipótese simplificadora seria a abolição de momentos como esforço de ligação entre estaca e solo pois, como já foi concluído, os momentos de ligações têm uma influência muito pequena no cômputo dos esforços finais para o estaqueamento.

A4.2 - FLUXOGRAMAS

As subrotinas foram organizadas na Tabela AIV.1 pela ordem de chamada dentro do programa. Na coluna à esquerda, estão relacionadas as subrotinas chamadas no programa principal. Nas colunas subsequentes da Tabela, estão relacionadas as subrotinas chamadas dentro da subrotina definida mais à esquerda.

Na figura AIV.1 é mostrado o fluxograma geral do programa, com as indicações das subrotinas do programa principal, associadas à cada passo de execução definido no fluxograma.

Na figura AIV.2 é mostrado um fluxograma resumido da subrotina SOLO por ser ela a mais longa de todo o programa e de difícil visualização geral.

As outras subrotinas estão suficientemente comentadas na própria listagem do programa, mostradas no final do Apêndice, não sendo necessária, portanto, a apresentação dos respectivos fluxogramas.

TABELA AIV.1 - Ordem de Chamada das Subrotinas

PROGRAMA PRINCIPAL	CHAMADAS SUBSEQUENTES			
LAYOUT INICIO FORMA RESOL CTOTAL DATASL EBLOCO RESUL	STX			
FLEX	STX DIJ STX RESULT	STX STX DIJ	STX MATRIX	
SOLO	VEIN	COOR CALC	TDKELV TDSC TDKELV COSOLO	TDKELV
	MASO	COOR COOR CALC	TDKELV TDSC TDKELV COSOLO	TDKELV
	GAMAQ TDKELV DLSC MATRIZ COOR TDKELV MATRIZ	TDKELV		
GAMASI ACSOLO	STX ACBLOC STX ESFRES DESLOC			
SAÍDA				

Figura AIV-1 - Fluxograma geral do programa

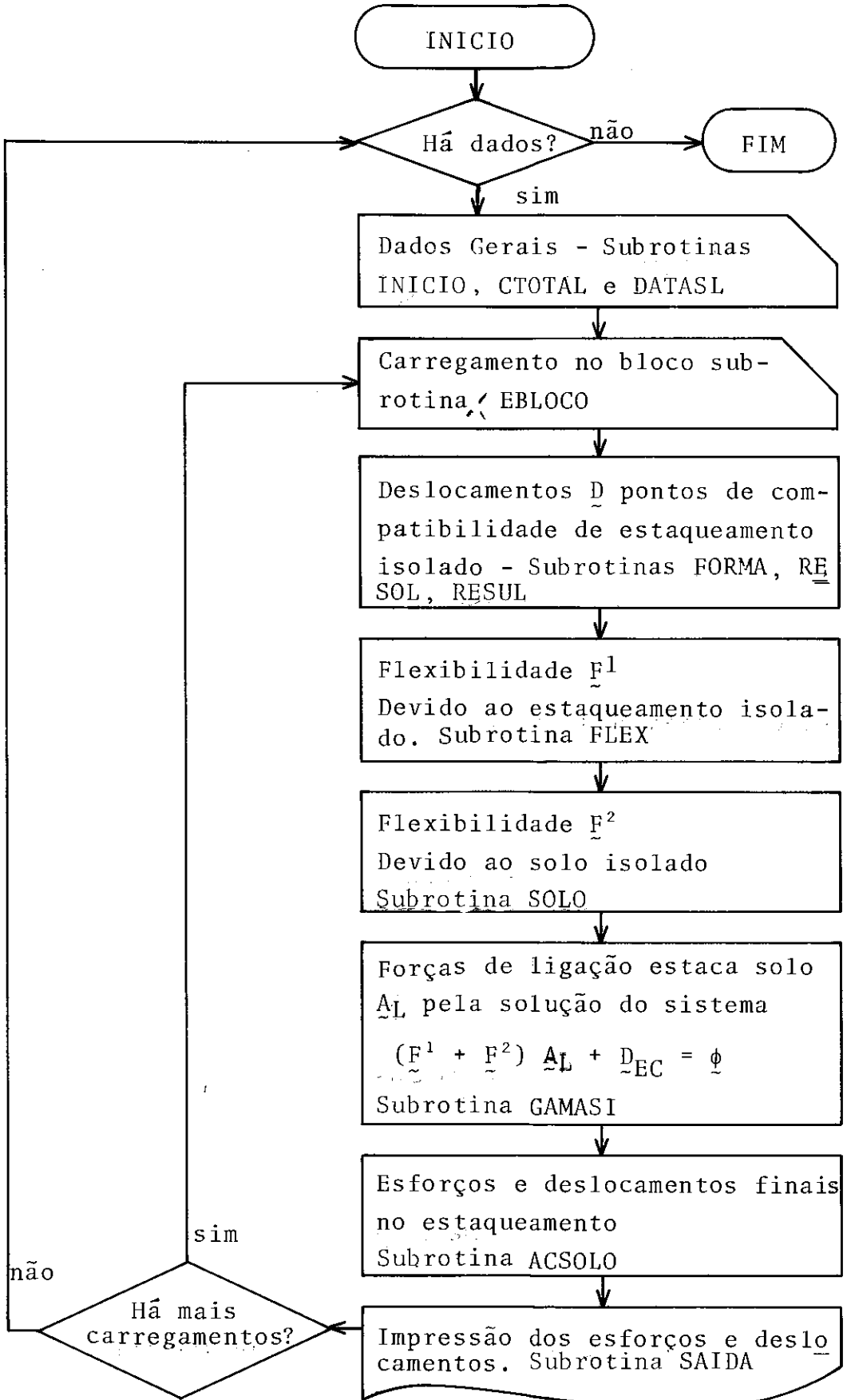
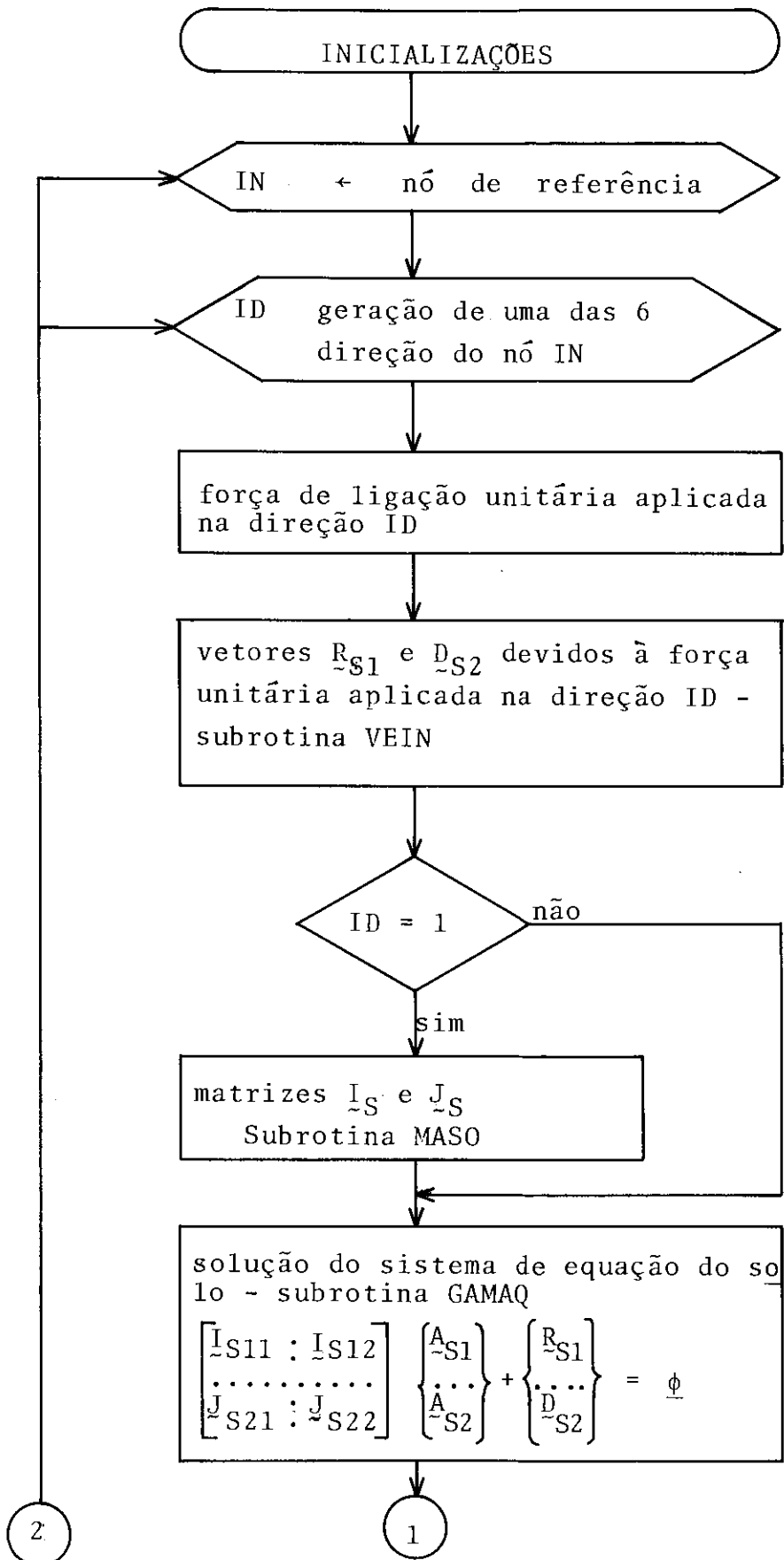
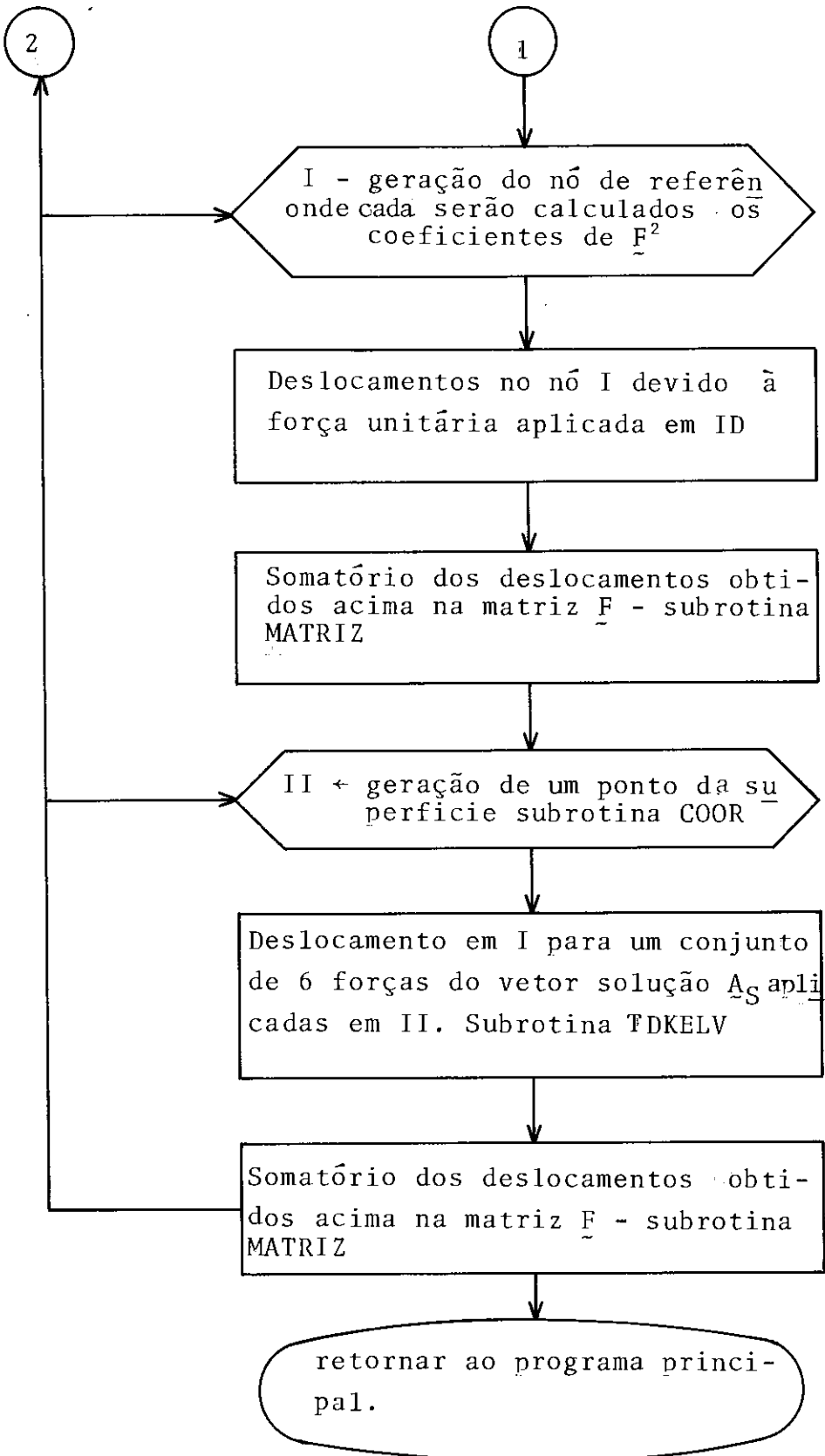


Figura AIV-2 - Fluxograma geral da Subrotina SOLO.





A4.3 - DESCRIÇÃO RESUMIDA DE CADA SUBROTINA

A4.3.1 - Subrotina Número 1 - INICIO

Nesta subrotina são feitas as leituras de entrada e as impressões dos dados físicos e geométricos do estaqueamento. Entra-se com o título geral, os dados gerais do estaqueamento comuns a todas as estacas e os parâmetros que definem a geometria e as propriedades geométricas de cada estaca.

Esta subrotina foi feita visando uma possível modificação do programa, a fim de determinar os esforços de interação entre estacas de quaisquer comprimentos e inclinações.

De acordo com as limitações impostas nesta subrotina são feitas as verificações necessárias para que os dados fornecidos não violem as suposições impostas ao programa, como a de haver somente estacas verticais de mesmo comprimento, de que a posição da origem do sistema global de coordenadas seja tal que não implique em coordenadas negativas no topo das estacas de que todas elas devem ter seus topos na mesma cota.

Ela verifica, também, se o dimensionamento prévio dos vetores e matrizes está de acordo com os dados de entrada.

A4.3.2 - Subrotina Número 2 - RESOL

Subrotina de inversão da matriz (6 x 6) de rigidez global do estaqueamento isolado, pelo método de Cholesky.

A4.3.3 - Subrotina Número 3 - STX

Esta subrotina determina as matrizes seguintes para cada estaca:

- Matriz de rigidez local para a estaca $|\underline{S}|$
- Matriz de rotação local $|\underline{T}|$
- Matriz de rotação vezes translação $|\underline{TR}|$
- Matriz $(\underline{S} \ \underline{TR})$ ou $(\underline{TR})'$, de acordo com o argumento inteiro de entrada

Os argumentos de entrada da subrotina são: número da estaca, um número inteiro que deverá ser um ou zero e que define se obtem-se, no final, $(\underline{TR})'$ ou $(\underline{S} \ \underline{TR})$, respectivamente.

As matrizes de rigidez, rotação e translação estão definidas no Apêndice AII. A matriz de rotação foi calculada visando uma possível modificação do programa e considera as estacas com comprimentos e inclinações quaisquer.

A4.3.4 - Subrotina Número 4 - FORMA

Esta subrotina determina a matriz de rigidez global do estaqueamento isolado, pela expressão geral III.8. Ela utiliza para isto a subrotina STX e por isso pode ser aplicada em estaqueamentos isolados de qualquer forma.

Além da matriz de rigidez, esta subrotina calcula as projeções das estacas no sistema de eixos global de referência.

A4.3.5 - Subrotina Número 5 - CTOTAL

Nesta subrotina são lidos os dados de entradas do número total de casos de carregamentos que se deseja calcular, subdivididos em duas partes: número de carregamentos aplicados diretamente no bloco e número de carregamentos por combinação dos carregamentos anteriores, inclusive os obtidos por combinação. O limite total é de 40 casos de carregamento.

A4.3.6 - Subrotina Número 6 - EBLOCO

Esta subrotina lê e imprime os carregamentos aplicados no bloco, um de cada vez, obtidos diretamente ou por combinação.

A4.3.7 - Subrotina Número 7 - RESUL

Soluciona o sistema de equações, (depois da chamada de RESOL), obtendo o deslocamento do bloco. Com este resultado obtêm-se os deslocamentos e ações no topo das estacas. Os deslocamentos nos nós de referência são obtidos pela chamada da subrotina DIJ antes do retorno à rotina de origem.

A4.3.8 - Subrotina Número 8 - DIJ

O argumento de chamada desta subrotina é um número inteiro que define a estaca em questão. Ela determina os deslocamentos e os esforços internos nos nós de referência da estaca, pressupondo-se conhecidas as ações generalizadas aplicadas no topo da estaca assim como em um outro ponto qualquer ao longo da estaca, trabalhando, sempre, no sistema local de coordenadas.

Os nós de referência serão os centros dos elementos, na direção do eixo x local, obtidos da divisão da estaca em partes iguais, de acordo com o dado de entrada introduzido na subrotina INICIO. Os nós de referência são numerados do topo para a base da estaca, seguindo a ordem de numeração designada para as estacas na entrada de dados do programa, como mostra a figura AIV.3. As direções de compatibilidade são numeradas seguindo a ordem de numeração dos nós de referência, de forma que o nó de referência 2 tem suas 6 componentes de deslocamento e forças possíveis numeradas de 7 a 12.

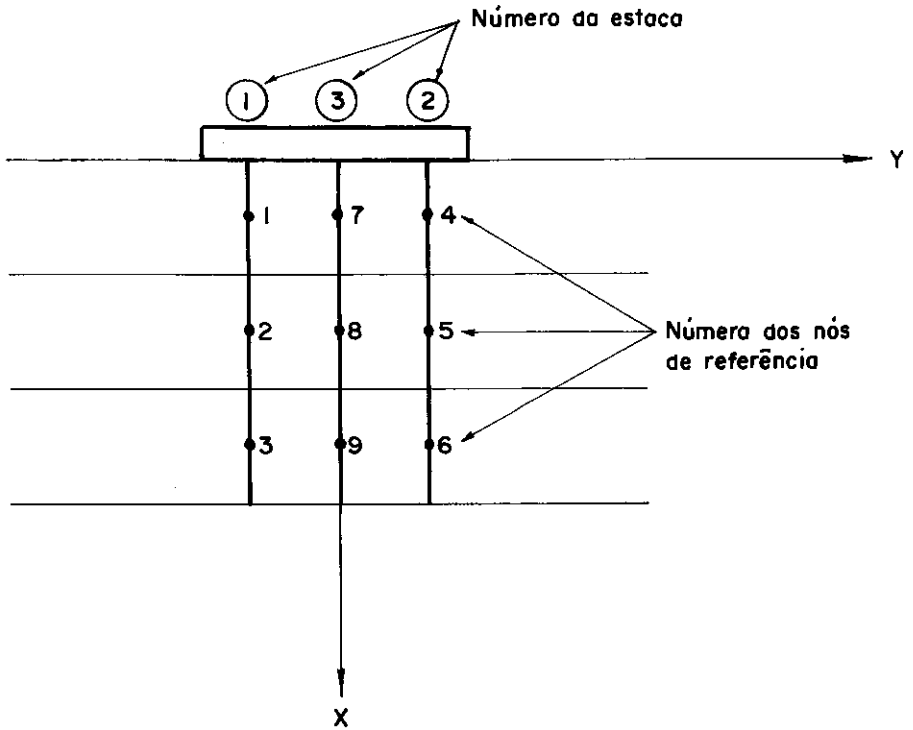


FIG. A IV.3 — Numeração dos nós de referência.

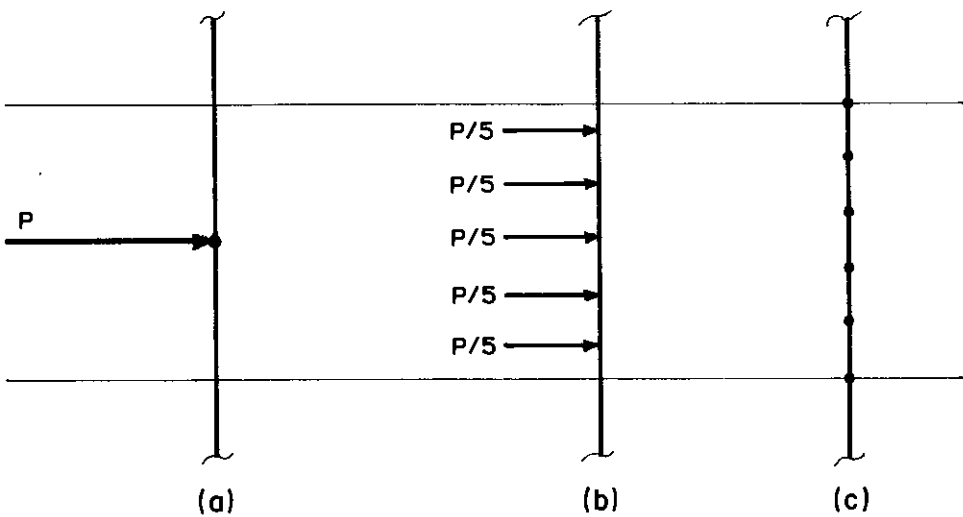


FIG. A IV.4 — Deslocamento generalizado sob carga concentrada — artifício da subrotina DLSC.

Os esforços internos nos nós de referência são determinados só para o carregamento aplicado no bloco e são guardados em disco. Os deslocamentos dos nós de referência que vão gerar o vetor independente do sistema de equações são calculados. A primeira parcela da matriz de flexibilidade referente ao estaqueamento isolado, designada por F^1 no fluxograma da figura AIV.1, é calculada e transferida à matriz total de flexibilidade do conjunto, através da subrotina MATRIZ.

A4.3.9 - Subrotina Número 9 - FLEX

Esta subrotina é responsável pela geração dos coeficientes de flexibilidade parciais (matriz F^1 , definida no fluxograma da figura AIV.1) do conjunto, referentes ao estaqueamento isolado. Ela calcula ações equivalentes no bloco, devidas a uma ação unitária aplicada em uma direção de um dos nós de referência de uma estaca, através das ações de engastamento perfeito calculadas no topo da estaca. Primeiro, as ações de engastamento perfeito são calculadas em relação aos eixos locais de coordenadas e, depois, são feitas a rotação e translação dos esforços para o centro do bloco. Os deslocamentos do bloco e as ações no topo das estacas, então, são determinados pela chamada da subrotina RESUL. A determinação dos coeficientes de flexibilidade e o seu somatório na matriz, é feita utilizando-se as subrotinas DIJ e MATRIZ chamadas através da subrotina RESUL, como está esquematizado na Tabela AIV.1.

A4.3.10 - Subrotina Número 10 - MATRIZ

Esta subrotina coloca, através de um somatório, os coeficientes de flexibilidade, calculados em outras subrotinas, nas posições correspondentes de linha e coluna da matriz. Toda vez que se chega ao final do somatório de uma submatriz, da ordem de 108 linhas pelo número de incógnitas, ela é gravada em disco. A matriz de flexibilidade fica, então, gravada em disco, particionada por linhas.

A4.3.11 - Subrotina Número 11 - DATASL

Lê e imprime todos os dados representantes do solo como um meio homogêneo: módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson, tamanho do lado da área quadrada de influência dos planos de contorno do meio e número de divisões de cada lado das áreas de influência, definindo o número de pontos onde serão feitas as compatibilidades de tensões e deslocamentos.

Uma área de influência que não cubra todos os topos das estacas, implica em uma saída pela subrotina ERRO.

A4.3.12 - Subrotina Número 12 - SOLO

Esta subrotina soluciona o problema do meio infinito limitado por dois planos, e calcula os coeficientes de flexibilidade referentes ao solo isolado (matriz parcial \tilde{F}^2 do fluxograma apresentado na figura AIV.1). Todas as tensões, deforma-

ções e ações nesta subrotina referem-se aos eixos paralelos aos eixos globais de referência, impondo ao programa as simplificações adotadas para o modelo e descritas no Capítulo III. Um fluxograma simplificado da subrotina foi apresentado na figura A.IV.2.

A4.3.13 - Subrotina Número 13 - VEIN

Ela calcula e monta o vetor independente do sistema de equações III.16 para o solo isolado em referência a eixos paralelos ao eixo global de coordenadas. Os parâmetros de entrada da subrotina são: vetor que representa as 6 componentes de força aplicada em um ponto entre os dois planos de contorno: coordenada do ponto de aplicação das forças; coordenadas X dos centros das áreas de influência dos planos de contorno superior e inferior. A geração dos pontos de compatibilidade dos planos de contorno foram feitas através da subrotina COOR.

A4.3.14 - Subrotina Número 14 - COSOLO

Os elementos de área do plano superior foram subdivididos em 16 quadrados para fins de determinação das resultantes de força e momento nos seus centros como está explicado no item A4.3.20. As tensões nestes quadrados foram consideradas constantes sobre a área. As resultantes de força e momento no centro do elemento de área, devidos àquelas tensões, são calculadas, uma a uma, pela subrotina COSOLO. O sistema de eixos de referência utilizado é o global de coordenadas.

Os parâmetros de entrada desta subrotina são: vetor onde é feito o somatório; vetor das resultantes de força; coordenada do ponto de aplicação das resultantes; coordenada do centro geométrico do elemento de área, onde serão calculadas as resultantes de momento.

A4.3.15 - Subrotina Número 15 - DLSC

Esta subrotina calcula os deslocamentos generalizados em um nó de referência do solo isolado, para uma carga uniformemente distribuída ao longo do eixo x, no espaço ocupado pelo elemento de haste cujo comportamento é representado por este mesmo nó de referência.

Os parâmetros de entrada da subrotina são: vetor resultante da ação uniformemente distribuída no nó de referência; comprimento do elemento de haste; número auxiliar que definirá se na subrotina TDKELV serão calculados tensões ou deslocamentos.

A resultante no nó de referência foi distribuída em 5 partes do elemento de haste como mostra a figura AIV.4.

Os deslocamentos generalizados foram considerados como sendo iguais à média dos deslocamentos nos pontos assinalados na figura AIV.4(c), para o carregamento da figura AIV.4(b).

Foi decidido não usar a simetria no cálculo dos deslocamentos afim de generalizar o problema para qualquer tipo de

carregamento sem complicar, demasiadamente, a programação.

A4.3.16 - Subrotina Número 16 - TDKELV

Determina tanto as resultantes de força das tensões que atuam em um elemento de área quadrado, considerando que as tensões sobre esta área são constantes e iguais à tensão no seu centro de gravidade, como os deslocamentos generalizados em um ponto, para uma ação qualquer aplicada em um outro ponto distinto, no interior de um sólido infinito.

Os argumentos de chamada da subrotina são: vetor da ação generalizada aplicada no interior do meio; lado da área; número inteiro que indica se deseja-se calcular tensões ou deslocamentos; coordenadas do ponto onde será calculada a tensão ou deslocamento, considerando que o centro dos eixos de coordenadas, paralelo ao global, estará sempre fixado no ponto de aplicação da ação generalizada.

A4.3.17 - Subrotina Número 17 - TDSC

Esta subrotina utiliza uma solução numérica simples para aplicar a expressão III.19, calculando a média das tensões ou deslocamentos sobre um dos elementos da área de influência dos planos de contorno, para uma carga distribuída aplicada sobre o mesmo elemento de área. Para isto foi fixada uma divisão de elemento de área em 16 quadrados como mostra a figura AIV.5. A carga foi distribuída nos centros destes quadrados e os deslocamen-

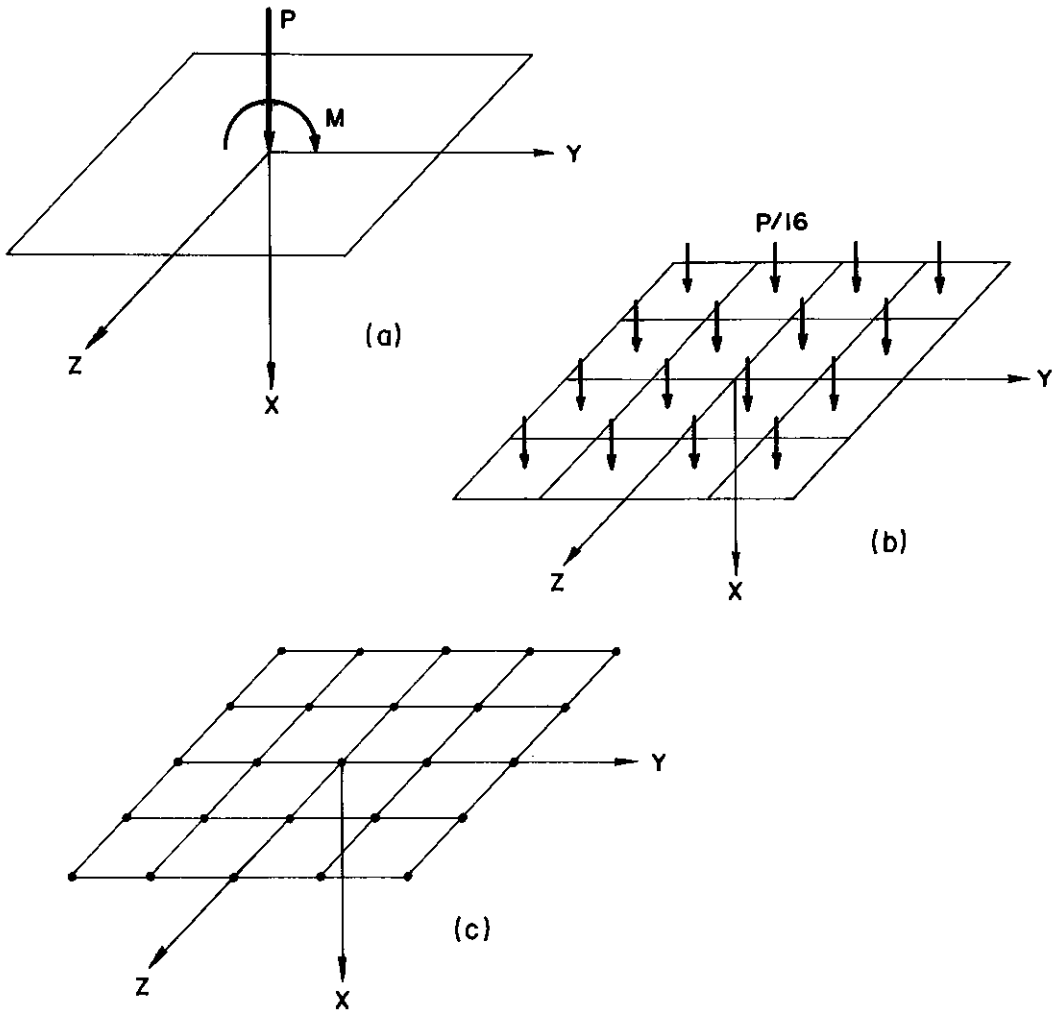


FIG. A IV.5 — Deslocamento sob carga concentrada aplicada no plano de contorno inferior — subrotina TDSC.

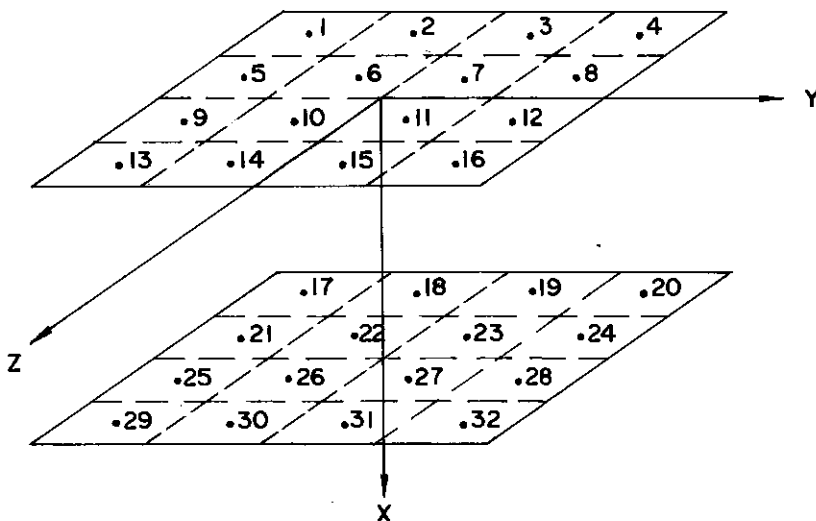


FIG. A IV.6 — Pontos de compatibilidade nos áreas de influência dos planos de contorno.

tos e as tensões foram calculados nos pontos de interseção das áreas, como mostra a figura AIV.5(c). No programa esta subrotina só foi utilizada para o cálculo de deformações generalizadas.

Foi decidido não usar a simetria de deslocamentos sobre a área, no cálculo destes deslocamentos, afim de generalizar o problema para qualquer tipo de carregamento aplicado, simplificando a programação.

Os parâmetros de entrada nesta subrotina são: vetor de ação generalizada aplicada no centro do elemento de área; comprimento do lado do quadrado que forma a área; índice indicador de determinação de deslocamentos, para entrada na subrotina TDKELV.

A4.3.18 - Subrotina Número 18 - ACBLOC

Calcula as ações equivalentes sobre o bloco de coroamento devidas às forças de ligação entre a estaca e o solo aplicadas em um nó de referência, a partir das ações de engastamento perfeito no topo da estaca carregada. As ações de engastamento no topo da estaca são guardadas em um vetor no final da subrotina.

Os parâmetros de chamada da subrotina são: vetor de ações no nó de referência; coordenada do nó de referência; índice que define a estaca; comprimento da estaca; e vetor de ações equivalentes.

A4.3.19 - Subrotina Número 19 - SAIDA

Subrotina de saída dos seguintes resultados: esforços internos e deslocamentos generalizados nos nós de referência de cada estaca.

A4.3.20 - Subrotina Número 20 - CALC

Calcula a reação ou o deslocamento em um ponto de compatibilidade da área de influência superior ou inferior, observando que pode-se ter 4 tipos de determinações:

- i) dois tipos de determinações no plano de compatibilidade superior: cálculo de reações nos pontos de compatibilidade devidas a uma ação aplicada em outro ponto distinto de um dos dois planos de contorno, através das subrotinas TDKELV e COSOLO, ou as reações sob carga concentrada, pelas expressões III.18.
- ii) dois tipos de determinações no plano de compatibilidade inferior: cálculo dos deslocamentos em um nó de compatibilidade devidos a uma ação aplicada em um outro ponto distinto de uma das duas superfícies, através da subrotina TDKELV ou os deslocamentos sob carga concentrada através da subrotina TDSC.

Os parâmetros de chamada desta subrotina são: vetor de ações generalizadas; lado da superfície quadrada; coorde-

nada do ponto, em relação à origem de um sistema de eixos cartesianos, paralelos ao global, com sua origem fixada no ponto de aplicação das ações generalizadas; vetor que transmite o resultado de volta à rotina fonte; número indicador da superfície onde deseja-se calcular os efeitos de reações ou deslocamentos.

A4.3.21 - Subrotina Número 21 - ACSOLO

Esta subrotina calcula as ações no topo das estacas, devidas à aplicação sobre o estaqueamento isolado das forças de ligação entre as estacas e o solo assim como os esforços e deslocamentos generalizados finais fornecendo, assim, a solução para o problema interativo entre estacas em meio homogêneo.

A4.3.22 - Subrotina Número 22 - COOR

Esta subrotina gera as coordenadas dos pontos de compatibilidade das superfícies nos eixos Y e Z globais, conhecidas as coordenadas anteriores. O centro da área de influência foi fixado, para isto, no eixo X do sistema global de coordenadas. O centro dos elementos de área, obtidos pela divisão da área de influência em quadrados menores de acordo com o dado introduzido no programa pela subrotina DATASL, serão os pontos de compatibilidade de tensões ou deslocamentos dos planos de contorno. Os pontos de compatibilidade nos planos foram numerados na ordem mostrada na figura AIV.6, assim como as seis direções por ponto, de maneira que o nó 20 da figura AIV.6, por exemplo, tem suas direções numeradas de 55 a 60.

Os parâmetros de chamada são: comprimento do lado da área de influência quadrada; número de divisões de cada lado da área; número do nó para o qual deseja-se calcular a coordenada; vetor de coordenadas do nó anterior; e coordenada do centro geométrico dos planos de contorno superior e inferior (dois parâmetros).

A4.3.23 - Subrotina Número 23 - LAYOUT

Subrotina de impressão de informações sobre a procedência do programa.

A4.3.24 - Subrotina Número 24 - ERRO

Subrotina que imprime o número de linha de uma subrotina onde ocorreu um erro na entrada de dados, indicando que as limitações impostas foram desrespeitadas.

A4.3.25 - Subrotina Número 25 - GAMAQ

Subrotina de resolução, pelo método de Gauss, de sistemas de equações, com a matriz dos coeficientes não simétricos, toda armazenada na memória principal. Esta subrotina basea da no trabalho de Soriano³², lê em disco a matriz dos coeficientes, armazenada como explicado no item A4.3.26.

Os parâmetros de chamada da subrotina são: matriz dos coeficientes; número de vetores independentes; índice que

define se a matriz dos coeficientes já foi triangularizada anteriormente.

A4.3.26 - Subrotina Número 26 - MASO

Calcula os coeficientes e monta a matriz mista do solo isolado que formará o sistema de equações III.16. Os parâmetros de entrada são as coordenadas dos centros das áreas de influência que formam o contorno do meio. A matriz é gravada em disco e particionada por linhas. Cada bloco gravado contém 108 linhas da matriz com excessão do último. A geração dos pontos do plano de contorno é feita através da subrotina COOR.

A4.3.27 - Subrotina Número 27 - GAMASI

Resolve, pelo método de Gauss, um sistema de equações com a matriz dos coeficientes não simétrica e toda armazenada na memória principal.

Esta subrotina, baseada no trabalho de Soriano³², lê em disco a matriz dos coeficientes armazenada como está descrito no item A4.3.10 e é semelhante à subrotina GAMAQ.

Seus parâmetros de chamada são: matriz dos vetores independentes; número de vetores independentes; índice que define se a matriz dos coeficientes já foi triangularizada.

A4.3.28 - Subrotina Número 28 - ESFRES

Subrotina de cálculo dos esforços internos nos nós de referência de uma estaca isolada devidos a ação do solo sobre o estaqueamento isolado, sendo conhecidas as ações no topo da estaca, e assim como as forças de ligação entre a estaca e o solo.

Os parâmetros de entrada desta subrotina são: vetor de ações no topo da estaca; número da estaca; comprimento da estaca.

A4.3.29 - Subrotina Número 29 - DESLOC

Ela calcula os deslocamentos generalizados nos nós de referência de uma estaca isolada devidos ao carregamento do solo sobre o estaqueamento, sendo conhecidas as ações generalizadas no topo da estaca e as forças de ligação entre a estaca e o solo.

Os parâmetros de chamada da subrotina são: vetor de ações no topo da estaca; número da estaca; comprimento da estaca.

A4.4 - MANUAL DE UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA TELLUS

A4.4.1 - Comentários Gerais

A entrada de dados deve ser feita com cartões perfurados e organizados obedecendo à ordem do item A4.4.2. As uni-

dades de entrada do programa devem ser quaisquer, desde que sejam coerentes. Na tabela de saída de resultados do programa, os deslocamentos e os esforços referem-se ao sistema local de eixos coordenados cartesianos.

As propriedades físicas são as mesmas para todas as estacas. O sistema de eixos que deverá ser escolhido para definir o estaqueamento deve ter o plano $\bar{Y}\bar{Z}$ na superfície do bloco de coroamento e a sua origem deverá estar no centro do bloco com o eixo X orientado para baixo. Este será o sistema global de coordenadas (figura III.7). O sistema local de eixos cartesianos será coincidente com os eixos principais de inércia, com o eixo \underline{x} orientado para baixo, definido pelos seus cosenos diretores, pelo ângulo que o plano $\bar{Y}\bar{Z}$ do sistema global de coordenadas faz com o eixo principal de inércia y, e com sua origem fixada no topo da estaca. Para o programa TELLUS, os eixos locais e globais serão sempre paralelos. Portanto, todos os ângulos e tangentes terão entradas nulas do programa, como está marcado no item A4.3.2. As estacas devem ter todas o mesmo comprimento.

As estacas estarão engastadas no bloco e no solo e os planos de contorno do solo coincidirão com o plano que contém os topos e as bases das estacas, como está esquematizado na figura III.7.

As áreas de influência consideradas para os planos de contorno superior e inferior do solo deverá conter todos os topos das estacas, como mostra a figura A.IV.7. Elas serão centra

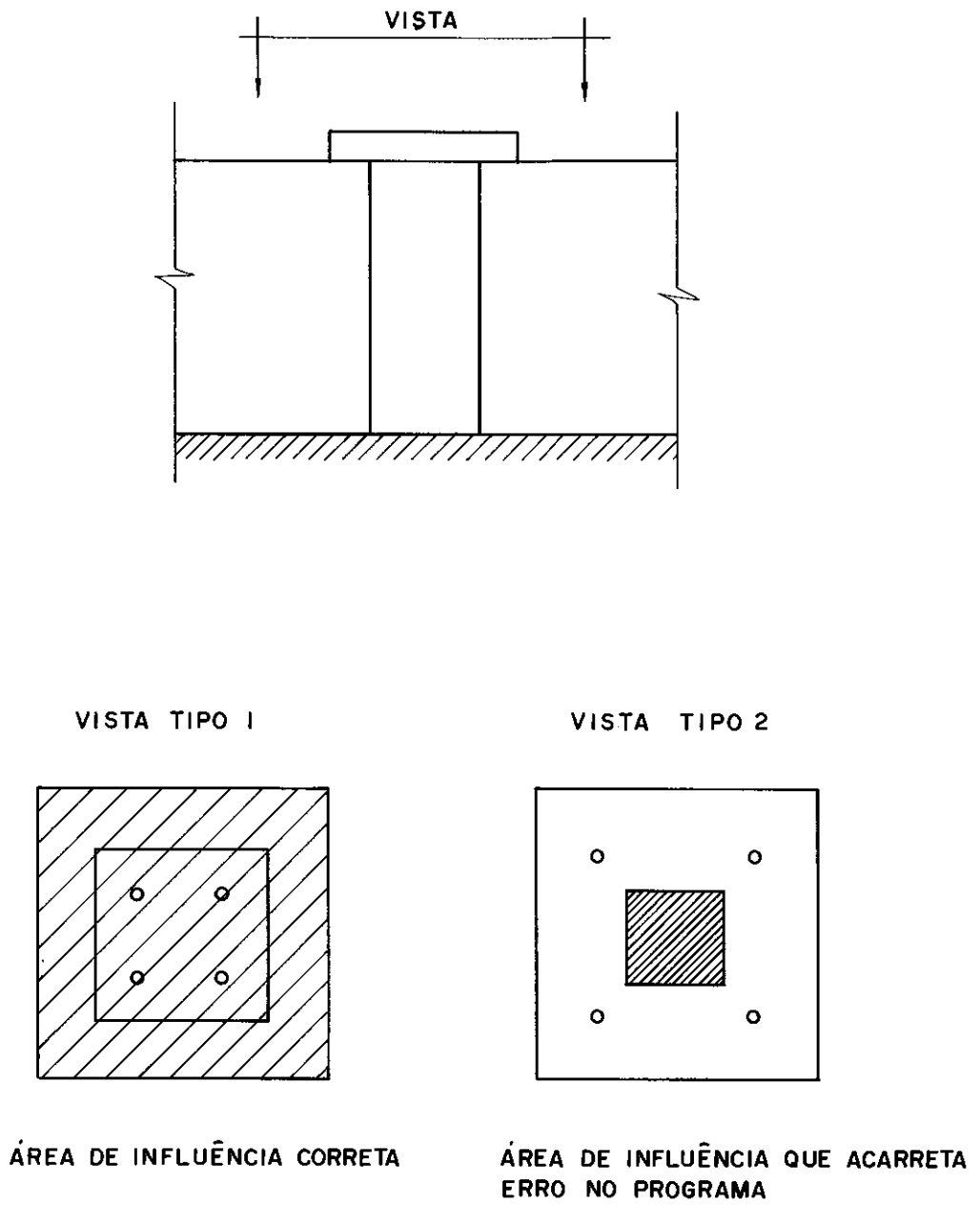


FIG. A IV.7 — Dimensionamento correto da área de influência considerada para os planos de contorno.

das no eixo X do sistema global de coordenadas, pelo programa, e serão consideradas quadradas. O dado de entrada prescrito na subrotina DATASL, é o lado da área quadrada a ser considerada.

Qualquer entrada de dado que viole alguma imposição geométrica aqui definida acarretará em uma saída pela subrotina ERRO, apontando a linha da subrotina onde ocorreu a violação. O programa ainda impõe através dos comandos "COMMON" e do número máximo de variáveis permitidas na memória central do computador utilizado, as seguintes limitações:

- i) o número máximo de estacas vezes o número de nós de referência não deverá ultrapassar 42 ($NE \times NDE \leq 42$);
- ii) número máximo de divisões de um dos lados da superfície de contorno do solo igual a 4 ($NDS \leq 4$); e
- iii) número máximo de casos de carregamento igual a 40.

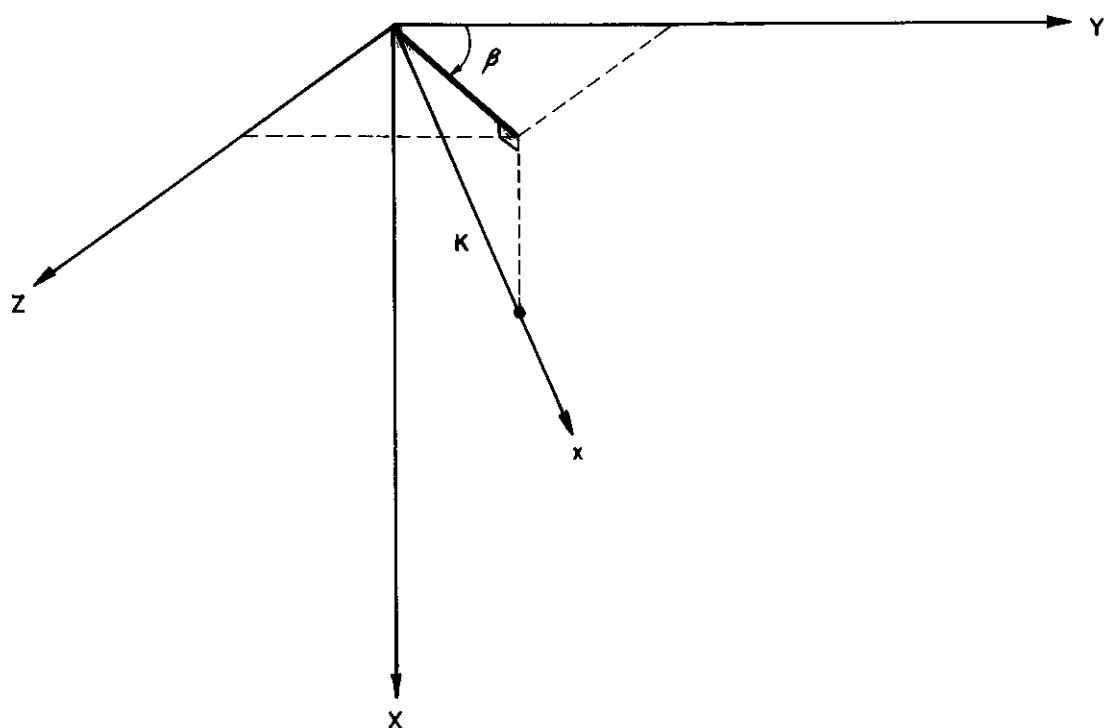


FIG. AIV.8 — Ângulo que o semi eixo global Y faz com a projeção da estaca K no plano \overline{YZ} .

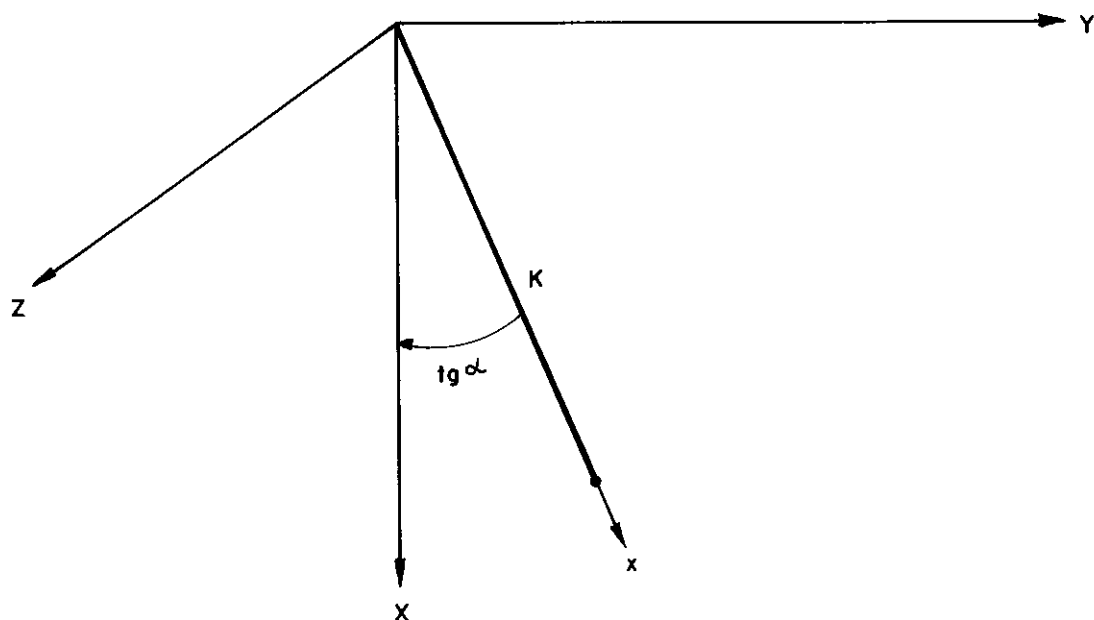


FIG. AIV.9 — Tangente do ângulo que a estaca K faz com o eixo global X.

A.4.4.2 - ENTRADA DE DADOS POR CARTÕESi) Dados Básicos do Estaqueamento:

Nº DE CARTÕES	FORMAT	COLUNAS PERFURADAS	DADO
1	18A4	1 a 72	TÍTULO GERAL (qualquer caráter alfa- numérico)
1	I10	1 a 10	Número de estacas (NE)
	F10.0	11 a 12	Módulo de elasticidade da estaca E
	F10.0	21 a 30	Módulo de elasticidade transversal da estaca G
	I10	31 a 40	Número de nós de referência por esta- ca NDE

ii) Definição Geométrica do Estaqueamento:

Nº DE CARTÕES	FORMAT	COLUNAS PERFURADAS	DADO
NE	I10	1 a 10	Número de estaca K
	I10	11 a 20	Coordenada X global do topo da estaca K
	F10.0	21 a 30	Coordenada Y global do topo da estaca K
	F10.0	31 a 40	Coordenada Z global do topo da estaca K
	F10.0	41 a 50	Comprimento da estaca K
	F10.0	51 a 60	Ângulo em graus do semi-eixo global Y com a projeção da estaca K no plano YZ global: (por imposição nulo), Fi- gura A.V.8
	F10.0	61 a 70	Tangente do ângulo de inclinação da estaca K com o eixo X global. (por im- posição nulo), figura A.V.9.

iii) Propriedades Geométricas das Estacas

Nº DE CARTÕES	FORMAT	COLUNAS PERFURADAS	DADO
Quantos forem necessários	I10	1 a 10	Estaca inicial
	I10	11 a 20	Estaca final
	F10.5	21 a 30	Área da seção transversal das estacas Ax
	F10.5	31 a 40	Momento de inércia à torção, Ix
	F10.5	41 a 50	Momento de inércia à flexão IY, em relação ao eixo principal da inércia Y
	F10.5	51 a 60	Momento de inércia à flexão Iz, em relação ao eixo principal de inércia z
	F10.5	61 a 70	Ângulo em graus que o plano YZ global faz com o eixo principal de inércia y (por imposição nulo)

iv) Número de Carregamentos

Nº DE CARTÕES	FORMAT	COLUNAS PERFURADAS	DADO
1	I10	1 a 10	Número de casos de carregamentos aplicados diretamente no bloco, NCA
	I10	11 a 20	Número de casos de carregamento por combinação dos carregamentos anteriores, NCO

v) Dados Físicos e Geométricos do Solo

Nº DE CARTÕES	FORMAT	COLUNAS PERFURADAS	DADO
1	F10.2	1 a 10	Coeficiente de Poisson do solo, Ps
	F10.0	11 a 20	Módulo de elasticidade do solo, Es
	F10.2	21 a 30	Lado da área de influência da superfície de contorno do solo, DAS
	I10	31 a 40	Número de divisões por cada lado da área de influência da superfície do solo, NDS

vi) Para cada caso de carregamento dado pelos esforços aplicados diretamente no bloco, fornecer o seguinte conjunto de cartões:

Nº DE CARTÕES	FORMAT	COLUNAS PERFURADAS	DADO
1	18A4	1 a 72	Título do carregamento (qualquer caráter alfanumérico)
1	F10.0	1 a 10	Força normal na direção X global
	F10.0	11 a 20	Força horizontal na direção Y global
	F10.0	21 a 30	Força horizontal na direção Z global
	F10.0	31 a 40	Momento torsor em torno de X global
	F10.0	41 a 50	Momento em torno de Y global
	F10.0	51 a 60	Momento em torno de Z global

vii) Para cada caso de carregamento obtido pela combinação de qualquer carregamento anterior, inclusive os já obtidos por combinação, fornecer o seguinte conjunto de cartões

Nº DE CARTÕES	FORMAT	COLUNAS PERFURADAS	DADO
1	18A4	1 a 72	Título do carregamento (qualquer caráter alfanumérico)
1	2I10	1 a 20	Número de carregamento que serão combinados, NC
quantos forem necessários	I10	1 a 10	Número do carregamento
	F10.0	11 a 20	Fator pelo qual será multiplicado
	I10	21 a 30	Número do carregamento
	F10.0	31 a 40	Fator pelo qual será multiplicado
	I10	41 a 50	Número do carregamento
	F10.0	51 a 60	Fator pelo qual será multiplicado
	I10	61 a 70	Número do carregamento
	F10.0	71 a 80	Fator pelo qual será multiplicado

A4.5 - Listagem do Programa

=====

INTERACAO ENTRE ESTACAS EM MEIO HOMOGENEO

=====

BLOCO INFINITAMENTE RIGIDO

ESTACAS VERTICAIS DE MESMO COMPRIMENTO

ESTACAS ENGASTADAS NA SUPERFICIE INFERIOR DO SOLO

E MODULO DE ELAST DAS ESTACAS

G MODULO A TORCAO DAS ESTACAS

NCA NUM DE CARREGAMENTOS COM ESFORCO APL NO BLOCO

NCO NUMERO DE CARREG OBTIDOS POR COMBINACAO

NE NUMERO DE ESTACAS

R (6,6) [T]*[S]*[T]

X (10) COORDENADA DO TOPO DE ESTACA - EIXO GLOBAL

Y (10) COORDENADA DO TOPO DE ESTACA - EIXO GLOBAL

Z (10) COORDENADA DO TOPO DE ESTACA - EIXO GLOBAL

DX (10) COMO ENTRADA DE DADOS = COMPRIMENTO DA ESTACA

DX (10) COMPRIMENTO DA ESTACA PROJETADO NO EIXO X

DY (10) COMO ENTRADA DE DADOS = ANGULO ENTRE A

PROJECAO HORIZONTAL (YZ) DA ESTACA E O

SEMI-EIXO POSITIVO Y GLOBAL EM GRAUS

DY (10) COMPRIMENTO DE ESTACA PROJETADO NO EIXO Y

OZ (10) COMO ENTRADA DE DADOS = TANGENTE DO ANGULO

DE INCLINACAO DA ESTACA COM O EIXO VERTICAL X

DZ (10) COMPRIMENTO DE ESTACA PROJETADO NO EIXO Z

BETA (10) ANGULO DE ROTACAO EM TORNO DO EIXO LOCAL

X' DE ESTACA PARA QUE Y' E Z' LOCAIS FI-

QUEM RESPECTIVAMENTE NOS PLANOS XY E XZ

DO EIXO GLOBAL DE REFERENCIA

AX (10) AREA DA SECAO TRANSVERSAL DE ESTACAS

XI (10) MOMENTO DE INERCIA A TORCAO - EM TORNO DE X'

YI (10) MOMENTO DE INERCIA A FLEXAO - EM TORNO DE Y'

ZI (10) MOMENTO DE INERCIA A FLEXAO - EM TORNO DE Z'

IR CONDICAO DE EXTREMIDADE - IR=1 ENGASTE NO SOLO

ROTULA NO BLOCO - IR=2 ENGASTE NO SOLO E BLOCO

O PROGRAMA CONSIDERA ENGASTE NA EXTREMIDADE

INFERIOR DA ESTACA E NA SUPERFICIE DE LIMITACAO

INFERIOR DO SOLO

T (6,6) MATRIZ DE ROTACAO DE UMA ESTACA

TR (6,6) MATRIZ DE (ROTACAO * TRANSLACAO) DE ESTACAS

S (6,6) MATRIZ DE RIGIDEZ LOCAL DE ESTACAS

ST (6,6) [S]*[TR]

XL 1/COMPRIMENTO DA ESTACA

NDE NUMERO DE DIVISOES DA ESTACA

NT NUMERO TOTAL DE CARREGAMENTO

ES (40,6) ESFORCO APL NO BLOCO PARA NO MAXIMO 40 CARREGA-

MENTOS - SERAO GUARDADOS PARA AS COMBINACOES

EB (6) ESFORCO NO BLOCO PARA CADA CASO DE CARREG

E PARA FORCAS UNITARIAS APLICADAS NOS NOS

DE REFERENCIA

KC CONTADOR PARA NUMERO DE CASOS DE CARR

EU (10,6) ESFORCO UNITARIO APL EM UM NO DE REF

CONSIDERANDO NO MAXIMO 10 ESTACAS

XEU COORDENADA DO NO DE REF DE APL DE EU

AT (6) ESFORCO APL NO TOPO DA ESTACA

DK (600) VETOR DOS DESLOCAMENTOS NOS NOS DE REF DEVIDO

DEVIDO AO CARR APL NO SISTEMA PRINCIPAL

C	FK (30,600)	PARTE DA MATRIZ DE FLEXIBILIDADE DO SISTEMA
C		ESTAQUEAMENTO/SOLO EM PRECISAO SIMPLES.
C	DKD (600)	VETOR DOS DESLOCAMENTOS NOS NOS DE REF
C		DEVIDO AO CARR APL NO SISTEMA PRINCIPAL
C		EM DUPLA PRECISAO PARA USO NA SUBRT GAUSS.
C	FKD (30,600)	PARTE DA MATRIZ DE FLEXIBILIDADE DO SISTEMA
C		ESTAQUEAMENTO/SOLO EM DUPLA PRECISAO
C		PARA USO NA SUBROTINA GAUSS.
C	KDI	INDICE DA DIRECAO NA MATRIZ ESTAQUEAMENTO-SOLO
C		DA ACAO UNITARIA APLICADA NO NO! DE REFERENCIA
C	PS	COEFICIENTE DE POISSON DO SOLO
C	ESOLO	MODULO DE ELASTICIDADE DO SOLO
C	DAS	LADO DO QUADRADO DE INFLUENCIA DAS SUPERFICIES
C		SUPERIORES E INFERIORES DE LIMITACAO DO SOLO
C	NDS	NUMERO DE DIVISDES DE DAS
C	NI	NUMERO DE INCOGNITAS DO SISTEMA
C	IN	NUMERO DO FILE DA ENTRADA DE DADOS
C	JOUT	NUMERO DO FILE DE SAIDA
C	NLB	NUMERO DE LINHAS POR BLOCO GRAVADOS EM
C		DISCO DA MATRIZ DE FLEXIBILIDADE EST-SOLO(FK)
C	NTB	NUMERO TOTAL DE BLOCOS GRAVADOS EM
C		DISCO DA MATRIZ DE FLEXIBILIDADE EST-SOLO(FK)
C	NLUB	NUMERO DE LINHAS DO ULTIMO BLOCO GRAVADOS EM
C		DISCO DA MATRIZ DE FLEXIBILIDADE EST-SOLO(FK)
C	IEO	VETOR DOS ESFORCOS DEVIDO AO CARREGAMENTO NO
C		SISTEMA PRINCIPAL
C	IARG1	INDICE DO ARQUIVO DE ARMAZENAMENTO DA MATRIZ
C		DE FLEXIBILIDADE DO SISTEMA ESTAQUEAMENTO-SOLO
C	ISOLO1 , ISOLO2	INDICES DOS ARQUIVOS DE ARMAZENAMENTO DA MATRIZ
C		DOS COEFICIENTES DO SOLO
C	NIS	NUMERO DE INCOGNITAS DA MATRIZ DO SOLO
C	NLBS	NUMERO DE LINHAS POR BLOCO DA MATRIZ DO SOLO
C	NTBS	NUMERO TOTAL DE BLOCOS DA MATRIZ DO SOLO
C	NLUBS	NUMERO DE LINHAS DO ULTIMO BLOCO PARA A
C		MATRIZ DO SOLO
C	COE	REACAO OU DESLOCAMENTO EM UM NO! DEVIDO A UM
C		CARREGAMENTO EM UM PONTO QUALQUER
C	TD	TENSAO OU DESLOCAMENTO EM UM PONTO QUALQUER
C		SOLUCAO DO PROBLEMA DE KELVIN
C	IEFE	INDICE DE EFEITO EM UMA DIRECAO DO NO! (INDICE
C		DE LINHA) NA MATRIZ DO SOLO
C	ICAUSA	INDICE DE CAUSA (INDICE DE COLUNA) DEVIDO A
C		UM ESFORCO UNITARIO APLICADO NA DIRECAO DE
C		UM NO! PARA A MATRIZ DO SOLO
C	IPOS	INDICE DE POSICAO DA LINHA DOS COEFICIENTES DE
C		FLEXIBILIDADE NA MATRIZ DE TRABALHO FK
C	IPOSS	INDICE DE POSICAO DA LINHA NA MATRIZ DE TRABA-
C		LHO CSI DO SOLO
C	ZZ	COORDENADA DE UM PONTO EM RELACAO A CARGA
C		APLICADA EM OUTRO PONTO-COORDENADA PARALELA
C		AO EIXO GLOBAL
C	CSO	VETOR INDEPENDENTE DO SOLO EM PRECISAO SIMPLES
C	CSI	MATRIZ DE TRABALHO DO SISTEMA DE EQUACOES
C	CSOD	VETOR INDEPENDENTE DO SOLO EM DUPLA PRECISAO
C		PARA USO NA SUBROTINA GAUSS.
C	CSID	MATRIZ DE TRABALHO DO SISTEMA DE EQUACOES
C		DO SOLO EM DUPLA PRECISAO (USO NA SUBRT GAUSS)
C	CL	COMPRIMENTO DAS ESTACAS QUE PARTICULARMENTE

```

C
C      AREA      NESTE PROGRAMA DEVEM SER IGUAIS
C      TAMANHO DA DIVISAO DA SUPERFICIE DO MEIO
C      HOMOGENEO DIVIDIDO POR 4. A AREA REAL SERA
C      ESTA AREA ELEVADA AO QUADRADO.
C      CONS      E' O LADO DA DIVISAO DA SUPERFICIE = DAS/NDS
C
CI *** INICIO DE VERIFICACAO *****
C      TP      TEMPO DE PROCESSAMENTO DECORRIDO
C      TIO     TEMPO DE ENTRADA E SAIDA DECORRIDO
C      VERIF   VETOR DE OPCAD PARA VERIFICACOES DA EXE-
C      CUCAO DO PROGRAMA EM CERTAS PARTES - SE 0,
C      A EXECUSSAO NAO SERA FEITA ;SE 1,EXECUTA
C      VR      VETOR DE DOS TERMOS INDEPENDENTES DO SOLO
C      PARA POSTERIOR VERIFICACAO COM CR
C      CR      VETOR SOLUCAO DA MULTIPLICACAO DA MATRIZ
C      DOS COEFICIENTES DO SOLO COM O VETOR SOLUCAO
C      DO SISTEMA DE EQUACOES DO SOLO
C
CF *** FINAL DE VERIFICACAO *****
C
FILE 2 ( KIND      = CARDS )
FILE 3 = IMPRESS
- UNIT      = PRINTER
FILE 5 ( KIND      = PACK ,
- FAMILYNAME = "PACK",
- TITLE      = "DATA/E0/1EST" ,
- MAXRECSIZE = 6 ,
- BLOCKSIZE  = 6 ,
- AREAS      = 1 ,
- AREASIZE   = 1 ,
- FLEXIBLE   = .TRUE. )
FILE 7 ( KIND      = PACK ,
- FAMILYNAME = "PACK" ,
- TITLE      = "DATA/FK/1ESTACA",
- AREAS      = 1 ,
- AREASIZE   = 1 ,
- MAXRECSIZE = 24 ,
- BLOCKSIZE  = 24 ,
- FLEXIBLE   = .TRUE. )
FILE 8 ( KIND      = PACK ,
- FAMILYNAME = "PACK" ,
- TITLE      = "DATA/KR5/MASO" ,
- AREAS      = 1 ,
- FILETYPE   = 7 )
FILE 9 ( KIND      = PACK ,
- FAMILYNAME = "PACK" ,
- TITLE      = "IND/TROCA" ,
- AREAS      = 1 ,
- AREASIZE   = 1 ,
- MAXRECSIZE = 1 ,
- BLOCKSIZE  = 1 ,
- FLEXIBLE   = .TRUE. )
C
CI *** INICIO DE VERIFICACAO *****
C
FILE 11 ( KIND      = PACK ,
- FAMILYNAME = "PACK" ,

```

```

- TITLE = "DATA/VEIN",
- MAXRECSIZE = 192 ,
- BLOCKSIZE = 192 ,
- FLEXIBLE = .TRUE. )
FILE 12 ( KIND = PACK ,
- FAMILYNAME = "PACK" ,
- TITLE = "VETORDK" ,
- MAXRECSIZE = 240 ,
- BLOCKSIZE = 240 ,
- FLEXIBLE = .TRUE. )

C
CF *** FINAL DE VERIFICACAO *****
C
C      USO DE PRECISAO DUPLA
C      IMPLICIT REAL*8 ( A-H,O-Z )
C
COMMON/UM/      E , G , NCA , NCO , R(6,6) , X(50) , Y(50) , Z(50) ,
-              DX(50) , OY(50) , DZ(50) , BETA(50) , AX(50) , XI(50) ,
-              YI(50) , ZI(50) , IR , T(6,6) , S(6,6) , ST(6,6) ,
-              TR(6,6) ,
-              XL , NT , ES(40,6) , EB(6) , KC , EU(50,6) , XEU ,
-              AT(6) , KOI , PS , ESOLO , DAS , NDS
COMMON/DUIS/     NE , NDE
COMMON/TRES/     FK(104,600)
COMMON/QUATRO/   DK(600)
COMMON/CINCO/    IN , JOUT , IARQ1 , IEQ , ISOLO1 , ITROCA
COMMON/SEIS/     NI , NLB , NTB , NLUR , IREC , IPOS
COMMON/RETAL2/   FLEXI (252,252)
COMMON/RETAL4/   ACAO(300) , DVI(252) , DN(252) , ER(252)

C
CI *** INICIO DE VERIFICACAO *****
C
COMMON/ONZE/     VERIF(80)
C
C      DEFINICAO DO VETOR DE VERIFICACAO DOS RESULTADOS
C      -----
C
DO 100 L          = 1, 80
  VERIF (L) = 0.0
100 CONTINUE
C
C      SOLO - VERIFICACOES DIVERSAS
C      VERIF (1) = 0.0
C      USO DAS SUBRT. TESTE1 E TESTE2
C      VERIF (2) = 0.0
C      IMPRESSAO DOS 6 PRIMEIROS VETORES SOLUCAO DO SOLO
C      VERIF (3) = 0.0
C      IMPRIME TODOS OS VETORES INDEPENDENTES DO SOLO
C      VERIF (4) = 0.0
C      FECHA (CLOSE) OS ARQUIVOS COM A MATRIZ E VETOR DO SOLO E
C      A PRIMEIRA PARCELA DOS COEFICIENTES DA MATRIZ GLOBAL E DK 0
C      VERIF (8) = 0.0
C      MULTIPLICA A SOLUCAO DO SOLO PELA MATRIZ E COMPARA COM CSO
C      VERIF (10) = 0.0
C      IMPRESSAO DA MATRIZ DO SOLO
C      VERIF (20) = 0.0
C      SIMET - IMPRESSAO DA MATRIZ PARA VERIFICAR SIMETRIA
C      VERIF (9) = 0.0

```

```

C      RESUL  = DESLOCAMENTO DO BLOCO E TOPO DE ESTACA
C      - OU UTILIZA CHAVES DE VERIFICACAO 11 E 12, OU A 15
C      VERIF (11) = 0.0
C      DIJ  = VERIFICACOES DIVERSAS - VERIF(12) TAMBEM E' USADO EM FLEX
C      VERIF (12) = 0.0
C      VERIF (15) = 0.0
C      NASO  = IMPRESSAO DA MATRIZ DO SOLO E OUTROS PARAMETROS
C      VERIF (13) = 0.0
C      VERIF (14) = 0.0
C      SAIDA = ROTACAO DE DK COM IMPRESSAO ANTES E DEPOIS
C      VERIF (21) = 0.0
C
CF *** FINAL  DE VERIFICACAO *****
C
C      DEFINICAO DOS ARQUIVOS
C      -----
C
C      IN      = 2
C      IEO     = 5
C      JOUT    = 3
C      IARQ1   = 7
C      ITROCA  = 9
C      ISOLO1  = 8
C      ICTF    = 0
C
C
C      CHAMADA DAS SUBROTINAS
C      -----
C
C      1      CALL LAYOUT
C      CALL INICID
C      CALL FORMA
C      CALL RESOL
C      CALL CTOTAL
C      CALL DATASL
C
C      A CADA KC , ENTRADA DE UM CARREGAMENTO
C      -----
C
C      DO 400 KC = 1, NT
C          CALL EBLOCO
C          CALL RESOL
C          REWIND IEO
C          IF ( KC.NE.1 )   GO TO 600
C          CALL FLEX
C          CALL SOLO
C          CONTINUE
C
C      600
C          DO 500 IL = 1, NI
C              DVI(IL) = -DK(IL)
C
C      500      CONTINUE
C
C          CALL GAMASI
C              ( DK, 1, ICTF )
C          ICTF = 1
C
C          CALL ACSOLO
C
C

```

```
C      CL = SQRT ( DX(1) ** 2 + DY(1) ** 2 + DZ(1) ** 2 )  
C      DUPLA PRECISAO  
C      CL = DSQRT ( DX(1) ** 2 + DY(1) ** 2 + DZ(1) ** 2 )  
      CALL SAIDA ( CL )  
400 CONTINUE  
C      GOTO 1  
C      END
```

[illegible]

```

11  FORMAT ( 16X,1H,18X,2H ,10X,3H ,10X,3H ,10X,4H ,10X,
- 3H ,10X,2H ,12X,1H,/,16X,1H,8X,12,8X,2H ,F10.2,3H ,
- F10.2,3H ,F10.2,4H ,F10.2,3H ,F10.2,3H ,F10.4,2H ,/,
- 16X,1H,18X,2H ,10X,3H ,10X,3H ,10X,4H ,10X,3H ,
- 10X,2H ,12X,1H,/,16X,99(1H-) )
20  FORMAT ( 2I10,5F10.5 )
21  FORMAT ( 2X,24H
- 48H
- 56H
- 2X,5H ,12,10H
- 14H ,F10.5,14H ,F10.5,10H
- F10.5,10H ,F10.5,9H ,F10.5,2H ,/,
- 2X,24H
- 48H
- 56H
- 2X,128(1H-) )
22  FORMAT ( 2X,45H*** BETA E' O ANGULO ENTRE O PLANO XY(GLOBAL),
- 15H E Y(LOCAL) *** )

C
C  LEITURA E IMPRESSAO DO TITULO
C  -----
C
C  READ ( IN,2,END=99 ) XNOME
C  WRITE ( JOUT,3 ) XNUME

C
C  LEITURA E IMPRESSAO DOS DADOS GERAIS
C  -----
C
C  IR = 2
C  READ ( IN ,5 ) NE ,E ,G ,NDE
C  IF ( G ) 301,300,302
301 CALL ERRO ( 1,0,301 )
300 G = 0.416 * E
302 WRITE ( JOUT,4 ) NE, IR, NDE, E, G
C  WRITE ( JOUT,6 )

C
C  NUMERO MAXIMO DE NOS DE REFERENCIA E' 100
C  -----
C
C  303 IF ( (NDE*NE) .GT. 100 ) CALL ERRO ( 1,0,303 )

C
C  ENTRADA DOS DADOS GEOMETRICOS DE CADA ESTACA
C  -----
C
C  DO 200 IDO = 1, NE
C  READ ( IN, 7 ) K ,X(K) ,Y(K) ,Z(K) ,DX(K) ,DY(K) ,DZ(K)

C
C  ESTACAS VERTICAIS - IMPOSICAO
C  -----
C
C  400 IF ( DY(K) .NE. (0.0) .AND. DZ(K) .NE. (0.0) )
C  CALL ERRO ( 1,0,400 )
C  IF ( DX (K) ) 107,201,203
107 CALL ERRO ( 1,0,107 )
201 IF ( IDO-1 ) 107,107,202
202 DX (K) = DX (KC)
C  DY (K) = DY (KC)
C  DZ (K) = DZ (KC)

```

```

203      KC      = K
      WRITE ( JOUT,11 ) K ,X(K) ,Y(K) ,Z(K) ,DX(K) ,DY(K) ,DZ(K)
200  CONTINUE
C
      WRITE ( JOUT,8 )
C
      ZERANDO VETOR DE VERIFICACAO DE LEITURA DOS DADOS GEOMETRICOS
C -----
C
      DO 100 L      = 1, NE
      MPR (L) = 0
100  CONTINUE
C
      ENTRADA DAS PROPRIEDADES GEOMETRICAS POR GRUPO DE ESTACAS
C -----
C
103  READ ( IN,20 ) KNC ,KFM ,AA ,XX ,YY ,ZZ ,B8
      WRITE ( JOUT,21 ) KNC ,KFM ,AA ,XX ,YY ,ZZ ,B8
C
      ANGULO BETA = 0 - IMPOSICAO
C -----
C
401  IF ( B8,NE.(0.0) ) CALL ERRO ( 1,0,401 )
      IF ( KFM )      101,109,102
101  CALL ERRO      ( 1,0,101 )
109  KFM = KNC
102  IF ( KFM-KNC )      101,104,104
104  IF ( NE-KFM )      101,117,117
C
      COLOCACAO DAS PROPRIEDADES DO GRUPO DE ESTACAS
      NOS VETORES ASSOCIADOS : DA ESTACA KNC ATE KFN
C -----
C
117  DO 105 L      = KNC, KFM
      IF ( MPR (L) - 3 ) 106,101,101
106      AX (L) = AA
      XI (L) = XX
      YI (L) = YY
      ZI (L) = ZZ
      BETA (L) = B8
      MPR (L) = 3
105  CONTINUE
C
      VERIFICACOES :
C SE TODAS AS PROPRIEDADES GEOMETRICAS FORAM LIDAS
C [MPR] DEVE TER TRES(SIM) OU ZEROS CASO CONTRARIO.
C SE AS ESTACAS TEM O MESMO COMPRIMENTO (IMPOSICAO)
C SE AS ESTACAS ESTAO NA MESMA COTA DE TOPO (IMPOSICAO)
C -----
C
      DO 108 L = 1, NE
      IF ( MPR (L) - 3 )      103,108,101
      IF ( L.EQ.1 )      GO TO 108
402  IF ( X(L) .NE. X(L-1) .OR. DX(L) .NE. DX(L-1) )
      CALL ERRO      ( 1,2,402 )
108  CONTINUE
C
      WRITE ( JOUT,22 )

```

C

99 RETURN
CONTINUE
STOP
END

SUBROUTINE RESOL

 SUBROTINA NUMERO = 2
 INVERSAO DE R(6,6) PELO METODO DE
 CHOLESKY - ESTAGUEAMENTO ISOLADO

USO DE PRECISAO DUPLA
 IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)

DIMENSION A (6,6)
 COMMON/UM/ E , G , NCA , NCD , R(6,6) , X(50) , Y(50) , Z(50) ,
 DX(50) , DY(50) , DZ(50) , BETA(50) , AX(50) , XI(50) ,
 YI(50) , ZI(50) , IR , T(6,6) , S(6,6) , ST(6,6) ,
 TR(6,6) ,
 XL , NT , ES(40,6) , EB(6) , KC , EU(50,6) , XEU ,
 AT(6) , KDI , PS , ESOLO , DAS , NDS
 COMMON/DOIS/ NE , NOE
 EQUIVALENCE (A(1,1) , R(1,1))

 DESMEMBRAMENTO DA MATRIZ [A] EM DUAS OUTRAS
 TRIANGULARES E SIMETRICAS - [A] = [S] * [S]^T.
 [S] GUARDADA NO ESPACO TRIANG.SUPERIOR DE [R]

NN = 6

 TRIANGULARIZACAO DA MATRIZ
 ARMAZENAMENTO EM [R] SUP.

DO 45 I = 1, NN

DO 45 J = I, NN
 SUM = A (I,J)
 IF (I-1) 38,41,39
 38 CALL ERRO (2,0,38)
 39 NX = I - 1

DO 40 K = 1, NX
 SUM = SUM - (A (K,I) * A (K,J))
 40 CONTINUE

[S] GUARDADA EM [R] DA DIAGONAL PARA CIMA

41 IF (J-I) 94,43,42
 94 CALL ERRO (2,0,94)
 42 A (I,J) = SUM * TEMP
 GOTO 45
 43 IF (SUM) 95,96,44
 95 CALL ERRO (2,0,95)
 96 CALL ERRO (2,0,96)

 INVERSAO DA DIAGONAL PRINCIPAL

```

C      USO DE PRECISAO DUPLA
C 44      TEMP      = 1.0 / DSQRT (SUM)
C
C 44      TEMP      = 1.0 / SQRT  (SUM)
      A (I,J)      = TEMP
45 CONTINUE
C
C      INVERSAO DE [S] FORA A DIAG. PRINCIPAL
C      -----
C      DO 48 I      = 1, NN
      IF ( NN - 1 ) 97,49,46
97      CALL ERRO   ( 2,0,97 )
46      II         = I + 1
      IF ( II - NN ) 52,52,49
C
C 52      DO 48 J    = II, NN
      SUM = 0.0
      JJ = J - 1
C
C      DO 47 K      = I, JJ
      SUM = SUM - A (K,I) * A (K,J)
47      CONTINUE
C
C      ARMAZENA EM [A] ABAIXO DA DIAGONAL PRINC.
C      -----
C      A (J,I)      = SUM * A (J,J)
48 CONTINUE
C
C      DETERMINACAO DA INVERSA DE [A]
C      INV [A] = INV [S] * INV {[S]'}
C      -----
C 49 DO 51 I = 1, NN
C
C      DO 51 J      = 1, NN
      SUM          = 0.0
C
C      DO 50 K      = J, NN
      SUM = SUM + A (K,I) * A (K,J)
50      CONTINUE
C
C      COLOCACAO DO RESULTADO EM [A].
C      [A] E' SIMETRICA.
C      -----
C      A (J,I)      = SUM
      A (I,J)      = SUM
51 CONTINUE
C
C      RETURN
C      END

```

SUBROUTINE STX (K, ILOG)

 SUBROTINA NUMERO = 3
 DETERMINACAO DA MATRIZ DE RIGIDEZ
 LOCAL PARA A ESTACA "K" E OBTENSAO
 DAS SEGUINTE MATRIZES :
 [T] = ROTACAO LOCAL ,
 [TR] = ROTACAO * TRANSLACAO E
 [ST] = RIGIDEZ * [TR] .

USO DE PRECISAO DUPLA
 IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)

DIMENSION XX(3), LX(3), MX(3)
 DATA LX,MX / 2,3,1,3,1,2 /
 COMMON/UM/ E , G , NCA , NCO , R(6,6) , X(50) , Y(50) , Z(50) ,
 DX(50) , DY(50) , DZ(50) , BETA(50) , AX(50) , XI(50) ,
 YI(50) , ZI(50) , IR , T(6,6) , S(6,6) , ST(6,6) ,
 TR (6,6) ,
 XL , NT , ES(40,6) , EB(6) , KC , EU(50,6) , XEU ,
 AT(6) , KDI , PS , ESOLO , DAS , NDS
 COMMON/DOIS/ NE, NDE

ZERAMENTOS

DO 125 I = 1, 6
 DO 125 J = 1, 6
 S (I,J) = 0.0
 T (I,J) = 0.0
 TR(I,J) = 0.0

125 CONTINUE

AS FUNCOES SENO E COSENO EM RADIANO

BE = BETA (K) * 3.141592 / 180.0
 SI = SIN (BE)
 CO = COS (BE)

UTILIZACAO DESTA EXPRESSAO SOMENTE COM DUPLA PRECISAO
 XL = 1 / DSQRT (DX (K) ** 2 + DY (K) ** 2 + DZ (K) ** 2)
 XL = 1 / SQRT (DX (K) ** 2 + DY (K) ** 2 + DZ (K) ** 2)
 XL3 = XL * XL * XL

MONTAGEM DA RIGIDEZ

IF (ILOG) 124,124,101
 124 S (1,1) = E * AX (K) * XL
 IF (IR) 102,101,103
 102 CALL ERRO (3,0,102)
 103 S (2,2) = 3.0 * E * ZI (K) * XL3 * IR * IR
 S (3,3) = 3.0 * E * YI (K) * XL3 * IR * IR
 GOTO (101, 104) , IR

```

104 S (4,4) = G * XI (K) * XL
    S (5,5) = 4.0 * E * YI (K) * XL
    S (6,6) = 4.0 * E * ZI (K) * XL
    S (3,5) = (-1.5) * S (5,5) * XL
    S (5,3) = S (3,5)
    S (2,6) = 1.5 * S (6,6) * XL
    S (6,2) = S (2,6)

```

COSENUS DIRETORES

```

101 CX = DX (K) * XL
    CY = DY (K) * XL
    CZ = DZ (K) * XL

```

```

UTILIZACAO SOMENTE COM PRECISAO DUPLA
Q = DSQRT ( CX ** 2 + CZ ** 2 )

```

```

Q = SQRT ( CX ** 2 + CZ ** 2 )

```

MONTAGEM DA ROTACAO

```

T ( 1,1 ) = CX
T ( 1,2 ) = CY
T ( 1,3 ) = CZ
T ( 2,2 ) = Q * CO
T ( 3,2 ) = -Q * SI
IF ( Q-0.001 ) 109,109,110
109 T ( 2,1 ) = ( -CY ) * CO
    T ( 3,1 ) = CY * SI
    T ( 2,3 ) = SI
    T ( 3,3 ) = CO
    GOTO 111
110 Q = 1.0 / Q
    T ( 2,1 ) = ( ( -CX ) * CY * CO - CZ * SI ) * Q
    T ( 2,3 ) = ( ( -CY ) * CZ * CO + CX * SI ) * Q
    T ( 3,1 ) = ( CX * CY * SI - CZ * CO ) * Q
    T ( 3,3 ) = ( CY * CZ * SI + CX * CO ) * Q

```

MONTAGEM DA ROTACAO (6x6)

```

111 DO 112 I = 1, 3
    DO 112 J = 1, 3
        T (I+3,J+3) = T (I,J)
        TR (I+3,J+3) = T (I,J)
        TR (I,J) = T (I,J)

```

```

112 CONTINUE

```

```

XX (1) = X (K)
XX (2) = Y (K)
XX (3) = Z (K)

```

```

SE ILOG = 0 ==> [TR] * DESLOC. GLOBAL = DESL. LOCAL
SE ILOG = 1 ==> [TR] * ACAO LOCAL = ACAO GLOBAL

```

```

TRANSLACAO * ROTACAO ARMAZENADA EM [TR]

```

```

C -----
C
120 DO 113 I      = 1 , 3
    DO 113 J      = 1 , 3
        L        = LX (I)
        M        = MX (I)
        TR (J,I+3) = XX (L) * TR (J,M) - XX (M) * TR (J,L)
113 CONTINUE
    IF (ILOG) 123,123,121
C
C   TRANSLACAO * ROTACAO TRANSPOSTA ARMAZENADA EM [TR]
C   -----
121 DO 122 I      = 1 , 5
    DO 122 J      = I+1 , 6
        AUX      = TR(I,J)
        TR(I,J)  = TR(J,I)
        TR(J,I)  = AUX
122 CONTINUE
    GOTO 130
C
C   [RIGIDEZ] * [TRANSLACAO*ROTACAO] ([S]*[TR]) = [ST]
C   -----
123 DO 114 I      = 1 , 6
    DO 114 J      = 1 , 6
        W        = 0.0
C
        DO 115 L = 1 , 6
            W = W + S (I,L) * TR (L,J)
115 CONTINUE
        ST (I,J) = W
114 CONTINUE
C
130 CONTINUE
    RETURN
    END

```

SUBROUTINE FORMA

SUBROTINA NUMERO = 4

DETERMINACAO DA MATRIZ DE RIGIDEZ
GLOBAL PARA O ESTAQUEAMENTO ISOLADO

USO DE PRECISAO DUPLA

IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)

```

COMMON/UM/ E , G , NCA , NCD , R(6,6) , X(50) , Y(50) , Z(50) ,
            DX(50) , DY(50) , DZ(50) , BETA(50) , AX(50) , XI(50) ,
            YI(50) , ZI(50) , IR , T(6,6) , S(6,6) , ST(6,6) ,
            TR(6,6) ,
            XL , NT , ES(40,6) , EB(6) , KC , EU(50,6) , XEU ,
            AT(6) , KDI , PS , ESULO , DAS , NDS
COMMON/DOIS/ NE , NDE

```

VERIFICACOES LOGICAS

```

DO 802 K = 1, NE
    IF ( AX(K) )      800,800,801
    CALL ERRO        ( 4,0,800 )
    IF ( IR )         800,802,803
    IF ( YI (K) )     800,800,804
    IF ( ZI (K) )     800,800,805
    IF ( IR-2 )       802,806,800
    IF ( XI (K) )     800,800,802
802 CONTINUE

```

PI = 3.14159265359 / 180.0

DETERMINACAO DOS COMPRIMENTOS DAS ESTACAS
REBATIDOS NOS EIXOS GLOBAIS DE COORDENA-
DAS E COLOCADOS NOS VETORES DX, DY, E DZ.

```

DO 140 K = 1, NE
    GRET = PI * DY (K)
    IF ( DZ (K) ) 116,118,118
    CALL ERRO      ( 4,0,116 )
    AND = ATAN ( DZ (K) )
    DX (K) = DX (K) * COS (AND)
    DIST = ( DZ (K) * DX (K) )
    DY (K) = DIST * COS (GRET)
    DZ (K) = DIST * SIN (GRET)
140 CONTINUE

```

ZERANDO R (6,6)

```

DO 130 I = 1, 6
DO 130 J = 1, 6
    R (I,J) = 0.0
130 CONTINUE

```

```

C      PARA CADA ESTACA DETERMINACAO DA MATRIZ DE RIGIDEZ
C      LOCAL E COLOCACAO DOS COEFICIENTES DETERMINADOS
C      NA MATRIZ DE RIGIDEZ DO SISTEMA GLOBAL FAZENDO AS
C      DEVIDAS ROTACOES E TRANSLACOES NECESSARIAS.
C      -----
C
DO 100 K = 1, NE
      CALL STX ( K,0 )
C
      DO 111 I = 1, 6
C
      DO 111 J = 1, 6
        W = 0.0
C
C      -----
C      MUTIPLICACAO DE [TR] (TRANSPOSTO) COM [ST]
C      -----
      DO 112 L = 1, 6
        W = W + TR (L,I) * ST (L,J)
112      CONTINUE
C
      R (I,J) = R (I,J) + W
111      CONTINUE
C
100 CONTINUE
C
      RETURN
      END

```

SUBROUTINE CTOTAL

C
C
C
C
C
C
C
C
C
C

 SUBROTINA NUMERO - 5
 ENTRADA DO NUMERO DE CARREGAMENTOS
 NO BLOCO APLICADOS E COMBINADOS

USO DE PRECISAO DUPLA
 INPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)

COMMON/UM/ E , G , NCA , NCO , R(6,6) , X(50) , Y(50) , Z(50) ,
 - DX(50) , DY(50) , DZ(50) , BETA(50) , AX(50) , XI(50) ,
 - YI(50) , ZI(50) , IR , T(6,6) , S(6,6) , ST(6,6) ,
 - TR(6,6) ,
 - XL , NT , ES(40,6) , EB(6) , KC , EU(50,6) , XEU ,
 - AT(6) , KDI , PS , ESOL0 , DAS , NDS
 COMMON/CINCO/ IN , JOUT , IARG1 , IE0 , ISOL01 , ITROCA

C
C
C
C

FORMATOS DE ENTRADA E SAIDA

1 FORMAT (2I10)
 2 FORMAT (1H1,5(/),54X,23HNUMERO DE CARREGAMENTOS,/,54X,23(1H-),
 - ///,43X,46HCOMO ESFORCOS APLICADOS NO BLOCO ,12,///,
 - 43X,46HCOMO COMBINACAO DOS ESFORCOS ANTERIORES ,12, 10(/))

C
C
C
C
C
C

LEITURA DO NUMERO DE CARREGAMENTOS
 APLICADOS DIRETAMENTE (NCA) E
 COMBINADOS (NCO)

READ (IN,1) NCA, NCO

C
C
C
C

CALCULO DO NUMERO TOTAL DE CARREGAMENTOS (<= 40)

NT = NCA + NCO
 IF (40-NT) 888,889,889
 888 CALL ERRO (5,0,888)

C
C
C
C

IMPRESSAO DOS CARREGAMENTOS LIDOS

889 WRITE (JOUT,2) NCA, NCO

C

RETURN
 END

cccccccc

C
C
C

cccc

©

C
C
C

```

C      SISTEMA ESTAQUEAMENTO-SOLO (OK)
C      -----
C
C      K = KC
DO 200 I      = 1, ( NOE*NE*6 )
      DK (I) = 0.0
200 CONTINUE
C
C      TITULO DO CARREGAMENTO
C      -----
C
C      READ ( IN,3 )      XNOME
C      WRITE ( JOUT,4 )   K, XNOME
C      IF ( K=NCA ) 100,100,101
C
C      CARREGAMENTO POR COMBINACAO
C      -----
C
101 READ ( IN,1 )      NC
    READ ( IN,6 ) ( ICA(M), COF(M), M=1, NC )
C
C      IMPRESSAO DOS CARREGAMENTOS LIDOS POR COMBINACAO
C      -----
C
C      WRITE ( JOUT,10 ) NC
C
C      DO 130 MK = 1, NC
C      WRITE ( JOUT,9 )   ICA(MK), COF(MK)
130 CONTINUE
C
C      ZERAMENTO DOS ESFORÇOS APLICADOS NO BLOCO (ES) QUE SERAO GUAR
C      DADOS E UTILIZADOS PARA EXECUTAR OS CARREGAMENTOS COMBINADOS
C      -----
C
C      DO 106 L      = 1, 6
C      ES(K,L) = 0.0
106 CONTINUE
C
C      MONTAGEM DO CARREGAMENTO POR COMBINACAO
C      -----
C
C      DO 108 M = 1, NC
C      MX = ICA(M)
C
C      IF ( MX=K ) 102,103,103
103 CALL ERRO ( 6,0,103 )
C
102 DO 107 L      = 1, 6
      ES(K,L) = ES(K,L) + ES(MX,L) * COF(M)
107 CONTINUE
C
108 CONTINUE
C
C      GOTO 110
C
C      CARREGAMENTO DIRETO
C      -----
C

```

```

100 READ ( IN,7 )    ( ES(K,L), L = 1, 6 )
110 WRITE ( JOUT,8 ) ( ES(K,L), L = 1, 6 )

```

```

C
C  AJUSTES, ZERAMENTOS E COLOCACAO DO ESFORCO NO
C  BLOCO NA MATRIZ AUXILIAR QUE SERA' MODIFICADA
C  PARA CALCULO DOS COEFICIENTES DE FLEXIBILIDD
C  -----
C

```

```

DO 125 L      = 1, 6
  EB(L) = ES(K,L)

```

```

C
C  ZERAMENTO DO ESFORCO UNITARIO QUE SERA' APL
C  NOS NOS DE REF PARA CALC DOS COEF. DE FLEX.
C  -----
C

```

```

DO 120 J      = 1, NE
  EU(J,L) = 0.0

```

```

120 CONTINUE

```

```

C
125 CONTINUE
C

```

```

XEU = 0.
RETURN
END

```

SUBROUTINE RESUL

SUBROTINA NUMERO - 7

RESOLUCAO DO SISTEMA : DETERMINACAO DO DESL
DO BLOCO E DO DESL E ACUES NO TOPO DA ESTACA
- ESTAQUEAMENTO ISOLADO -

USO PRECISAO DUPLA
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)

DIMENSION D(6)
COMMON/UM/ E , G , NCA , NCO , R(6,6) , X(50) , Y(50) , Z(50) ,
DX(50) , DY(50) , DZ(50) , BETA(50) , AX(50) , XI(50) ,
YI(50) , ZI(50) , IR , T(6,6) , S(6,6) , ST(6,6) ,
TR(6,6) ,
XL , NT , ES(40,6) , EB(6) , KC , EU(50,6) , XEU ,
AT(6) , KDI , PS , ESOLO , DAS , NDS
COMMON/DOIS/ NE , NDE
COMMON/DOZE/ AC (6) , IEST

CI *** INICIO DE VERIFICACAO *****

DIMENSION DT(6) , B(2)
COMMON/ONZE/ VERIF(80)
COMMON/CINCO/ IN , JOUT , IARG1 , IE0 , ISOLO1 , ITROCA
COMMON/TRES/ FK(108,600)
COMMON/QUATRO/ DK(600)

CF *** FINAL DE VERIFICACAO *****

DETERMINACAO DO DESLOCAMENTO DO BLOCO
RESOLUCAO DO SISTEMA GERAL DE EQUACAO

K = KC

DO 112 I = 1, 6
W = 0.0

DO 111 J = 1, 6
W = W + R(I,J) * EB(J)

111 CONTINUE

D(I) = W

112 CONTINUE

CI *** INICIO DE VERIFICACAO *****

IF (VERIF (11)) 136,136,135
135 IF (XEU) 136,134,136

IMPRESSAO DO DESLOCAMENTO DO BLOCO PARA O
CARREGAMENTO DADO NO ESTAQUEAMENTO ISOLADO

134 WRITE (JOUT,10) D

```

10 FORMAT ( 1X,22HDESLOCAMENTOS DO BLOCO,/,10X,4X,6HDESL.X,4X,
-        6HDESL.Y,4X,6HDESL.Z,
-        5X,5HROT.X,5X,5HROT.Y,5X,5HROT.Z,/,10X,3F10.5,3F10.6 )
WRITE ( JOUT,13 )
13 FORMAT ( 1X,47HDESLOCAMENTOS NOS TOPOS DAS ESTACAS DO SISTEMA ,
-        6HGLOBAL,/,4X,6HESTACA,4X,6HDESL.X,4X,6HDESL.Y,4X,
-        6HDESL.Z,5X,5HROT.X,5X,5HROT.Y,5X,5HROT.Z )
DO 133 I = 4, 6
133 DT(I) = D(I)
DO 130 M = 1, NE
DT(1) = D(1) + Z(M) * D(5) - Y(M) * D(6)
DT(2) = D(2) - Z(M) * D(4) + X(M) * D(6)
DT(3) = D(3) + Y(M) * D(4) - X(M) * D(5)
150 WRITE ( JOUT,15 ) M, DT
15 FORMAT ( 1X,I10,3F10.5,3F10.6 )
WRITE ( JOUT,11 )
11 FORMAT ( 1X,20HESFORCUS NAS ESTACAS,/,1X,5H EST,5H POS,2X,
-        8HF,NORMAL,4X,6HCORT.Y,4X,6HCORT.Z,2X,8HM.TORSOR,
-        5X,5HMON.Y,5X,5HMON.Z )
136 CONTINUE
C
CF *** FINAL DE VERIFICACAO ****
C
C DETERMINACAO DA ACOAO NO TOPO DE CADA ES-
C TACA NO SISTEMA LOCAL DE REFERENCIA
C -----
C
DO 120 LK = 1, NE
KDJ = LK * 6 * NDE
C
C DETERMINA A MATRIZ DE RIGIDEZ
C LOCAL A CADA NOVA ESTACA.
C -----
C
CALL STX ( LK,0 )
C
DO 113 I = 1, 6
W = 0.0
DO 114 J = 1, 6
W = W + ST(I,J) * D(J)
114 CONTINUE
C
C VERIFICA SE A ESTACA CONTEM O ESFORCO UNITARIO APL
C -----
C
IF ( IEST-LK ) 50,51,50
51 W = W - AC(I)
50 AT(I) = W
C
113 CONTINUE
C
CI *** INICIO DE VERIFICACAO ****
C
C IMPRESSAO DAS ACOES NO TOPO DAS ESTACAS NA FORMACAO DE FK
C -----
C
IF ( VERIF(11) ) 150,150,151
151 IF ( XEU ) 150,150,152

```

```

152 WRITE ( JOUT,153 ) LK, AT
153 FORMAT ( 1X,'ACAO NO TOPO DA ESTACA ',I2,/,6E20.6 )
150 CONTINUE

```

```

C
  IF ( VERIF (11) )      138,138,137
137 IF ( XEU )           138,139,138
139 B(1) = AT(5) + AT(3) /XL
  B(2) = AT(6) - AT(2) /XL
  KX1 = 1
  KX2 = 2
  WRITE ( JOUT,12 ) LK,KX1,AT,LK,KX2,B
12 FORMAT ( 1X, I5,I5,6F10.2,/,1X,I5,I5,40X,2F10.2 )
138 CONTINUE

```

```

C
CF *** FINAL DE VERIFICACAO *****

```

```

C
C      DETERMINACAO DOS DESLOCAMENTOS NOS DE
C      DE REFERENCIA ATRAVES DAS ACOES NO TO
C      PO DAS ESTACAS E COLOCACAO DOS COEF
C      CALCULADOS NA MATRIZ DE FLEXIBILIDADE
C      DO CONJUNTO ESTAGUEAMENTO-SOLO.
C      -----

```

```

C      CALL DIJ (LK)

```

```

120 CONTINUE

```

```

C
CI *** INICIO DE VERIFICACAO *****

```

```

C
  IF ( VERIF(11).EQ. 0.0 ) GOTO 140
  IF ( XEU.NE. 0.0 )      GOTO 140
  WRITE ( JOUT,1100 )
  IL = NDE * NE * 6
  WRITE ( JOUT,1000 ) ( DK(IC), IC = 1, IL )
1000 FORMAT ( 1X, 6 (1X,E21.6) )
1100 FORMAT ( 1X,'VETOR INDEPENDENTE DO SISTEMA GLOBAL : EST-SOLO' )
140 CONTINUE

```

```

C
CF *** FINAL DE VERIFICACAO *****

```

```

C
  RETURN
END

```

SUBROUTINE DIJ (K)

 SUBROTINA NUMERO - 8

DETERMINACAO DOS DESLOCAMENTOS NOS NOS DE REFERE
 CIA PARA ESTACA VERTICAL ASSOCIADA AO NUMERO K.
 DESLOCAMENTOS // AO SISTEMA GLOBAL DE REFERENCIA
 CORRESPONDENTES AO VETOR INDEPENDENTE OU AOS PRI
 MEIROS COEFICIENTES DA MATRIZ DE FLEXIBILIDADE
 DO SISTEMA INTERATIVO ESTAGUEAMENTO-SOLO.
 - ESTAGUEAMENTO ISOLADO -

USO DE PRECISAO DUPLA
 IMPLICIT REAL*8 (A-H,D-Z)

COMMON/UM/ E , G , NCA , NCO , R(6,6) , X(50) , Y(50) , Z(50) ,
 - DX(50) , DY(50) , DZ(50) , BETA(50) , AX(50) , XI(50) ,
 - YI(50) , ZI(50) , IR , T(6,6) , S(6,6) , ST(6,6) ,
 - TR(6,6) ,
 - XL , NT , ES(40,6) , EB(6) , KC , EU(50,6) , XEU ,
 - AT(6) , KDI , PS , ESOLO , DAS , NDS
 COMMON/DOIS/ NE , NDE
 COMMON/TRES/ FK(108,600)
 COMMON/QUATRO/ DK(600)
 COMMON/CINCO/ IN , JOUT , IARQ1 , IE0 , ISOLO1 , ITROCA
 COMMON/SEIS/ NI , NLB , NTB , NLUB , IREC , IPOS
 DIMENSION DI(6) , EO(6) , DAUX(6)

CI *** INICIO DE VERIFICACAO *****

COMMON/ONZE/ VERIF (80)

CF *** FINAL DE VERIFICACAO *****

INICIALIZACAO

CI *** INICIO DE VERIFICACAO *****

IF (VERIF (15) .EQ. 0.0) GOTO 85

WRITE (JOUT,86)

86 FORMAT (1X,'ACAO NOS NOS DE REF. PARA CARREG. NO SIST. PRINCIPAL')

85 CONTINUE

CF *** FINAL DE VERIFICACAO *****

INDICE = (K-1) * NDE + 1

UTILIZACAO DE DUPLA PRECISAO

CL = DSQRT (DX(K) ** 2 + DY(K) ** 2 + DZ(K) ** 2)

CL = SQRT (DX(K) ** 2 + DY(K) ** 2 + DZ(K) ** 2)

XNO = -CL / (2 * NDE)

CI *** INICIO DE VERIFICACAO *****

IF (VERIF (12)) 50,50,49

```

49 IF ( KDI.EQ.1 ) WRITE ( JOUT,48 ) K
   IF ( XEU ) 50,51,50
48 FORMAT ( 1X,'DESLOCAMENTOS NOS NOS DE REFERENCIA PARA A ESTACA ',
-         I3,' E DIRECAO DA ACAO APL = 1 (KDI=1)' )
52 FORMAT ( 1X,'DESLOCAMENTOS NOS NOS DE REFERENCIA PARA A ESTACA ',
-         I3,' NO CALCULO DO VETOR INDEP. DO SIST. EST-SOL' )
51 WRITE ( JOUT,52 ) K
50 CONTINUE

C
CF *** FINAL DE VERIFICACAO ****
C
C   GERACAO DOS NOS DE REFERENCIA PARA A ESTACA K, E
C   CALCULO DOS DESLOCAMENTOS GENERALIZADOS EM CADA NO'
C   -----
C
DO 1 I = 1, NDE
  XNO = XNO + CL / NDE
  XIS = XNO
  IF ( XEU .GT. XNO ) XIS = XEU

C
C   KOJ REPRESENTA A DIRECAO DO NO' ANTERIOR
C   AO NO' CUJO DESLOC. SERA' AQUI CALCULADO
C   -----
C
  KOJ = ( (K-1) * NDE + I - 1 ) * 6

C
C   DETERMINACAO DO DESLOCAMENTO NO
C   NO' DE REFERENCIA I OA ESTACA K
C   EM TODAS AS SEIS DIRECOES.
C   -----
C
  DI(1) = ( AT(1) * ( CL-XNO ) + EU(K,1) * ( CL-XIS ) )
-         / ( E * AX(K) )
  DI(4) = ( AT(4) * ( CL-XNO ) + EU(K,4) * ( CL-XIS ) )
-         / ( G * XI(K) )
  L      = 6
  LS     = -1
  CI     = ZI(K)

C
DO 2 J = 2, 3
  DI(J) = ( AT(J) / 6.0 * ( XNO ** 3 + CL ** 2 *
-         ( 2 * CL - 3 * XNO ) ) + LS * AT(L) / 2.0
-         * ( CL - XNO ) ** 2 + EU(K,J) * ( ( CL ** 3
-         - XIS ** 3 ) / 3 - ( XNO + XEU ) * ( CL ** 2
-         - XIS ** 2 ) / 2 + XNO * XEU * ( CL - XIS ) )
-         + LS * EU(K,L) * ( ( CL ** 2 - XIS ** 2 ) / 2
-         - XNO * ( CL - XIS ) ) ) / ( E * CI )
  CI     = YI(K)
  LS     = 1
  L      = 5
2 CONTINUE

C
L      = 3
DO 3 J = 5, 6
  DI(J) = ( LS * AT(L) / 2.0 * ( CL ** 2 - XNO ** 2 )
-         + AT(J) * ( CL-XNO ) + LS * EU(K,L) * ( ( CL
-         ** 2 - XIS ** 2 ) / 2.0 - XEU * ( CL - XIS ) )
-         + EU(K,J) * ( CL - XIS ) ) / ( E * CI )

```

```

      LS = -1
      L   = 2
      CI  = ZI(K)

```

```

3      CONTINUE

```

```

C
CF *** INICIO DE VERIFICACAO *****
C

```

```

      IF ( VERIF (12) )          60,60,59
59      IF ( KDI .EQ. 1 .OR. XEU .EQ. 0.0 ) GOTO 57
      GOTO 60
57      WRITE ( JOUT,58 ) K, I, DI
58      FORMAT ( 1X,'DESL LOCAL DA EST ',I2,' NO' DE REF ',I2,
      /, 6E20.6 )
60      CONTINUE

```

```

C
CF *** FINAL DE VERIFICACAO *****
C

```

```

      CALCULO DA MATRIZ DE ROTACAO DA
      ESTACA "K" E ROTACAO DOS DESLO-
      CAMENTOS PARA UM SISTEMA PARALE-
      LO AO GLOBAL DE REFERENCIA .
      -----

```

```

      CALL STX ( K,0 )

```

```

      DO 15 IL          = 1, 6
      DAUX(IL) = 0.0

```

```

      DO 16 IC          = 1, 6
      DAUX(IL) = DAUX(IL) + T(IC,IL) * DI(IC)

```

```

16      CONTINUE

```

```

      DI (IL) = DAUX (IL)

```

```

15      CONTINUE

```

```

C
CF *** INICIO DE VERIFICACAO *****
C

```

```

      IF ( VERIF (12) )          70,70,69
69      IF ( KOI - 1 )          70,67,70
67      WRITE ( JOUT,68 ) K, I, DI
68      FORMAT ( 1X,'DESL GLOBAL DA EST ',I2,' NO' DE REF ',I2,
      /,6E20.6 )
70      CONTINUE

```

```

C
CF *** FINAL DE VERIFICACAO *****
C

```

```

      IF ( XEU .GT. 0.0 )      GOTO 5
      M = KDJ + 1
      J = 1

```

```

      COLOCACAO DOS DESLOCAMENTOS CALCULADOS NO VETOR INDEPEN-
      DENTE DO SISTEMA ESTAQ.-SOLO . {DK} TEM QUE TER SEU SINAL
      DE TAL FORMA QUE {FK} * {SOL} = {DK} PARA ENTRADA NA SUB-
      ROTINA GAUSS. DI(J) FOI CALCULADO PARA {FK}*{SOL}+{DK}=0.
      -----

```

```

      DO 4 N          = M, (M+5)
      DK(N) = -DI(J)

```

```

      J = J + 1
4    CONTINUE

C    E0 E' O ESFORÇO NOS NOS DE REF. DAS ESTACAS NO
C    SISTEMA LOCAL DE COORDENADAS PARA O CARREGAMENTO
C    DADO, E SERÁ SOMADO A SOLUÇÃO DO SISTEMA ESTA-
C    QUEAMENTO-SOLO NA SUBROTINA SAIDA.
C    -----
      DO 6 N = 1, 4
        E0(N) = AT(N)
6    CONTINUE

      IPROV = 3
      DO 7 N = 5, 6
        E0(N) = AT(N) + AT(IPROV) * XNO * (-1) ** (N+1)
      IPROV = 2
7    CONTINUE

C  CI *** INICIO DE VERIFICACAO *****
C
      IF ( VERIF (15) .EQ. 0.0 ) GOTO 81
      WRITE ( JOUT,83 ) K, 1, E0
83    FORMAT ( 1X, ' ESF NA EST ', I2, ' NO' DE REF ', I2, ',, 6E20.6 )
81    CONTINUE

C  CF *** FINAL DE VERIFICACAO *****
C
      GRAVACAO DO VETOR [E0] NO DISCO
      -----
      WRITE ( IE0 = INDICE ) ( E0(N), N = 1, 6 )
      INDICE = INDICE + 1

      GOTO 1

C    COLOCACAO DOS COEFICIENTES DE FLEXIBILIDADE NA MATRIZ
C    DO SISTEMA ESTAQ-SOLO REFERENTE A CONTRIBUICAO DO ES-
C    TAQUEAMENTO ISOLADO A PARTIR DA DIAGONAL PRINCIPAL.
C    SO' E' ZERADA A POSICAO DA DIAGONAL PRINC PARA CIMA.
C    NA SUBROTINA MATRIZ E' GRAVADA ESTA PRIMEIRA ETAPA
C    DE "FK" NO DISCO (IAUX=1).
C    -----
5    CONTINUE

      CALL MATRIZ ( DI,KDJ,1 )
1    CONTINUE

      RETURN
      END

```

SUBROUTINE FLEX

 SUBROTINA NUMERO - 9

DETERMINACAO DE PARTE DA MATRIZ DE FLEXI-
 BILIDADE, REFERENTE AO DESLOCAMENTO DO
 CONJUNTO DE ESTACAS ISOLADO E ACOES UNI-
 TARIAS APLICADAS NOS NOS DE REFERENCIA .

USO DE PRECISAO DUPLA
 IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)

DIMENSION XX(3), LX(3), MX(3)
 DATA LX, MX /2,3,1,3,1,2/
 COMMON/UM/ E ,G ,NCA ,NCO ,R(6,6) ,X(50) ,Y(50) ,Z(50) ,
 - OX(50) ,OY(50) ,DZ(50) ,BETA(50) ,AX(50) ,XI(50) ,
 - YI(50) ,ZI(50) ,IR ,T(6,6) ,S(6,6) ,ST(6,6) ,
 - TR(6,6) ,
 - XL ,IT ,ES(40,6) ,EB(6) ,KC ,EU(50,6) ,XEU ,
 - AT(6) ,KDI ,PS ,ESOLO ,DAS ,NDS
 COMMON/DOIS/ NE, NDE
 COMMON/CINCO/ IN, JOUT, IARG1 ,IEO, ISOLO1, ITROCA
 COMMON/SEIS/ NI, NLB, NTB, NLUB, IREC, IPUS
 COMMON/DOZE/ AC(6), IEST

CI *** INICIO DE VERIFICACAO *****

COMMON/ONZE/ VERIF(80)
 COMMON/TRES/ FK(108,600)
 COMMON/QUATRO/ DK(600)
 VERIF (11) = 0.0
 VERIF (12) = 0.0
 VERIF (15) = 0.0

CF *** FINAL DE VERIFICACAO *****

INICIALIZACAO PARA LEITURA E GRA-
 VACAO DA MATRIZ [FK] EM DISCO.

IPUS = 0
 IREC = 1
 IAUX = 1
 NI = NE * NDE * 6
 4 IF (NI .LT. 24) CALL ERRO (9,0,4)
 NLB = 108
 NTB = (NI - 1) / NLB + 1
 NLUB = NI - (NTB - 1) * NLB

REDEFINICAO DOS ATRIBUTOS DE ARQUIVO DE GRAVACAO E
 LEITURA PARA A MATRIZ DE FLEXIBILIDADE DO SISTEMA

NEB = NI * NLB

USO DE PRECISAO DUPLA
 NEB = 2 * NEB

ARQUIVO DE GRAVACAO DA MATRIZ DE
FLEXIBILIDADE EM PRECISAO SIMPLES

```
CHANGE ( IARD1 ,
-      MAXRECSIZE = NEB ,
-      BLOCKSIZE  = NEB )
```

DEFINICAO DA ESTACA E CALCULO DA ACAO EQUIVALENTE NO BLOCO

```
DO 1 K      = 1, NE
  IEST=K
```

UTILIZACAO DE DUPLA PRECISAO

```
CL = DSQRT ( DX(K) ** 2 + DY(K) ** 2 + DZ(K) ** 2 )
```

```
CL = SQRT ( DX(K) ** 2 + DY(K) ** 2 + DZ(K) ** 2 )
```

GERACAO DAS COORDEENADAS DOS NOS DE REFERENCIA (XEU)

```
XEU = -CL / ( 2 * NDE )
```

```
DO 200 J      = 1, NDE
  XEU = XEU + CL / NDE
  CONST = CL - XEU
```

DEFINICAO DO ESFORCO UNIT E SUA DIRECAO DE APLICACAO

```
DO 300 I      = 1, 6
  EU(K,I) = 1.0
```

VETOR "EU" FOI ZERADO NA SUBROT. EBLOCO
E SEMPRE SAE DO LACO 300 ZERADO.

AC = ACAO DE ENGATE PERFEITO NO TOPO DA
ESTACA, DEVIDO A ACAO UNITARIA, NO SIS-
TEMA LOCAL DE REF. (SERA MODIF. DEPOIS)

```
DO 400 L      = 1, 4, 3
  AC(L) = EU(K,L) * CONST / CL
CONTINUE
```

```
LS      = -1
LP      = 6
```

```
DO 600 L      = 2, 3
  AC(L) = EU(K,L) * CONST ** 2 * ( CL +
    * XEU ) / CL ** 3 * LS *
  EU(K,LP) * 6 * CONST * XEU / CL ** 3
  LS      = 1
  LP      = 5
```

```
CONTINUE
```

```
LS      = -1
```

400

600

```

C          LP      = 3
C
C          DO 700 L      = 5, 6
C              AC(L) = LS * EU(K,LP) * CONST ** 2 * XEU
C                  / CL ** 2 - EU(K,L) * CONST *
C                  ( 3 * XEU - CL ) / CL ** 2
C              LS      = 1
C              LP      = 2
700          CONTINUE
C
CI *** INICIO DE VERIFICACAO *****
C
C          IF ( VERIF(12) .EQ. 0.0 )      GOTO 80
C          IF ( K .NE. 1 )                GOTO 80
C          WRITE ( JOUT,86 )
C          WRITE ( JOUT,85 ) ( AC(IL), IL = 1, 6 )
85          FORMAT ( 1X,6E20.6 )
86          FORMAT ( 1X,'ACAO NO TOPO DA ESTACA 1' )
80          CONTINUE
C
CF *** FINAL DE VERIFICACAO *****
C
C          DIRECAO DA FORCA UNITARIA APLICADA
C          NO NO' DE REFERENCIA E SUA POSICAO
C          NA LINHA DA MATRIZ DE TRABALHO FK.
C          -----
C          KDI = ( K-1 ) * 6 * NDE + ( J-1 ) * 6 + I
C          IPUS = KDI - ( ( IREC-1 ) * NLB )
C
C          ZERANDO O ESFORCO NO BLOCO
C          -----
C
C          DO 800 L      = 1, 6
C              EB(L) = 0.0
800          CONTINUE
C
C          CENTRO DO SISTEMA GLOBAL DE REFEREN-
C          CIA. TR(6,6) = TRANSLACAO * ROTACAO.
C          (TR) * (AC) SERA' O CARREGAMENTO NO
C          BLOCO PARA CALCULO DOS COEFICIENTES
C          DE FLEXIBILIDADE DA MATRIZ EST-SOLO.
C          -----
C
C          CALL STX ( K,1 )
C          DO 900 L      = 1, 6
C          DO 900 M      = 1, 6
C              EB(L) = EB(L) + TR(L,M) * AC(M)
900          CONTINUE
C
C          RESOLUCAO DO SISTEMA PELO METODO DA RIGIDEZ
C          PARA EU=1.0 APLICADO NO NO' J DA ESTACA K .
C          -----
C
CI *** INICIO DE VERIFICACAO *****
C
C          IF ( VERIF(12) .EQ. 0.0 )      GOTO 70
C          IF ( K .NE. 1 )                GOTO 70

```

```

WRITE ( JOUT,76 )
WRITE ( JOUT,75 ) ( EB(IC), IC = 1, 6 )
75  FORMAT ( 1X,6E20.6 )
76  FORMAT ( 1X,'ESFORÇO NO BLOCO' )
70  CONTINUE

C
CF *** FINAL DE VERIFICACAO *****
C
CALL RESUL
EU(K,I) = 0.0
300  CONTINUE
C
200  CONTINUE
C
1 CONTINUE
C
CI *** INICIO DE VERIFICACAO *****
C
IF ( VERIF(12) .EQ. 0.0 ) GOTO 90
DO 97 II = 1, NTB
  ILF = NLB
  IF ( II .EQ. NTB ) ILF = NLUB
  READ ( IARQ1 = II )
  - ( (FK (IL,IC), IC = 1, NI ), IL = 1, ILF )
  WRITE ( JOUT,96 )
  WRITE ( JOUT,95 )
  - ( (FK (IL,IC), IC = 1, NI ), IL = 1, ILF )
97  CONTINUE
95  FORMAT ( 1X, 6 (1X, E20.6) )
96  FORMAT ( 1X,'MATRIZ DO SISTEMA GLOBAL : EST-SOLO' )
90  CONTINUE

C
CF *** FINAL DE VERIFICACAO *****
C
  IEST = 0
  RETURN
END

```

SUBROUTINE MATRIZ (DI,KDJ,IAUX)

 SUBROTINA NUMERO - 10
 COLOCACAO DOS COEFICIENTES NA MATRIZ DE
 FLEXIBILIDADE DO SISTEMA ESTAQUEAM-SOLO

USO DE PRECISAO DUPLA
 IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)

COMMON/UM/ E , G , NCA , NCO , R(6,6) , X(50) , Y(50) , Z(50) ,
 DX(50) , DY(50) , DZ(50) , BETA(50) , AX(50) , XI(50) ,
 YI(50) , ZI(50) , IR , T(6,6) , S(6,6) , ST(6,6) ,
 TR(6,6) ,
 XL , NT , ES(40,6) , EB(6) , KC , EU(50,6) , XEU ,
 AT(6) , KDI , PS , ESOLO , OAS , NDS
 COMMON/TRES/ FK(108,600)
 COMMON/QUATRO/ OK(600)
 COMMON/CINCO/ IN , JOUT , IARQ1 , IE0 , ISOLO1 , ITROCA
 COMMON/SEIS/ NI , NLB , NTB , NLUB , IREC , IPOS
 DIMENSION DI(6)

COEFIC. COLOCADOS NA MATRIZ DE TRABALHO
 EST-SOLO DA DIAGONAL PRINCIPAL PARA CIMA

DO 1 I. = 1, 6
 J = KDJ + I
 FK(IPOS,J) = FK(IPOS,J) + DI(I)

1 CONTINUE

VERIFICANDO SE JA' FOI PREECHIDA TODA A
 MATRIZ DE TRABALHO PARA GRAVA-LA EM DISCO
 OU RETORNAR A SUBROTINA DE ORIGEM.

IF (IPOS .EQ. NLB .AND. J .EQ. NI) GOTO 2
 IF (KDI .EQ. NI .AND. J .EQ. NI) GOTO 2
 RETURN

GRAVACAO DA MATRIZ DE TRABALHO EM DISCO
 SE IAUX > 0. SE IAUX <= 0 NAO GRAVAR EM
 DISCO POIS EXISTEM AINDA MAIS TERMOS
 PARA SOMAR AOS COEFICIENTES DA MATRIZ FK

2 IF (IAUX) 4,4,3
 3 WRITE (IARQ1=IREC) ((FK(II,JJ), JJ = 1, NI), II = 1, IPOS)
 IREC = IREC + 1
 4 RETURN
 END

SUBROUTINE DATASL

 SUBROTINA NUMERO = 11
 ENTRADA E IMPRESSAO DOS
 DADOS REFERENTES SOLO

USO DE PRECISAO DUPLA
 IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)

COMMON/UM/ E , G , NCA , NCO , R(6,6) , X(50) , Y(50) , Z(50) ,
 DX(50) , DY(50) , DZ(50) , BETA(50) , AX(50) , XI(50) ,
 YI(50) , ZI(50) , IR , T(6,6) , S(6,6) , ST(6,6) ,
 TR(6,6) ,
 XL , NT , ES(40,6) , EB(6) , KC , EU(50,6) , XEU ,
 AT(6) , KDI , PS , ESOLO , DAS , NDS
 COMMON/DOIS/ NE , NDE
 COMMON/TRES/ FK(108,600)
 COMMON/QUATRO/ DK(600)
 COMMON/CINCO/ IN , JOUT , IARG1 , IE0 , ISOLO1 , ITROCA
 COMMON/SEIS/ NI , NLB , NTB , NLUB , IREC , IPOS

FORMATOS DE ENTRADA E SAIDA DE DADOS

1 FORMAT (49X,33HCARACTERISTICAS MECANICAS DO SOLO,/,49X,33(1H-),
 - ///,43X,29HCOEFICIENTE DE POISSON ,F4.2,///,
 - 43X,29HMODULO DE ELASTICIDADE ,F10.1,10(/))
 3 FORMAT (50X,31HSUPERFICIE DE CONTOURO DO SOLO,/,50X,31(1H-);///
 - 33X,49HLADO DAS SUPERFICIES QUADRADAS DE COMPATIBILIDADE,
 - 7H ,F10.2,///,
 - 38X,49HNUMERO DE DIVISOES DOS LADOS DAS SUPERFICIES ,
 - 7H ,I2,10(/))
 5 FORMAT(F10.2,F10.0,F10.2,I10)

O PROGRAMA CONSIDERA AS SUPERFICIES SUPERIOR
 E INFERIOR QUADRADAS COM CG NA ORIGEM DO SIS-
 TEMA GLOBAL DE COORDENADAS(ESTACAS VERTICAIS)

6 READ (IN,5) PS , ESOLO , DAS , NDS
 WRITE (JOUT,1) PS , ESOLO
 WRITE (JOUT,3) DAS , NDS
 10 IF (PS .LT. 0.0 .OR. PS .GE. 1.0) CALL ERRO (11,0,10)
 20 IF (ESOLO .LE. 0.0) CALL ERRO (11,0,20)
 REG = 0.0

DETERMINACAO DA MAIOR COORDENADA Y OU Z DE TOPO DE ESTACA

 DO 25 K = 1, NE
 YK = ABS (Y(K))
 ZK = ABS (Z(K))
 IF (YK .GT. ZK) GOTO 30
 IF (ZK .GT. REG) REG = ZK
 GOTO 25
 30 IF (YK .GT. REG) REG = YK

25 CONTINUE

C
C A SUPERFICIE SUP E INF DE INFLUENCIA
C TEM QUE SER MAIOR QUE O BLOCO E SEU
C CG COINCIDE COM A ORIGEM DO SISTEMA
C GLOBAL DE COORDENADAS.
C -----
C

COMP = OAS / 2.0

40 IF (COMP .LT. REG) CALL ERRO (11,0,40)
50 IF (NDS .LE. 0 .AND. NDS .GT. 7) CALL ERRO (11,0,50)
RETURN
END

SUBROUTINE SOLO.

SUBROTINA NUMERO - 12

DETERMINACAO DE PARTE DA MATRIZ DE FLEXIBILIDADE
REFERENTE AO DESLOCAMENTO DO SOLO COM ACOES UNI-
TARIAS APLICADAS NOS NOS DE REFERENCIA (SOLUCAO
DO SOLO ISOLADO).

USO DE PRECISAO DUPLA
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)

```
COMMON/UM/      E , G , NCA , NCO , R(6,6) , X(50) , Y(50) , Z(50) ,
-              DX(50) , DY(50) , DZ(50) , BETA(50) , AX(50) , XI(50) ,
-              YI(50) , ZI(50) , IR , T(6,6) , S(6,6) , ST(6,6) ,
-              TR(6,6) ,
-              XL , NT , ES(40,6) , EB(6) , KC , EU(50,6) , XEU ,
-              AT(6) , KDI , PS , ESOLO , DAS , NDS
COMMON/DOIS/     NE , NDE
COMMON/TRES/     FK(108,600)
COMMON/QUATRO/   DK(600)
COMMON/CINCO/    IN , JOUT , IAR01 , IE0 , ISOL01 , ITROCA
COMMON/SEIS/     NI , NLB , NTB , NLUB , IREC , IPOSS
COMMON/SETE/     CONS , CL , CSI(108,600)
COMMON/RETAL3/   CSO(600)
COMMON/OITO/     NIS , NLBS , NTBS , NLUBS , IRECS , IPOSS
COMMON/NOVE/     TD(6)
COMMON/TREZE/    ITL(600)
COMMON/RETAL1/   ARRAY ( 192,192 )
DIMENSION        F(6) , XX(3) , W(3) , ZZ(3) , WW(3) , YY(3)
```

CI *** INICIO DE VERIFICACAO *****

```
REAL            VR(192) , CR(192)
COMMON/DEZ/     TEST(300)
COMMON/ONZE/    VERIF(80)
```

```
1000 FORMAT ( 1H0 , 'CR=VETOR CSI*SOLUCAO,VR=VETOR INDEPENDENTE' , // , 1H0 ,
-           'VR E CR DEVEM SER IGUAIS OU PROXIMOS' )
2000 FORMAT ( 1H0 , 6E12,5 )
3000 FORMAT ( 1H0 , 'TENSOES E DESL NAS SUPERFICIES' , // , 1H0 , 'TD(1),TD(5)'
-           ' E TD(6) DEVEM SER NULOS ASSIM COMO TODOS OS DESLOCAMENTOS' )
4000 FORMAT ( 1H0 , 'MATRIZ DO SISTEMA DE EQ. DO SOLO' )
5000 FORMAT ( 1H0 , 'VETOR SOLUCAO DO SIST SOLO' )
6000 FORMAT ( 1H0 , 'VETOR INDEPENDENTE DO SOLO' )
```

ZERANDO VETOR DE TESTE

```
00 125 L      = 1, 300
TEST(L) = 0.0
```

125 CONTINUE

CF *** FINAL DE VERIFICACAO *****

INICIALIZACAO PARA GRAVACAO EM DISCO DA MA-
TRIZ DO SISTEMA DE EQUACOES DO SOLO ISOLADO

```

-----
IPOSS = 1
IRECS = 1
NIS = NDS ** 2 * 12

```

NUMERO DE INCOGNITAS MAIOR QUE 24

```

60 IF ( NIS .LT. 24 ) CALL ERRO ( 12, 0, 60 )
NLBS = 108
NTBS = (NIS-1) / NLBS + 1
NLBS = NIS - (NTBS-1) * NLBS

```

REDEFINICAO DO ARQUIVO DE GRAVACAO DA MATRIZ DO SISTEMA DE EQUACOES DO SOLO ISOLADO, EM DISCO ORIGINAL/ ISOLU1 TEM ESPACO PARA PRECISAO SIMPLES E ISOLU2 PARA PRECISAO DUPLA. (COMPILADOR FORTRAN BORROUGHS 6700 - RELEASE 3.2 DO SISTEMA OPERACIONAL) .

```
NEB = NIS * NLBS
```

```

RETIRAR COMENTARIO PARA USO DE DUPLA PRECISAO
NEB = NEB * 2

```

```

CHANGE ( ISOLU1 ,
-       MAXRECSIZE = NEB ,
-       BLOCKSIZE = NEB )

```

ARQUIVO DE GRAVACAO DO VETOR DE TROCAS DO SISTEMA DO SOLO

```

NEB = NIS
USO DE DUPLA PRECISAO
NEB = NEB * 2

```

```

CHANGE ( ITROCA ,
-       MAXRECSIZE = NEB ,
-       BLOCKSIZE = NEB )

```

INICIALIZACAO PARA LEITURA E GRAVACAO EM DISCO DA MATRIZ DE FLEXIBILIDADE DO SISTEMA EST-SOLO

```

IPOS = 1
IREC = 1

```

OS LACOS DE 1 A 3 DETERMINAM A DIRECAO E O NO' DE REF DE APLICACAO DA ACAO UNITARIA NO INTERIOR DO SOLO.

```

CONS = DAS / NDS
AREA = DAS / NDS / 4.
ICT = 0

```

```
DO 1 K1 = 1, NE
```

CL = DX(K1) ** 2 + DY(K1) ** 2 + DZ(K1) ** 2

USO DE PRECISAO DUPLA

CL = DSQRT(CL)

CL = SQRT(CL)

ZERANDO VETOR DE Acao UNITARIA

DO 8 L = 1, 6

EU(K1,L) = 0.0

CONTINUE

Y1 = X(K1)

Y4 = X(K1) + CL

XX = COORDENADA DO PONTO DE APLICACAO DA Acao UNITARIA
EM RELACAO AO EIXO GLOBAL DE REFERENCIA .

YY = COORDENADA DO PONTO EM UMA SUPERFICIE ONDE SERA'
CALCULADO O EFEITO - COEF DO SIST DE EQ DO SOLO
CALCULADO O EFEITO DEVIDO A Acao APL EM XX (CO-
FICIENTES DA MATRIZ DO SISTEMA DO SOLO).

XX(1) = X(K1) - CL / (2 * NDE)

XX(2) = Y(K1)

XX(3) = Z(K1)

GERACAO DE "XX" = NO' DE REFERENCIA DA ESTACA "K1"

DO 2 K2 = 1, NDE

XX(1) = XX(1) + CL / NDE

FIXACAO DA Acao UNITARIA QUE ATUA EM "XX"

DO 3 K3 = 1, 6

EU(K1,K3) = 1.0

DIRECAO DO ESFORCO EU E SUA PO-
SICAO NA MATRIZ DE TRABALHO FK

KDI = ((K1-1) * NDE + K2 - 1) * 6 + K3

IPOS = KDI - ((IREC-1) * NLB)

LEITURA DA MATRIZ DE FLEXIBILIDADE DO DISCO
SE NECESSARIO PARA POSTERIOR SOMATORIO COM
O COEFICIENTE DO SOLO ISOLADO.

IF (IPOS ,EQ. 1) GOTO 50

GOTO 51

INDICE = NLB

IF (IREC ,EQ. NTB) INDICE = NLUB

READ (IARQ1 = IREC)

((FK(I,J), J = 1, NI), I = 1, INDICE)

GERACAO DOS NOS PARA CALCULO DOS EFEITOS.
REACOES E DESLOCAMENTOS GENERALIZADOS NAS
SUPERFICIES SUPERIOR (SERA' LIVRE) E IN
FERIOR (SERA' ENGASTADA).

51 DO 220 IL = 1, 6
F(IL) = EU(K1,IL)
220 CONTINUE

CALL VEIN (F,XX,Y1,Y4)

SE A MATRIZ DO SOLO JA' ESTIVER
MONTADA NAO CHAMA MASO.

IF (KC .GT. 1 .OR. KDI .GT. 1) GOTO 4
CALL MASO (Y1,Y4)
CONTINUE

4

CI *** INICIO DE VERIFICACAO *****

IF (VERIF(4) .EQ. 0,0) GOTO 170
WRITE (JOUT,6000)
WRITE (JOUT,2000) (CSO(L), L = 1, NIS)
CONTINUE

170

IF (VERIF(1) .EQ. 0,0) GOTO 140

GUARDANDO O VETOR INDEPENDENTE EM VR.
A MATRIZ SOLO ESTA NO ARQUIVO ISOL02.

DO 100 L = 1, NIS
CR(L) = 0.0
VR(L) = CSO(L)

100

CONTINUE

TP = TIME(2)
TIO = TIME(3)
WRITE (JOUT,*//) TP,TIO

140

CONTINUE

IMPRESSAO DO VETOR INDEPENDENTE PARA KDI <= 6

IF (VERIF(10) .EQ. 0,0) GOTO 210
WRITE (JOUT,7000)
WRITE (JOUT,2000) (CSO(L), L = 1, NIS)
IF (KDI .EQ. 6) VERIF(10) = 0,0
FORMAT (1H0,'VETOR INDEPENDENTE PARA KDI = 1 A 6')
TP = TIME (2)
WRITE (JOUT,*//) "ANTES DE GAMAQ ",TP
CONTINUE

7000

210

CF *** FINAL DE VERIFICACAO *****

```

C
C      CALL GAMAQ
C      ( CSO, 1, ICT )
C      ICT = 1
C
C *** INICIO DE VERIFICACAO *****
C
C      IF ( VERIF(10) .EQ. 0.0 ) GOTO 171
C      TP = TIME (2)
C      WRITE (JOUT,*) "DEPOIS DE GAMAQ ",TP
C      CONTINUE
171
C
C      IF( VERIF(8) .EQ. 0.0 ) GOTO 180
C      WRITE ( 11=1 ) ( CSO(L), L = 1, NIS )
C      CLOSE ( 11, DISP = CRUNCH )
C      CLOSE ( 8, DISP = CRUNCH )
C      CLOSE ( 7, DISP = CRUNCH )
C      WRITE ( 12=1 ) ( DK(L), L = 1, NI )
C      CLOSE ( 12, DISP = CRUNCH )
C      VERIF(8) = 0.0
180
C      CONTINUE
C      IF( VERIF(1) .EQ. 0.0 ) GOTO 145
C
C      TP = TIME(2)
C      TIO = TIME(3)
C      WRITE ( JOUT,*) ) TP,TIO
C
C      MULTIPLICACAO DA MATRIZ SOLO PELO VETOR SOLUCAO CSO
C
C      DO 110 I = 1, NTBS
C      INDICE = NLBS
C      IF ( I .EQ. NTBS ) INDICE = NLUBS
C      L1 = (I-1) * NLBS
C      READ ( ISOLO1 = I )
C      ( ( CSI(IL,IC), IC = 1, NIS ) ,
C        IL = 1, INDICE )
C
C      IF ( VERIF(20) .EQ. 0.0 ) GOTO 121
C      WRITE ( JOUT,4000 )
C      WRITE ( JOUT,2000 )
C      ( ( CSI(IL,IC), IC = 1, NIS ) ,
C        IL = 1, INDICE )
121
C      CONTINUE
C
C      DO 115 J1 = 1, INDICE
C      L2 = L1 + J1
C
C      DO 120 J2 = 1, NIS
C      CR(L2) = CR(L2) + CSI(J1,J2)
C      * CSO(J2)
120
C      CONTINUE
C
C      CONTINUE
115
C
C      CONTINUE
110
C
C      WRITE ( JOUT,1000 )
C      WRITE ( JOUT,2000 )

```

(VR(IL),IL = 1,NIS),(CR(IL),IL = 1,NIS)

CONTINUE

IMPRESSAO DO VETOR SOLUCAO

IF (VERIF(3) .EQ. 0.0) GOTO 165
 WRITE (JOUT,5000)
 WRITE (JOUT,2000) (CSO(I), I = 1, NIS)
 CONTINUE

*** FINAL DE VERIFICACAO ****

FIXACAO DE KAUx PARA QUE EM TOKELV SEJAM
 CALCULADOS OS DESLOCAMENTOS GENERALIZADOS

KAUX = NOS ** 2 * 6 + 1

*** INICIO DE VERIFICACAO ****

IF (VERIF(2) .EQ. 0.0) GOTO 150

K20 = 0

TP = TIME(2)

TIO = TIME(3)

WRITE (JOUT,*//) TP,TIO

CONTINUE

*** FINAL DE VERIFICACAO ****

GERACAO DOS NOS DE REFERENCIA PARA DETERMINACAO DOS
 COEFICIENTES DE FLEXIBIL REFERENTES AO SOLU ISOLADO

DO 9 K9 = 1, NE

CL9 = DX(K1) ** 2 + DY(K1) ** 2 + DZ(K1) ** 2

USO DE PRECISAO DUPLA

CL9 = DSGRT (CL9)

CL9 = SORT (CL9)

W E' A COORDENADA DO NO' DE REFERENCIA

W(1) = X(K9) - CL9 / (2 * NDE)

W(2) = Y(K9)

W(3) = Z(K9)

DO 10 K10 = 1, NDE

W(1) = W(1) + CL9 / NDE

IAUX = 0

INDICE DE POSICAO DA COLUNA DE FK OU
 OU INDICE DE EFEITO. FK E' SIMETRICA.

- FK(CAUSA,EFEITO) -

KDJ = ((K9-1) * NDE + K10 - 1) * 6

DESLOCAMENTO DO MEIO INFINITO DEVIDO A
A ACAO UNIT APL NO INTERIOR DO SOLO =
AO SOMATORIO DAS SOLUCOES DE KELVIN.

DO 11 L = 1, 3

ZZ(L) = W(L) - XX(L)

CONTINUE

DO 12 L = 1, 6

F(L) = EU(K1,L)

CONTINUE

PONTO DE ACAO E' IGUAL AO DE EFEITO
USO DA SUBROTINA DLSC.

IF (XX(1) .EQ. W(1) .AND. K9 .EQ. K1)

GOTO 52

CALL TOKELV (F,1.,KAUX,ZZ)

GOTO 53

FIXO = CL9 / NDE

CALL DLSC (F,FIXO,KAUX)

IAUX = 1 DETERMINA QUE JA' SE SOMOU
TUDO A MATRIZ E O BLOCO PODE SER GRA-
VADO DE VOLTA AO DISCO ATRAVES DA SUB
ROTINA MATRIZ.

IAUX = 0

CALL MATRIZ (TD,KDJ,IAUX)

GERACAO DOS NOS DE SUPERFICIE E DETERM DE
SUAS RESPECTIVAS FORCAS DE SUPERFICIE CSO

Y1 = X(K1)

Y4 = X(K1) + CL

DO 13 K13 = 1, NDS ** 2 * 2

CALL COOR (DAS,NDS,K13,YY,Y1,Y4)

DO 16 L = 1, 3

ZZ(L) = W(L) - YY(L)

CONTINUE

DETERMINACAO DOS DESLOCAMENTOS NOS
NOS NOS DE REFERENCIA PARA FORCAS
GENERALIZADAS APLICADAS NAS SUPER-
FICIES (SOLUCAO DO SOLO),


```

C
C      DO 130 L      = 1, 6
C      F(L) = EU(K1,L)
130    CONTINUE
C
C      ULTIMA CHAMADA DE TESTE1, PARA ACAO
C      UNIT, APLICADA NO INTERIOR DO SOLO
C      -----
C
C      CALL TESTE1 ( F,XX,CL )
C
C      IMPRESSAO DE TEST
C      -----
C
C      IL = ( NDS+1 ) ** 2 * 6 * 2
C      WRITE ( JOUT,3000 )
C      WRITE ( JOUT,2000 )      ( TEST(L), L = 1, IL )
C
C      DO 135 L      = 1, 300
C      TEST(L) = 0.0
135    CONTINUE
C
C      CALL TESTE2 ( Y1,Y4,F,XX,AREA )
C
C      DO 124 L      = 1, 300
C      TEST(L) = 0.0
124    CONTINUE
C
C      K20 = 0
C
C      DETERMINA QUANDO AS VERIFICACOES SERAO SUPRIMIDAS
C
C      IF ( K2.EQ.1.AND.K3.EQ.6) GOTO 122
C      GOTO 161
122    DO 169 IL      = 1, 20
C      VERIF(IL) = 0.0
169    CONTINUE
C
C      161    CONTINUE
C
CF *** FINAL DE VERIFICACAO *****,
C
C      EU(K1,K3) = 0.0
C      3      CONTINUE
C
C      2      CONTINUE
C
C      1 CONTINUE
C
C      RETURN
C      END

```

SUBROUTINE VEIN (F,XX,Y1,Y4)

 SUBROTINA NUMERO - 13
 CALCULO E MONTAGEM DO VETOR INDEPENDENTE
 DO SISTEMA DE EQUACOES DO SOLO ISOLADO.

USO DE DUPLA PRECISAO
 IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)

COMMON/UM/ E ,G ,NCA ,NCO ,R(6,6) ,X(50) ,Y(50) ,Z(50) ,
 DX(50) ,DY(50) ,DZ(50) ,BETA(50) ,AX(50) ,XI(50) ,
 YI(50) ,ZI(50) ,IR ,I(6,6) ,S(6,6) ,SI(6,6) ,
 TR(6,6) ,
 XL ,NT ,ES(40,6) ,EB(6) ,KC ,EU(50,6) ,XEU ,
 AT(6) ,KDI ,PS ,ESOLO ,DAS ,NDS
 COMMON/SETE/ CONS , CL , CSI(108,600)
 COMMON/RETAL3/ CSO(600)
 DIMENSION XX(3) , YY(3) , ZZ(3) , COE(6) , F(6)

LOOP QUE DEFINE O NO' EM CUJAS 6 DIRECOES SERAO
 CALCULADAS AS REACOES (TENSAO) OU DESLOCAMENTOS
 NAS SUPERFICIES DEVIDO AO ESFORCO NO APLICADO NO
 INTERIOR DO MEIO INFINITO

AREA = 0.25 * CONS

DO 1 L = 1, 6
 COE(L) = 0.0

1 CONTINUE

DO 2 I1 = 1, NDS**2*2
 IEFE = (I1-1) * 6

GERACAO DOS NOS DA SUPERFICIE = "YY"
 SUPERIOR SE 1 < I1 <= NDS**2
 INFERIOR SE NDS**2 < I1 <= NDS**2*2

CALL COOR (DAS,NDS,I1,YY,Y1,Y4)

DETERMINACAO DA COORDENADA RELATIVA

DO 4 K = 1, 3
 ZZ (K) = YY (K) - XX (K)

4 CONTINUE

CALL CALC (F,AREA,ZZ,COE,IEFE)

COLOCACAO DO RESULTADO NO VETOR INDEPENDENTE
 E ANULACAO DO VETOR "COE" PARA CALCULO DO
 EFEITO EM OUTRO NO' QUE E' DEFINIDO PELA VA-
 RIÁVEL "I" DO "DO" DE ROTULO "2".

DO 3 L. = 1, 6
IL = IEFE + L

MONTAGEM DO SISTEMA PARA ENTRADA EM GAUSS
[CSI] * [?] = [CSO]

CSO (IL) = - COE (L)
COE (L) = 0,0

3 CONTINUE

2 CONTINUE

RETURN
END

SUBROUTINE MASQ (Y1,Y4)

SUBROTINA NUMERO = 26

DETERMINACAO DOS COEFICIENTES E MONTAGEM DA MATRIZ DO SISTEMA DE EQUACOES DO SOLO ISOLADO. PARA UMA ACAA UNITARIA APLICADA EM UMA DAS 6 DIRECOES DE UM NO' (ICAUSA), CALCULA-SE O EFEITO EM TODAS AS DIRECOES DAS DUAS SUPERFICIES (IEFE) COLOCANDO-OS NA MATRIZ DO SOLO QUE E' CHEIA E ASSIMETRICA : COEFIC (IEFE,ICASA).

```
COMMON/UM/      E , G , NCA , NCO , R(6,6) , X(50) , Y(50) , Z(50) ,
-              DX(50) , DY(50) , DZ(50) , BETA(50) , AX(50) , XI(50) ,
-              YI(50) , ZI(50) , IR , T(6,6) , S(6,6) , ST(6,6) ,
-              TR(6,6) ,
-              XL , NT , ES(40,6) , EB(6) , KC , EU(50,6) , XEU ,
-              AT(6) , KDI , PS , ESOLO , DAS , NDS
COMMON/CINCO/   IN , JOUT , IARQ1 , IE0 , ISOL01 , ITROCA
COMMON/OITO/    NIS , NLBS , NTBS , NLUBS , IRECS , IPOSS
COMMON/SETE/    CONS , CL , CSI(108,600)
COMMON/RETAL3/  CSO(600)
```

*** INICIO DE VERIFICACAO ****

```
COMMON/ONZE/    VERIF(80)
```

*** FINAL DE VERIFICACAO ****

```
DIMENSION      F(6) , COE(6) , XX(3) , YY(3) , ZZ(3)
```

INICIALIZACAO

```
IRECS = 1
AREA = DAS / ( NDS * 4.0 )
```

```
DO 10 I10      = 1 , 6
  F(I10) = 0.0
```

0 CONTINUE

LACO QUE DEFINE O NO' EM CUJAS 6 DIRECOES SERAO CALCULADOS OS COEFICIENTES DA MATRIZ = EFEITO DEVIDO A UMA FORCA UNITARIA APLICADA EM OUTRO NO' DEFINIDO NO SEGUNDO LACO = CAUSA

```
DO 5 I1      = 1 , NDS ** 2 ** 2
  IEFE = (I1 - 1) * 6
  IPOSS = IEFE * ( (IRECS-1) * NLBS )
```

```
GERACAO DOS NDS DA SUPERFICIE (COORD. "YY") :
SUPERIOR SE      1 < I1 <= ( NDS ** 2 )
INFERIOR SE ( NDS**2 ) < I1 <= ( NDS**2*2 )
-----
```

```
CALL COOR ( DAS , NDS , I1 , YY , Y1 , Y4 )
```

```

C
C      LACO QUE DEFINE O NO' EM CUJA 1, DAS 6 DIRECOES
C      (ICAUSA) SERA' APLICADO UM ESFORCO UNITARIO A-
C      FIM DE CALCULAR OS EFEITOS ( REACAO OU DESLOCA-
C      MENTOS ) NAS DIRECOES DO NO' DO LOOP ANTERIOR.
C      -----

```

```

C      DO 6 I4      = 1, NDS ** 2 * 2
C      ICAUSA = (I4-1) * 6

```

```

C      GERACAO DOS NOS DA SUPERFICIE = "XX"
C      SUPERIOR SE 1 < I4 <= NDS**2
C      INFERIOR SE NDS**2 < I4 <= NDS**2*2
C      -----

```

```

C      CALL COOR ( DAS,NDS,I4,XX,Y1,Y4 )

```

```

C      CALCULO DAS COORDENADAS RELATIVAS ARMAZENADAS EM "ZZ"
C      ORIGEM DO EIXO RELATIVO NO PUNTO DE APLICACAO DA ACOO
C      PARA ENTRADA NA SUBROTINA TOKELV (CALC, TENS. E DESL)
C      -----

```

```

C      DO 7 L1      = 1, 3
C      ZZ(L1) = YY(L1) - XX(L1)
C      CONTINUE

```

```

C      7
C      CI *** INICIO DE VERIFICACAO *****
C      IF ( VERIF(13) .EQ. 0.0 )      GOTO 12
C      IF ( I1 .GE. 2 )                GOTO 12
C      WRITE ( JOUT,*// ) YY, XX, ZZ, ICAUSA, IEFE, IPOSS
C      CONTINUE

```

```

C      12
C      CF *** FINAL DE VERIFICACAO *****
C      DETERMINACAO DA DIRECAO DA FORCA APLICADA E SUA GRANDEZA
C      -----

```

```

C      DO 8 I7      = 1, 6
C      F (I7) = 1.0
C      ICAUSA = ICAUSA + 1

```

```

C      CALL CALC (F,AREA,ZZ,COE,IEFE)

```

```

C      COLOCACAO DOS COEFICIENTES CALCULADOS
C      EM COE, NA MATRIZ DO SISTEMA DO SOLO
C      -----

```

```

C      CI *** INICIO DE VERIFICACAO *****
C      IF ( VERIF ( 13 ) .EQ. 0.0 )      GOTO 50
C      IF ( I1 .GE. 2 )                GOTO 50
C      WRITE ( JOUT,*// ) COE
C      CONTINUE

```

```

C      50
C      CF *** FINAL DE VERIFICACAO *****
C

```

```

DO 9 LS          = 1, 6
  J              = IPOSS + LS
  CSI (J, ICAUSA) = COE (LS)
  COE (LS)       = 0.0
9 CONTINUE

ZERA "F" PARA QUE O MESMO PROCESSO SEJA
EXECUTADO PARA ICAUSA EM OUTRA DIRECAO
-----

F (I7) = 0.0
IF ( J .EQ. NLBS .AND. ICAUSA .EQ. NIS ) GOTO 11
IF ( (IEFE+6) .EQ. NIS .AND. ICAUSA .EQ. NIS )
GOTO 11
GOTO 8

GRAVACAO DA MATRIZ EM DISCO.
CADA BLOCO DE CSI E' GRAVADO
EM UM REGISTRO DO DISCO.
-----

11 WRITE ( ISOLO1 = IRECS )
    ( ( CSI(IJ, JJ), JJ = 1, NIS ), IJ = 1, J )
    IRECS = IRECS + 1
8 CONTINUE
6 CONTINUE
5 CONTINUE

CF *** INICIO DE VERIFICACAO *****
C IF ( VERIF (14) .EQ. 0.0 ) GOTO 14
C
DO 15 IND = 1, NTBS
  ILI = 1
  ILF = NLBS
  IF ( IND .EQ. NTBS ) ILF = NLBS
  READ (ISOLO1 = IND )
    ( ( CSI (IL, IC), IC = 1, NIS ), IL = ILI, ILF )
  WRITE (3,100)
    ( ( CSI (IL, IC), IC = 1, NIS ), IL = ILI, ILF )
15 CONTINUE
100 FORMAT ( 6E20.6)
C
14 CONTINUE
C
CF *** FINAL DE VERIFICACAO *****
C
RETURN
END

```

SUBROUTINE COSOLO (COE,TD,AA,BB)

SUBROTINA NUMERO - 14

DETERMINACAO DOS COEFICIENTES DA MATRIZ
DO SISTEMA SOLO PARA SUPERFICIE SUPERIOR
COMO SOMATORIO DAS ACOES GENERALIZADAS
NAS VIZINHANÇAS DO PONTO.

USO DE PRECISAO DUPLA
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)

DEFINICAO DAS VARIAVEIS

AA (3) COORDENADA DE UM PONTO NA
VIZINHANCA DO PONTO DA SU
DA SUPERFICIE SUPERIOR ON
DE CALCULA-SE AS REACOES.
BB (3) COORDENADA DO PONTO DA SU
DA SUPERFICIE SUPERIOR ON
DE CALCULA-SE AS REACOES.

DIMENSION COE (6), TD (6), AA (3), BB (3)

COE (1) = COE (1) + TD (1)
COE (2) = COE (2) + TD (6)
COE (3) = COE (3) + TD (5)
COE (4) = COE (4) + TD (5) * (AA (2) - BB (2)) -
- TD (6) * (AA (3) - BB (3))
COE (5) = COE (5) + TD (1) * (AA (3) - BB (3))
COE (6) = COE (6) - TD (1) * (AA (2) - BB (2))

RETURN
END

SUBROUTINE DLSC (F,AREA,KAUX)

SUBROTINA NUMERO = 15

DETERMINACAO DO DESLOCAMENTO SOB CARGA CONCENTRADA
NO INTERIOR DO SOLO E AO LONGO DO EIXO DA ESTACA

ARTIFICIO UTILIZADO = DISTRIBUICAO DA CARGA CON-
CENTRADA NAS VIZINHANÇAS DO PONTO, LINEARMENTE.
O VALOR DO DESLOCAMENTO SERA A MEDIA DOS SOMATO-
RIOS DE TODOS OS DESLOCAMENTOS VIZINHOS AO PONTO.

USO DE PRECISAO DUPLA
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)

DEFINICAO DAS VARIÁVEIS

COMMON/NOVE/ TD(6)
DIMENSION DLAUX(6), W(3), XX(3), P(6), F(6), ZZ(3)

DO 1 L = 1, 6
DLAUX(L) = 0.0
P(L) = F(L) / 5.0

1 CONTINUE

DO 2 L = 2, 3
ZZ(L) = 0.0

2 CONTINUE

W E' COORDENADA DOS PONTOS DE APLICACAO DAS
CARGAS DISTRIBUIDAS NO TRECHO DE INFLUENCIA
XX E' A COORDENADA DOS PONTOS ONDE SERAO CAL-
CULADOS OS DESLOCAMENTOS (VIZINHANÇAS DO PTO)
ZZ E' COORDENADA RELATIVA ENTRE W E XX.

W(1) = -0.6 * AREA

DO 3 K1 = 1, 5
W(1) = W(1) + AREA / 5.0
XX(1) = -0.7 * AREA

DO 4 K2 = 1, 6
XX(1) = XX(1) + AREA / 5.0
ZZ(1) = XX(1) - W(1)
CALL TDKELV (P,AREA,KAUX,ZZ)

DESL E' A MEDIA DOS DESLOCAMENTOS
NOS PONTOS XX (6 PONTOS)

DO 5 L = 1, 6
DLAUX(L) = DLAUX(L) + TD(L) / 6.0

5 CONTINUE

4 CONTINUE

C

3 CONTINUE

C

C

RETORNO DA SOLUCAO NO VETOR TD(6)

C

C

DO 6 L = 1, 6

TD(L) = DLAUX(L)

C

6 CONTINUE

RETURN

END

SUBROUTINE TOKELV (F,AREA,KAUX,ZZ)

SUBROTINA NUMERO = 16

DETERMINACAO DAS TENSUES, DESLOCAMENTOS E ROTACOES PARA O PROD
DE KELVIN, E PARA MOMENTO APLICADO NAS TRES DIRECOES(MEIO INF)

USO DE PRECISAO DUPLA
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)

DEFINICAO DE VARIAVEIS

AREA	TAMANHO DA DIVISAO DA SUPERFI- CIE DO MEIO (ASSUME / 4). A AREA REAL SERA' = (AREA ** 2)
DAS	TAMANHO DA SUPERFICIE
NDS	NUMERO DE DIVISORES DO SOLO NO CASO = 1. USO OBRIGATORIO EM SUBROTINA CALC.
TD (6)	TENSAO OU DEFORMACAO PARA O PROBLEMA DE KELVIN OU SIMILAR
PS	COEFICIENTE DE POISSON DO SOLO
ESOLO	MODULO DE ELASTICIDADE DO SOLO
F (6)	ESFORCO APLICADO
ZZ (3)	COORDENADA RELATIVA
KAUX	CALCULA TENSAO SE KAUX < NDS**2 INDICANDO A SUPERFICIE SUPERIOR OU DESLOCAMENTO CASO CONTRARIO

```
COMMON/UM/  E , G , NCA , NCO , R(6,6) , X(50) , Y(50) , Z(50) ,
-           DX(50) , DY(50) , DZ(50) , BETA(50) , AX(50) , XI(50) ,
-           YI(50) , ZI(50) , IR , T(6,6) , S(6,6) , ST(6,6) ,
-           TR(6,6) ,
-           XL , NT , ES(40,6) , EB(6) , KC , EU(50,6) , XEU ,
-           AT(6) , KDI , PS , ESOLO , DAS , NDS
COMMON/NOVE/ TD(6)
DIMENSION   F (6) , ZZ (3)
```

RAIO = DISTANCIA ORIGEM AO PONTO

PRECISAO DUPLA

RA = DSQRT (ZZ (1) ** 2 + ZZ (2) ** 2 + ZZ (3) ** 2)

RA = SQRT (ZZ (1) ** 2 + ZZ (2) ** 2 + ZZ (3) ** 2)

ZERANDO VETOR

```
DO 1 J      = 1, 3
  TO (J)    = 0.0
  TO (J+3)  = 0.0
```

1 CONTINUE

INICIALIZACAO DE VARIAVEIS AUXILIARES

```

C
C      K = 1
C
DO 2 J = 1, 3
  IF ( J.EQ.1 ) GOTO 5
  IF ( J.EQ.2 ) GOTO 4
  M = 1
  N = 2
  GOTO 6
4    M = 1
  N = 3
  GOTO 6
5    M = 2
  N = 3
C
6    DO 7 I = 1, 3
      IF ( J.NE.I ) GOTO 8
      K = 0
      IS = 1
C
8    DO 9 L1 = 1, 3
      IF ( L1.NE.I .AND. L1.NE.J ) L = L1
9    CONTINUE
      IF ( K.AUX .GE. (NDS**2*6) ) GOTO 10
      TENSOES
      -----
      TD (J) = TD (J) - F (I) * ZZ (I) * ( 3 * ZZ (J) ** 2 /
RA ** 2 + (1-2*PS) * (-1) ** K ) / ( 8. * 3.141593 *
(1-PS) * RA ** 3 ) + 3 * F (I+3) * ZZ (J) * ZZ (L) * K *
(-1) ** (IS+1) / ( 4. * 3.141593 * RA ** 5 )
C
      TD (J+3) = TD (J+3) - F (I) * ( 3 * ZZ (M) * ZZ (N) *
ZZ (I) / RA ** 2 + K * (1-2*PS) * ZZ (L) ) / ( 8. *
3.141593 * (1-PS) * RA ** 3 ) + 3 * F (I+3) * ( ZZ (J) *
ZZ (I) * (-1) ** IS * K + ( ZZ (M) ** 2 - ZZ (N) ** 2 )
* (1-K) * (-1) ** J ) / ( 8. * 3.141593 * RA ** 5 )
      GOTO 11
C
      DESLOCAMENTOS - DE TD(1) ATE TD(3)
      E ROTACOES - DE TD(4) ATE TD(6)
      -----
10   TD (J) = TD (J) + F (I) * (1+PS) * (ZZ (J) * ZZ (I) /
RA ** 2 + (3-4*PS) * (1-K) ) / ( 8. * 3.141593 *
ESOLO * (1-PS) * RA ) + 2 * (1+PS) * F (I+3) * ZZ (L)
* K * (-1) ** IS / ( 8. * 3.141593 * ESOLO * RA ** 3 )
C
      TD (J+3) = TD (J+3) + (1+PS) * F (I) * K * (-1) ** IS *
ZZ (L) / ( 4. * 3.141593 * ESOLO * RA ** 3 ) + F (I+3)
* (1+PS) * ( ( 2 - 3 * ( ZZ (M) ** 2 + ZZ (N) ** 2 ) /
RA ** 2 ) * (1-K) + 3 * ZZ (J) * ZZ (I) * K * (-1)
** (IS+1) / RA ** 2 ) / ( 8. * 3.141593 * ESOLO *
RA ** 3 )
11   IF ( I.EQ. 3 ) GOTO 12
      IS = IS + 1

```

```

12      K = 1
7      CONTINUE
C
2 CONTINUE
C
  IF ( KAUXX .GE. (NDS ** 2 * 6) ) GOTO 15
C
  TENSÃO MULTIPLICADA PELA ÁREA
  -----
C
  DO 20 L      = 1, 6
      TD (L) = TD (L) * AREA ** 2
20 CONTINUE
C
15 RETURN
  END

```

SUBROUTINE TDSC (F,CONS,KAUX)

SUBROTINA NUMERO = 17

ESTA SUB. CALCULA A TENSÃO OU DESLOCAMENTO SOB
CARGA CONCENTRADA CONSIDERANDO UMA INTEGRAÇÃO AO
LONGO DA ÁREA DEFINIDA PARA AS DUAS SUPERF. PLANAS

USO DE PRECISAO DUPLA
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)

DEFINICAO DE VARIÁVEIS

AREA	TAMANHO DA DIVISAO DA SUPERFICIE DO MEIO (ASSUME / 4), A ÁREA REAL SERÁ = (AREA ** 2)
DAS	TAMANHO DA SUPERFICIE
NDS	NUMERO DE DIVISOES DA SUPERFICIE
TO (6)	TENSÃO OU DEFORMACAO PARA O PROBLEMA DE KELVIN INCLUINDO O MOMENTO APLICADO.
PS	COEFICIENTE DE POISSON DO SOLO
ESOLO	MODULO DE ELASTICIDADE DO SOLO
CONS	DAS / NDS
KAUX	INDICA SE A SUPERFICIE É SUPERIOR OU INFERIOR.
W(3)	PONTO DE APLICACAO DA CARGA
XX (3)	PONTO NAS VIZINHANÇAS ONDE CALCULA-SE O DESLOCAMENTO PARCIAL
P (6)	CARGA DISTRIBUIDA NA SUPERFICIE
TDAUX (6)	DESLOCAMENTO EM VETOR AUXILIAR
ZZ (3)	COORDENADA RELATIVA
F (6)	CARGA CONCENTRADA NO PONTO.

COMMON/UM/ E , G , NCA , NCO , R(6,6) , X(50) , Y(50) , Z(50) ,
 OX(50) , OY(50) , OZ(50) , BETA(50) , AX(50) , XI(50) ,
 YI(50) , ZI(50) , IR , T(6,6) , S(6,6) , ST(6,6) ,
 TR(6,6) ,
 XL , NT , ES(40,6) , EB(6) , KC , EU(50,6) , XEU ,
 AT(6) , KDI , PS , ESOLO , DAS , NDS
 COMMON/NOVE/
 DIMENSION TO(6)
 W (3) , XX (3) , P (6) , TDAUX (6) , ZZ (3) , F (6)

ZERANDO

DO 1 L = 1, 6
 TDAUX (L) = 0.0
 P (L) = F (L) / 25.0

1 CONTINUE

ZZ (1) = 0.0

GERACAO DE NOS DE INTERSECAO DAS DIVISOES DA ÁREA EM CONSIDERACAO

W (3) = -0.6 * CONS

DO 2 K1 = 1, 5

W (3) = W (3) + CONS / 5.0

W (2) = -0.6 * CONS

DO 3 K2 = 1, 5

W (2) = W (2) + CONS / 5.0

XX (3) = -0.7 * CONS

DO 4 K3 = 1, 6

XX (3) = XX (3) + CONS / 5.0

XX (2) = -0.7 * CONS

DO 5 K4 = 1, 6

XX (2) = XX (2) + CONS / 5.0

DO 6 L = 2, 3

ZZ (L) = XX (L) - W (L)

CONTINUE

CALL TOKELV (P,1.,KAUX,ZZ)

DESL E' A MEDIA DOS DESLOCAMENTOS

NOS PONTOS VIZINHOS (36 PONTOS)

DO 7 L = 1, 6

TDAUX (L) = TDAUX (L) + TD (L) / 36.0

CONTINUE

CONTINUE

CONTINUE

CONTINUE

CONTINUE

RETORNO DO RESULTADO NO VETOR TD(6)

DO 8 L = 1, 6

TD (L) = TDAUX (L)

CONTINUE

RETURN

END

SUBROUTINE CALC (F, AREA, ZZ, COE, KIEFE)

SUBROTINA NUMERO = 20

CALCULO DAS TENSOES OU DEFORMACOES EM UM
NO' DA SUPERFICIE SUPERIOR OU INFERIOR,
DADAS AS FORÇAS QUE ATUAM EM OUTRO NO'.
A COORDENADA RELATIVA AO NO' ONDE F(6)
ESTA APLICADA E' ZZ(3). KIEFE DETERMINA
EM QUE SUPERFICIE ESTA-SE CALCULANDO AS
TENSOES OU DEFORMACOES.

USO DE PRECISAO DUPLA
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)

DEFINICAO DAS VARIAVEIS

AREA	TAMANHO DA DIVISAO DA SUPERFI- CIE DO MEIO (ASSUME / 4). A AREA REAL SERA' = (AREA ** 2) CASO = 1. USO OBRIGATORIO EM SUBROTINA CALC.
F(6)	ACAO APLICADA
UU(5)	COORD. RELATIVA DE UM PTO VIZI- NHO AO PTO DE APLICACAO DA ACAO
COE(6)	SOMATORIO DAS REACOES DA SUPER- FICIE SUPERIOR.
ZZ(3)	COORDENADA RELATIVA DO PONTO DE EFEITO. INDICAR A POSICAO DO EFEITO

```
COMMON/UM/      E , G , NCA , NCO , R(6,6) , X(50) , Y(50) , Z(50) ,
-              DX(50) , DY(50) , DZ(50) , BETA(50) , AX(50) , XI(50) ,
-              YI(50) , ZI(50) , IR , T(6,6) , S(6,6) , ST(6,6) ,
-              TR(6,6) ,
-              XL , NT , ES(40,6) , EB(6) , KC , EU(50,6) , XEU ,
-              AT(6) , KDI , PS , ESOLQ , DAS , NDS
COMMON/SETE/    CONS , CL , CSI(108,600)
COMMON/RETAL3/  CSO(600)
COMMON/NOVE/    TD(6)
DIMENSION      F (6) , UU (3) , COE (6) , ZZ (3)
```

DESLOCAMENTO DA SUPERFICIE INFERIOR

```
CONS = DAS / NDS
IF ( KIEFE .LT. (NDS**2*6) )      GOTO 51
IF ( ZZ (1) .EQ. 0 .AND. ZZ(2) .EQ. 0 .AND. ZZ (3) .EQ. 0 ) GOTO 50
CALL TDKELV ( F, AREA, KIEFE, ZZ )
```

```
54 DO 1 L      = 1, 6
      COE (L) = COE (L) + TD (L)
1 CONTINUE
```

GOTO 52

DESLOCAMENTO SOB CARGA CONCENTRADA

50 CALL TDSC (F,CONS,KIEFE)

GOTO 54

TENSAO NA SUPERFICIE SUPERIOR COMO SOMATO-
RIO DAS REACOES AO REDOR DO PONTO DE EFEITO

51 IF (ZZ (1) .EQ. 0 .AND. ZZ (2) .EQ. 0 .AND. ZZ(3) .EQ. 0) GOTO 53
UU (1) = ZZ (1)
UU (3) = ZZ (3) - 0.625 * CONS

DO 3 K3 = 1, 4

UU (3) = UU (3) + 0.25 * CONS

UU (2) = ZZ (2) - 0.625 * CONS

DO 4 K4 = 1, 4

UU (2) = UU (2) + 0.25 * CONS

CALL TDRELV (F,AREA,KIEFE,UU)

CALL COSOLO (COE,TD,UU,ZZ)

4 CONTINUE

3 CONTINUE

GOTO 52

REACAO SOB CARGA CONCENTRADA

53 DO 5 L = 1, 6

COE (L) = COE (L) + F (L) / 2.0

5 CONTINUE

52 CONTINUE

RETURN

END

SUBROUTINE COOR (DAS,NDS,NNO,C,Y1,Y4)

SUBROTINA NUMERO - 22

CALCULA A COORDENADA DO PROXIMO NO' NOS EIXOS "2" E "3" SEN
DO CONHECIDAS AS COORDENADAS ANTERIORES = C(2) E C(3) .
AS COORDENADAS "C" SAO INICIALIZADAS DEPENDENDO DO NUM DO NO
FIXA C (3) E INCREMENTA C (2) ATE' CHEGAR AO VALOR LIMITE .
INCREMENTA C(2) E COMECA DO INICIO A INCREM. C(3) NOVAMENTE.

USO DE PRECISAO DUPLA

IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)

DEFINICAO DAS VARIAVEIS

C(3)	VETOR ASSOCIADO AS COORDENADAS
Y(6)	NO EIXO "2" E "3" RESPECTIVAM/
	COORD DO PONTO CENTRAL DAS SU-
	PERFICIES SUPERIOR E INFERIOR
LIVC	LIMITE INFERIOR DA VARIAVEL C
LSVC	LIMITE SUPERIOR DA VARIAVEL C
DAS	LADO DAS SUPERFICIES QUADRADAS
NDS	NUMERO DE DIVISOES DAS SUPERF.
IL	INDICE DE LINHA GERAL
NNO	NUMERO DO NO' A DETERM A COORD

REAL C(3),
Y(6),
LIVC,
LSVC,
DAS

INTEGER NOS,
IL,
NNO

INICIALIZACAO

Y(1) = Y1
Y(4) = Y4
IF (NNO .GT. NDS ** 2) GOTO 14
IL = 1
GOTO 15
14 IL = 4
15 LSVC = (0.5 * DAS / NDS) * (NDS - 1)
LIVC = - LSVC

VERIFICACAO SE PRECISA INICIALIZAR O NO'

1 IF (NNO = 1) 11,3,2
2 IF (NNO = (NDS ** 2 + 1)) 5,3,16
16 IF (NNO = (NDS ** 2 * 2)) 5,5,12

INICIALIZACAO DO VETOR "C"

```

C -----
C
3 CONTINUE
  IF ( NNO .EQ. 1 )      IL = 1
  IF ( NNO .EQ. NDS ** 2 + 1 )  IL = 4
  C (1) = Y (IL)
C
  DO 4 I      = 1, 2
    C (I+1) = Y (IL+1) + LIVC
4 CONTINUE
C
  GOTO 9
C
  TESTA SE C (2) CHEGOU AO FINAL
C -----
C
5 IF ( C (2) - ( Y(IL+1)+LSVC ) ) 6,7,10
C
  INCREMENTO DA COORDENADA DO EIXO "3" GLOBAL
C -----
C
6 C (2) = C (2) + DAS / NDS
  GOTO 9
C
  TESTA SE C(1) CHEGOU AO FINAL
C -----
C
7 IF ( C (3) - ( Y(IL+2)+LSVC ) ) 8,13,13
C
  INCREMENTO DA COORDENADA DO EIXO GLOBAL "2"
C -----
C
8 C (2) = Y (IL+1) + LIVC
  C (3) = C (3) + DAS / NDS
C
9 CONTINUE
  RETURN
C
  ERRO NA MONTAGEM DO VETOR OU MATRIZ, OU
  POSSIVEL ERRO NOS PARAMETROS DE ENTRADA
C -----
C
10 CALL ERRO ( 22,0,5 )
11 CALL ERRO ( 22,0,1 )
12 CALL ERRO ( 22,0,2 )
13 CALL ERRO ( 22,0,7 )
C
END

```

SUBROUTINE LAYOUT

 SUBROTINA NUMERO = 23

COMMON/CINCO/ IN ,JOUT ,IARQ1 ,IEQ,ISOL01,ITROCA

WRITE (JOUT,100)

100 FORMAT (1H1,5(/),32X,

```

- 60H#####,
- 5H#####/,32X,1H#,66X,1H#,/,32X,
- 50H# PROGRAMA TELLUS : INTERACAO ENTRE ESTACAS EM MEIO HOMO,
- 8HGENED #/,32X,
- 1H#,66X,1H#,/,32X,
- 60H# PREPARADO POR : SOLANGE GUIMARAES ,
- 5H #/,32X,1H#,66X,1H#,/,32X,
- 60H# ULTIMA ATUALIZACAO : JULHO/1982 ( NCE-UFRJ ) ,
- 5H #/,32X,1H#,66X,1H#,/,32X,
- 60H# DESENVOLVIDO COMO TESE DE MESTRADO PARA COPPE-UFRJ ,
- 5H #/,32X,1H#,66X,1H#,/,32X,
- 60H# PROGRAMADO PARA O COMPILADOR FORTRAN DO COMPUTADOR ,
- 5H #/,32X,1H#,66X,1H#,/,32X,
- 60H# BURROUGHS B6700 (RELEASE 3.1 DO SISTEMA OPERACIONAL,
- 8H) #/,32X,1H#,66X,1H#,/,32X,
- 60H#####,
- 8H#####,10 (/) )
RETURN
END

```

```
SUBROUTINE ERRO ( I,J,K )
```

```
C
C
C
C
C
C
C
```

```
-----
SUBROTINA NUMERO = 24
ERRO DE ENTRADA INCOMPATIVEL
COM PREMISSAS ADOTADAS.
-----
```

```
COMMON/CINCO/ IN, JOUT, IAR01,IE0,ISOLO1,ITROCA
```

```
WRITE ( JOUT,1 ) I,K
```

```
C
C
C
C
C
```

```
1 FORMAT (4(/),5X,'**** ERRO NA SUBROTINA NUM ',I2,'****',
-        '* INSTRUCAO NUM ',I3,' *' )
```

```
STOP
```

```
END
```

```
CI *** INICIO DE VERIFICACAO ****
C
```

SUBRO309200 SUBROUTINE TESTE1 (F,AA,CL)

 SUBROTINA SEM NUMERO
 SOMENTE PARA TESTE DAS TENSOES E
 DESLOCAMENTOS PARA O SOLIDO LIMITADO
 TESTA FORA DOS PONTOS GERADOS PARA
 APLICACAO DAS ACCES NAS SUPERFICIE.

USO DE DUPLA PRECISAO
 IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)

COMMON/UM/ E ,G ,NCA ,NCO ,R(6,6) ,X(50) ,Y(50) ,Z(50) ,
 DX(50) ,DY(50) ,DZ(50) ,BETA(50) ,AX(50) ,X1(50) ,
 Y1(50) ,Z1(50) ,IR ,T(6,6) ,S(6,6) ,ST(6,6) ,
 TR(6,6) ,
 XL ,NT ,ES(40,6) ,EB(6) ,KC ,EU(50,6) ,XEU ,
 AT(6) ,KDI ,PS ,ESOLO ,DAS ,NDS
 COMMON/NOVE/ TD(6)
 COMMON/DEZ/ TEST(300)
 DIMENSION F(6) , AA(3) , BB(5) , ZZ(3)

BB(1)=X(1)-CL

DO 1 K1=1,2
 BB(1)=BB(1)+CL
 BB(3)=-DAS*(0.5+1./NDS)

DO 2 K2=1,NDS+1
 BB(4)=BB(3)+DAS/NDS
 BB(2)=-DAS*(0.5+1./NDS)
 DO 3 K3=1,NDS+1
 BB(2)=BB(2)+DAS/NDS

DO 4 L=1,3
 ZZ(L)=BB(L)-AA(L)

I=((K1-1)*(NDS+1)+*2+(K2-1)*(NDS+1)+K3-1)*6
 IF (K1.EQ. 1) GOTO 10
 KEFE = NDS ** 2 * 6 + 1
 GOTO 20
 KEFE = 1
 CONTINUE
 CALL TOKELV(F,1.,KEFE,ZZ)

DO 5 L=1,6
 LI=L+1
 TEST(LI)=TEST(LI)+TD(L)
 CONTINUE

CONTINUE

CONTINUE

CONTINUE

RETURN
 END

SUBROUTINE TESTE2 (Y1,Y4,P,XX,AREA)

 SUBROTINA SEM NUMERO
 SUBROTINA DE VERIFICACAO DAS REACOES NA SUPERFICIE
 SUPERIOR E DESLOCAMENTOS NA INFERIOR, QUE DEVEM SER
 NULOS, A PARTIR DOS RESULTADOS OBTIDOS PELA SOLUCAO
 DO SISTEMA DE EQUACOES DO SOLO ISOLADO (VETOR CSO).
 OS PONTOS DE VERIFICACAO SAO OS MESMOS DE APLICACAO
 DOS ESFORÇOS NAS SUPERFICIES.

USO DE DUPLA PRECISAO
 IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)

COMMON/UM/ E,G,NCA,NCO,R(6,6),X(50),Y(50),Z(50),
 - OX(50),OY(50),OZ(50),BETA(50),AX(50),XI(50),
 - YI(50),ZI(50),IR,T(6,6),S(6,6),ST(6,6),
 - TR(6,6),
 - XL,RI,ES(40,6),EB(6),XC,EU(50,6),XEU,
 - AT(6),KDI,PS,ESOLO,DAS,NDS
 COMMON/CINCO/ IN,JOUT,IAR31,ILO,ISOLO1,ITROCA
 COMMON/SETE/ CONS,CL,CSI(108,600)
 COMMON/RETALE/ CSO(600)
 COMMON/DITO/ NIS,NLCS,NTBS,NLUBS,IRECS,IPOSS
 COMMON/NOVE/ IO(6)
 COMMON/DEZ/ TEST(500)
 DIMENSION ZZ(3),YY(3),XX(3),F(6),P(6),COE(6),WN(3)

LOOP QUE DEFINE O PONTO ONDE SE CALCULA A TENSAO

DO 14 I1 = 1, NDS ** 2 * 2
 KEFE = (I1-1) * 6

DETERMINACAO DAS COORDENADAS DA SUPERFICIE

CALL COOR (DAS,NDS,I1,YY,Y1,Y4)

CALCULO DA TEN-DESL EM UM PONTO DA SUPERF PARA
 1 FORÇA APLICADA EM UM PTO NO INTERIOR DO SOLO

DO 15 I2 = 1, 3
 ZZ (I2) = YY(I2) * XX(I2)

CONTINUE

CALL CALC (P,AREA,ZZ,COE,KEFE)

SOMATORIO DOS RESULTADOS NO VETOR TEST

DO 16 I3 = 1, 6
 IL = KEFE + I3
 TEST(IL) = TEST(IL) + COE (I3)
 COE (I3) = 0.0

CONTINUE

16

```

C
C      LOOP QUE DEFINE O NO' DA SUPERFICIE ONDE O
C      ESFORÇO CALCULADO PELO SISTEMA SERA' APLIC.
C      -----
C      DO 17 I4      = 1, NDS ** 2 * 2
C      ICAUSA = (I4-1) * 6
C
C      DETERMINACAO DA COORDENADA DO NO' REFERENTE A I4
C      -----
C      CALL COOR ( OAS,NDS,I4,XH,Y1,Y4 )
C
C      COLOCACAO DOS ESFORÇOS APLICADOS NO NO'
C      DE SUPERFICIE ( SOLUCAO DO SISTEMA ),
C      NO VETOR AUXILIAR "F" PARA ENTRADA NA
C      SUBROTINA "TOKELV".
C      -----
C      DO 18 L      = 1, 6
C      IL      = ICAUSA + L
C      F (L) = CSO (IL)
18      CONTINUE
C
C      CALCULO DA COORDENADA RELATIIVA
C      PARA ENTRADA NA SUBROTINA "TOKELV"
C      -----
C      DO 19 I5      = 1, 3
C      ZZ (I5) = YY (I5) - WW (I5)
19      CONTINUE
C
C      CALL CALC ( F,AREA,ZZ,COE,KEFE )
C
C      SOMATORIO DOS RESULTADOS NO VETOR TEST
C      -----
C      DO 20 I6      = 1, 6
C      IL      = KEFE + I6
C      TEST(IL) = TEST(IL) + COE (I6)
C      COE (I6) = 0.0
20      CONTINUE
C
C      17      CONTINUE
C
C      14 CONTINUE
C
C      IMPRESSAO DAS TENSOES E DEFORMACOES FINAIS NAS SUPERFICIES
C      -----
C      WRITE ( JOUT,700 )
C      WRITE ( JOUT,200 ) ( TEST(L), L = 1, NIS/2 )
C      WRITE ( JOUT,800 )
C      WRITE ( JOUT,200 ) ( TEST(L), L = (NIS/2+1), NIS )
C      RETURN
C
C      DEFINICAO DOS FORMATOS DE SAIDA

```

```
C -----  
C  
200 FORMAT ( 1H0,12E10.3 )  
700 FORMAT ( 1H0,'REACOES NO PLANO SUPERIOR-DEVEM SER NULAS' )  
800 FORMAT ( 1H0,'DESL E ROTACOES NO PLANO INFERIOR (NULOS)' )  
C  
    END  
CF *** FINAL DE VERIFICACAO *****  
C
```

SUBROUTINE GAMAQ (CSO, C, ICT)

SUBROTINA NUMERO = 25

RESOLUCAO PELO METODO DE GAUSS DE SISTEMAS DE EQUACUES COM A MATRIZ DOS COEFICIENTES NAO SIMETRICA TODA ARMAZENADA NA MEMORIA PRINCIPAL.

PIVO SERA' O ELEMENTO DA DIAGONAL PRINCIPAL SALVO QUANDO ELE E' NULO E A ESCOLHA SERA' FEITA POR COLUNA.

QUANDO A MATRIZ JA' TIVER SIDO TRIANGULARIZADA SO' A MATRIZ DOS VETORES INDEPENDENTES SERA' MODIFICADA. OS COEFICIENTES DE MODIFICACAO DEVERAO ESTAR ARMAZENADOS NA MATRIZ ARRAY TRIANGULAR INFERIOR E O VETOR IIL DEVERA' CONTER AS TROCAS DE LINHA NECESSARIAS PARA A MATRIZ DOS CSO NESTE CASO.

O RESULTADO DO SISTEMA OCUPA O MESMO ESPACO DA MATRIZ CSO.

DEFINICAO DAS VARIAVEIS

ARRAY MATRIZ NAO SIMETRICA COMPLETA (ICT=0) OU MATRIZ TRIANGULARIZADA COM COEFICIENTES NA PARTE TRIANGULAR INFERIOR (ICT=1).
CSO MATRIZ RETANGULAR QUE CONTEM OS VETORES DOS TERMOS INDEPENDENTES.
IIL VETOR DOS INDICES DE TROCA DE LINHAS. PARA ICT=0 O VETOR PODE SER QUALQUER.
C NUMERO DE VETORES INDEPENDENTES
ICT INDICE DE CONTROLE : 0 - TRIANGULARIZAR ARRAY
1 - NAO TRIANGULARIZA ARRAY

INTEGER C
DIMENSION CSO(600,1)
COMMON/RETAL1/ ARRAY (192,192)
COMMON/TREZE/ IIL(600)
COMMON/OITO/ NIS, NLBS, NIBS, NLBS, IRECS, IPOSS
COMMON/SETE/ CONS, CL, CSI(109,600)
COMMON/CINCO/ IN ,JOUT ,IARG1 ,IE0,ISOLO1,ITROCA

CI *** INICIO DE VERIFICACAO *****

COMMON/ONZE/ VERIF (80)

CF *** FINAL DE VERIFICACAO *****

VMIN = 0.1E-20

IIL(NIS) = NIS

IF (ICT) 8,8,4

TROCA DE LINHAS DE CSO

```

4      DO 7 K7 = 1, NIS
      IF ( ITL(K7)-K7 ) 7,7,5
C
5      DO 6 K6 = 1, C
      AUX = CSO(K7,K6)
      IL = ITL(K7)
      CSO(K7,K6) = CSO(IL,K6)
6      CSO(IL,K6) = AUX
C
7      CONTINUE
      GOTO 72
8      CONTINUE
C
CI *** INICIO DE VERIFICACAO *****
C
      IF ( VERIF (21) .EQ. 0 ) GOTO 70
      TP = TIME (2)
      WRITE ( JOUT,*) "ANTES DE LER NO DISCO ",TP
70     CONTINUE
C
CF *** FINAL DE VERIFICACAO *****
C
      LEITURA DA MATRIZ EM DISCO
      -----
      ILI = 1 - NLBS
      DO 3 I = 1, NTBS
      ILI = ILI + NLBS
      ILF = ILI + NLBS - 1
      IF ( I .EQ. NTBS )
      ILF = ILI + NLBS - 1
      READ ( ISOL01 = I )
      ( ( ARRAY(IL,IC), IC = 1, NIS ), IL = ILI, ILF )
3      CONTINUE
C
CI *** INICIO DE VERIFICACAO *****
C
      IF ( VERIF (21) .EQ. 0 ) GOTO 71
      TP = TIME (2)
      WRITE ( JOUT,*) "DEPOIS DE LER NO DISCO ",TP
71     CONTINUE
C
CF *** FINAL DE VERIFICACAO *****
C
72     DO 20 L = 1, NIS-1
      IF ( ICT ) 19,19,15
C
      TESTE DO PIVO - TRIANGULARIZACAO
      -----
19     ITL (L) = L
      PIVO = ARRAY(L,L)
      IF ( ABS(PIVO) .GT. VMIN ) GOTO 15
C
      PROCURA DO MAIOR ELEMENTO DA COLUNA L
      -----
      DO 9 I = L+1, NIS

```

```

          IF ( ABS(ARRAY(I,L)) .LE. ABS(PIVO) ) GOTO 9
          PIVO = ARRAY(I,L)
          LL = I
9          CONTINUE

          TESTA SINGULARIDADE DO SISTEMA
          -----

          IF ( ABS(PIVO) .GT. VMIN ) GOTO 12
10         WRITE ( JOUT,11 )
11         FORMAT ( //, 5X, '***** ARRAY SINGULAR *****' )
          STOP

          TROCA POSICOES DAS LINHAS LL E L
          -----

12         DO 13 I = 1, NIS
              AUX = ARRAY(L,I)
              ARRAY(L,I) = ARRAY(LL,I)
13              ARRAY(LL,I) = AUX

          ITL(L) = LL

          DO 14 K = 1, C
              AUX = CSO(L,K)
              CSO(L,K) = CSO(LL,K)
14              CSO(LL,K) = AUX

          DETERMINACAO DOS COEFICIENTES DA MATRIZ
          ARRAY ARMAZENADA NA PARTE TRIANGULAR INF.
          -----

15         DO 20 I = L+1, NIS
              IF ( ICT ) 16,16,16
16              ARRAY(I,L) = ARRAY(I,L) / PIVO

          MODIFICACAO DE ARRAY
          -----

17         DO 17 J = L+1, NIS
              ARRAY(I,J) = ARRAY(I,J) -
                  ARRAY(I,L) * ARRAY(L,J)

          MODIFICACAO DE CSO
          -----

18         DO 20 K = 1, C
20              CSO(I,K) = CSO(I,K) -
                  ARRAY(I,L) * CSO(L,K)

          IF ( ABS(ARRAY(NIS,NIS)) .LE. VMIN ) GOTO 10

          RETROSUBSTITUICAO
          -----

          DO 30 J = 1, C
30              CSO(NIS,J) = CSO(NIS,J) / ARRAY(NIS,NIS)

```

```

00 50 I1 = 1, NIS-1
      I = NIS - I1

```

```

00 50 J = 1, C
      AUX = CSO(I,J)

```

```

00 40 K = I+1, NIS
      AUX = AUX - ARRAY(I,K) * CSO(K,J)

```

```

00 50 CSO(I,J) = AUX / ARRAY(I,I)

```

```

      TROCA DE RETORNO DA SOLUCAO DO SISTEMA
      =====

```

```

00 68 L = 1, NIS-1
      IL = NIS - L
      IF ( ITL(IL) - IL )      66,68,66
00 67 I = 1, C
      LL = ITL(IL)
      AUX = CSO (LL,I)
      CSO (LL,I) = CSO (IL,I)
      CSO (IL,I) = AUX

```

```

      CONTINUE

```

```

      RETIRAR ESTE CARTAO SE DESEJAR GRAVAR A
      MATRIZ TRIANGULARIZADA DE VOLTA AO DISCO
      =====

```

```

      GOTO 61

```

```

      GRAVACAO DA MATRIZ DE VOLTA AO DISCO
      =====

```

```

      IF ( ICT )      60,60,61
      ILI = 1 - NLBS
00 62 I = 1, NTBS
      ILI = ILI + NLBS
      ILF = ILI + NLBS - 1
      IF ( I.EQ. NTBS ) ILF = ILI + NLBS - 1
      WRITE ( ISOL01 = I )
      (( ARRAY (IL,IC), IC = 1, NIS ), IL = ILI, ILF )

```

```

      CONTINUE

```

```

      WRITE ( ITROCA = 1 )
      ( ITL(IL) , IL = 1, NIS )

```

```

61 RETURN
END

```

SUBROUTINE GAMASI (DK, C, ICT)

SUBROTINA NUMERO - 27

RESOLUCAO PELO METODO DE GAUSS DE SISTEMAS DE EQUACOES COM A MATRIZ DOS COEFICIENTES NAO SIMETRICA TODA ARMAZENADA NA MEMORIA PRINCIPAL.

PIVO SERA' O ELEMENTO DA DIAGONAL PRINCIPAL SALVO QUANDO ELE E' NULO E A ESCOLHA SERA' FEITA POR COLUNA.

QUANDO A MATRIZ JA' TIVER SIDO TRIANGULARIZADA SO' A MATRIZ DOS VETORES INDEPENDENTES SERA' MODIFICADA. OS COEFICIENTES DE MODIFICACAO DEVERAO ESTAR ARMAZENADOS NA MATRIZ FLEXI TRIANGULAR INFERIOR E O VETOR ITLS DEVERA' CONTER AS TROCAS DE LINHA NECESSARIAS PARA A MATRIZ DOS DK NESTE CASO.

O RESULTADO DO SISTEMA OCUPA O MESMO ESPACO DA MATRIZ DK.

DEFINICAO DAS VARIAVEIS

FLEXI MATRIZ NAO SIMETRICA COMPLETA (ICT=0) OU
MATRIZ TRIANGULARIZADA COM COEFICIENTES
NA PARTE TRIANGULAR INFERIOR (ICT=1).
DK MATRIZ RETANGULAR QUE CONTEM OS VETORES
DOS TERMOS INDEPENDENTES.
ITLS VETOR DOS INDICES DE TROCA DE LINHAS. PA
RA ICT=0 O VETOR PODE SER QUALQUER.
C NUMERO DE VETORES INDEPENDENTES
ICT INDICE DE CONTROLE : 0 - TRIANGULARIZAR FLEXI
1 - NAO TRIANGULARIZA FLEXI

INTEGER C
DIMENSION DK(600,1)
COMMON/RETAL2/ FLEXI (252,252)
COMMON/QUINZE/ ITLS(600)
COMMON/SEIS/ NI ,NLS , NTB ,NLUB ,IREC ,IPOS
COMMON/CINCO/ IN ,JOUT ,IARQ1 ,IEQ,ISOL01,ITROCA

I *** INICIO DE VERIFICACAO *****

COMMON/ONZE/ VERIF (80)

F *** FINAL DE VERIFICACAO *****

VMIN = 0.1E-20
ITLS(NI) = NI
IF (ICT) 8,8,4

TROCA DE LINHAS DE DK

4 DO 7 K7 = 1, NI

IF (ITLS(K7)-K7) 7,7,5

DO 6 K6 = 1, C

AUX = DK(K7,K6)

IL = ITLS(K7)

DK(K7,K6) = DK(IL,K6)

DK(IL,K6) = AUX

CONTINUE

GOTO 72

CONTINUE

*** INICIO DE VERIFICACAO *****

IF (VERIF (21) .EQ. 0) GOTO 70

TP = TIME (2)

WRITE (JOUT, *//) "ANTES DE LER NO DISCO ", TP

CONTINUE

*** FINAL DE VERIFICACAO *****

LEITURA DA MATRIZ EM DISCO

ILI = 1 - NLB

DO 5 I = 1, NTB

ILI = ILI + NLB

ILF = ILI + NLB - 1

IF (I .EQ. NTB)

ILF = ILI + NLB - 1

READ (IARQ1 = I)

((FLEXI(IL,IC), IC = 1, NI), IL = ILI, ILF)

CONTINUE

*** INICIO DE VERIFICACAO *****

IF (VERIF (21) .EQ. 0) GOTO 71

TP = TIME (2)

WRITE (JOUT, *//) "DEPOIS DE LER NO DISCO ", TP

CONTINUE

*** FINAL DE VERIFICACAO *****

DO 20 L = 1, NI-1

IF (ICT) 19,19,15

TESTE DO PIVO = TRIANGULARIZACAO

ITLS (L) = L

PIVO = FLEXI(L,L)

IF (ABS(PIVO) .GT. VMIN) GOTO 15

PROCURA DO MAIOR ELEMENTO DA COLUNA L

DO 9 I = L+1, NI

IF (ABS(FLEXI(I,L)) .LE. ABS(PIVO)) GOTO 9

```

          PIVO = FLEXI(I,K)
          LL = I

```

```

9      CONTINUE

```

```

      TESTA SINGULARIDADE DO SISTEMA
      -----

```

```

10     IF ( ABS(PIVO) .GT. VMIN ) GOTO 12
11     WRITE ( JOUT,11 )
      FORMAT ( '//, 5X, '***** FLEXI SINGULAR *****' )
      STOP

```

```

      TROCA POSICAOES DAS LINHAS LL E L
      -----

```

```

12     DO 13 I = 1, NI
          AUX = FLEXI(L,I)
          FLEXI(L,I) = FLEXI(LL,I)
13     FLEXI(LL,I) = AUX

```

```

      ITLS(L) = LL

```

```

      DO 14 K = 1, C
          AUX = DK(L,K)
          DK(L,K) = DK(LL,K)
14     DK(LL,K) = AUX

```

```

      DETERMINACAO DOS COEFICIENTES DA MATRIZ
      FLEXI ARMAZENADA NA PARTE TRIANGULAR INF.
      -----

```

```

15     DO 20 I = L+1, NI
16     IF ( ICT ) 16,16,18
          FLEXI(I,L) = FLEXI(I,L) / PIVO

```

```

      MODIFICACAO DE FLEXI
      -----

```

```

17     DO 17 J = L+1, NI
          FLEXI(I,J) = FLEXI(I,J) -
          FLEXI(I,L) * FLEXI(L,J)

```

```

      MODIFICACAO DE DK
      -----

```

```

18     DO 20 K = 1, C
20     DK(I,K) = DK(I,K) -
          FLEXI(I,L) * DK(L,K)

```

```

      IF ( ABS(FLEXI(NI,NI)) .LE. VMIN ) GOTO 10

```

```

      RETROSUBSTITUICAO
      -----

```

```

30     DO 30 J = 1, C
          DK(NI,J) = DK(NI,J) / FLEXI(NI,NI)

```

```

      DO 50 II = 1, NI-1

```

I = NI - 1

DO 50 J = 1, C
AUX = DK(I,J)

DO 40 K = I+1, NI
AUX = AUX - FLEXI(I,K) * DK(K,J)

OK(I,J) = AUX / FLEXI(I,I)

TROCA DE RETORNO DA SOLUCAO DO SISTEMA

DO 63 L = 1, NI-1
IL = NI - L
IF (ITLS(IL) = IL) 66,68,66
DO 67 I = 1, C
LL = ITLS(IL)
AUX = DK (LL,I)
DK (LL,I) = DK (IL,I)
DK (IL,I) = AUX

CONTINUE

RETIRAR ESTE CARTAO SE DESEJAR GRAVAR A
MATRIZ TRIANGULARIZADA DE VOLTA AO DISCO

GOTO 61

GRAVACAO DA MATRIZ DE VOLTA AO DISCO

IF (JCT) 60,60,61
ILI = 1 - NLB
DO 62 I = 1, NTB
ILI = ILI + NLB
ILF = ILI + NLB - 1
IF (I.EQ. NTB) ILF = ILI + NLB - 1
WRITE (IARQ1 = 1)
((FLEXI (IL,IC), IC = 1, NI), IL = ILI, ILF)

CONTINUE

WRITE (ITROCA = 1)
(ITLS(IL) , IL = 1, NI)

61 RETURN
END

SUBROUTINE SAIDA (CL)

SUBROTINA NUMERO = 19

SOMA DAS SOLUCOES E SAIDA DOS RESULTADOS

USO DE PRECISAO DUPLA
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)

COMMON/DOIS/ NE, NDE
COMMON/CINCO/ IN, JOUT, IARQ1, IE0, ISOL01, ITROCA
COMMON/REAL4/ ACAO(300), DVI(252), DN(252), ER(252)

I *** INICIO DE VERIFICACAO *****

COMMON/ONZE/ VERIF (40)
COMMON/QUATRO/ DK(600)

F *** FINAL DE VERIFICACAO *****

FORMATOS DE SAIDA

```
10 FORMAT ( 10(/), 10X, 112(1H-), /, 10X,
- 1H1, 110X, 1H1, /, 10X,
- 1H1, 47X, 14HESTRACA NUMERO , 12, 47X, 1H1, /, 10X,
- 1H1, 110X, 1H1, /, 10X, 112(1H-), /, 10X,
- 50H1
- 47H
- 15H
- 50H1 NO' = COORDENADA I FORCA NORMAL I FORCA Y I,
- 47H FORCA Z I MOMENTO TORSOR I MOMENTO Y I,
- 15H MOMENTO Z I, /, 10X,
- 50H1
- 47H
- 15H
- 15H I, /, 10X, 112 (1H-) )
11 FORMAT ( 1H1, 5(/), 15X, 102(1H*), /,
- 15X, 1H*, 100X, 1H*, /, 15X, 1H*, 100X, 1H*, /,
- 15X, 1H*, 40X, 20HEFORCOS NAS ESTACAS, 40X, 1H*, /,
- 15X, 1H*, 40X, 20H=====, 40X, 1H*, /,
- 15X, 1H*, 100X, 1H*, /, 15X, 1H*, 100X, 1H*, /, 15X, 102(1H*) )
20 FORMAT ( 10X,
- 50H1
- 47H
- 15H
- 5H1 ,13,5H ,F6.2,4H I , E12.6, 3H I , E12.6, 3H I , E12.6,
- 4H I , E12.6, 4H I , E12.6, 3H I , E12.6, 2H I, /, 10X,
- 50H1
- 47H
- 15H
- 15H I, /, 10X, 112 (1H-) )
21 FORMAT ('1')
40 FORMAT ( 10(/), 10X, 112(1H-), /, 10X,
- 1H1, 110X, 1H1, /, 10X,
- 1H1, 47X, 14HESTRACA NUMERO , 12, 47X, 1H1, /, 10X,
- 1H1, 110X, 1H1, /, 10X, 112(1H-), /, 10X,
- 50H1
- 47H
```

```

- 15H      I, /, 10X,
- 50H NO' - COORDENADA I DESLOC. X I DESLOC. Y I,
- 47H DESLOC. Z I ROTACAO X I ROTACAO Y I,
- 15H ROTACAO Z I, /, 10X,
- 50H      I
- 47H      I
- 15H      I, /, 10X, 112 (1H*) )
41 FORMAT ( 1H1, 5(/), 15X, 102(1H*), /,
- 15X, 1H*, 100X, 1H*, /, 15X, 1H*, 100X, 1H*, /,
- 15X, 1H*, 37X, 25HDESLOCAMENTOS NAS ESTACAS, 38X, 1H*, /,
- 15X, 1H*, 37X, 25H=====, 38X, 1H*, /,
- 15X, 1H*, 100X, 1H*, /, 15X, 1H*, 100X, 1H*, /, 15X, 102(1H*) )

I *** INICIO DE VERIFICACAO *****

IF ( VERIF (21) ) 30, 30, 31
31 WRITE (JOUT,33)
WRITE (JOUT,32) ( DK (IL), IL = 1,NE*NDE*6 )
WRITE (JOUT,32) ( OVI(IL), IL = 1,NE*NDE*6 )
32 FORMAT ( 1X, 6E20.6 )
33 FORMAT ( 1X, 'VETOR SOLUCAO DK E VETOR INDEPENTENTE OVI' )
30 CONTINUE

*** FINAL DE VERIFICACAO *****

SAIDA DOS ESFORÇOS RESISTENTES
*****

WRITE (JOUT,11)

DO 3 K3 = 1, NE
COORD = * CL / ( 2 * NDE )
WRITE (JOUT,10) K3

DO 4 K4 = 1, NDE
COORD = COORD + CL / NDE
ICI = (K3-1) * NDE * 6 + (K4-1) * 6 + 1
ICF = ICI + 5
WRITE (JOUT,20) K4, COORD, ( ER(I), I = ICI,ICF )
4 CONTINUE

3 CONTINUE

SAIDA DOS DESLOCAMENTOS
*****

WRITE (JOUT,41)

DO 5 K3 = 1, NE
COORD = * CL / ( 2 * NDE )
WRITE (JOUT,40) K3

DO 6 K4 = 1, NDE
COORD = COORD + CL / NDE
ICI = (K3-1) * NDE * 6 + (K4-1) * 6 + 1
ICF = ICI + 5
WRITE (JOUT,20) K4, COORD, ( DN(I), I = ICI,ICF )
6 CONTINUE

```

```
5 CONTINUE  
  WRITE ( JOUT,21 )
```

```
  RETURN  
END
```

SUBROUTINE ACBLOC (AS,XC,K,CL,AC)

 SUBROTINA NUMERO = 18
 CALCULO DA ACAO DE ENGASTE PER-
 FEITO QUE ATUARÁ SOBRE O BLOCO

DEFINICAO DAS VARIÁVEIS

AS ACAO NO NO' DE REFERENCIA
 AC ACAO DO TOPO DA ESTACA SOBRE O BLOCO
 XC COORDENADA DO NO DE REFERENCIA DE APLICACAO DE AS
 K NUMERO DA ESTACA
 CL COMPRIMENTO DA ESTACA

COMMON/RETAL4/ ACAO(300), DVI(252), ON(252), ER(252)
 DIMENSION AC(6), AS(6)

CONST = CL - XC

DO 400 L = 1, 4, 5
 AC(L) = AS(L) * CONST / CL

400 CONTINUE

LS = -1
 LP = 6

DO 600 L = 2, 3
 AC(L) = AS(L) * CONST ** 2 * (CL + 2
 * XC) / CL ** 3 + LS *
 AS(LP) * 6 * CONST * XC / CL ** 3
 LS = 1
 LP = 5

600 CONTINUE

LS = -1
 LP = 3

DO 700 L = 5, 6
 AC(L) = LS * AS(LP) * CONST ** 2 * XC
 / CL ** 2 + AS(L) * CONST *
 (5 * XC - CL) / CL ** 2
 LS = 1
 LP = 2

700 CONTINUE

ILI = (K-1) * 6
 DO 4 I4 = 1, 6
 ACAO(ILI+I4) = ACAO(ILI+I4) + AC(I4)

RETURN
 END

SUBROUTINE ACSOLO

 SUBROTINA NUMERO = 21

APLICACAO DA SOLUCAO AO SISTEMA PRINCIPAL
 CALCULO DA ACAO DO SOLO SOBRE O ESTACQUEAMENTO
 E DA SOMA DESTA A SOLUCAO DO CARREGAMENTO DO
 BLOCO FORMANDO OS VETORES DN E ER QUE REPRESENTARAO A SOLUCAO FINAL.

DEFINICAO DAS VARIAVEIS

 ACAO ACAO DE ENGASTE PERFEITO DA ESTACA SOBRE O BLOCO
 DVI VETOR DESLOCAMENTO PARA O CARREGAMENTO DO BLOCO
 VETOR INDEPENDENTE DO SISTEMA
 DN VETOR DESLOCAMENTO FINAL DA ESTRUTURA
 ER VETOR ESFORCO RESISTENTE FINAL DA ESTRUTURA

COMMON/UM/ E , G , WCA , NCO , R(6,6) , X(50) , Y(50) , Z(50) ,
 DX(50) , DY(50) , DZ(50) , BETA(50) , AX(50) , XI(50) ,
 YI(50) , ZI(50) , IR , T(6,6) , S(6,6) , ST(6,6) ,
 IR(6,6) ,
 XL , NT , ES(40,6) , EB(6) , KC , EU(50,6) , XEU ,
 AT(6) , KDI , PS , ESOLO , OAS , NDS
 COMMON/DOIS/ NE , NDE
 COMMON/QUATRO/ DK(600)
 COMMON/CINCO/ IN , JOUT , IARG1 , IE0 , ISOLO1 , ITROCA
 COMMON/RETA4/ ACAO(300) , DVI(252) , DN(252) , ER(252)
 DIMENSION AC(6) , AS(6) , D(6)

I *** INICIO DE VERIFICACAO *****

COMMON/ONZE/ VERIF(80)

F *** FINAL DE VERIFICACAO *****

ZERANDO OS VETORES

NI = NDE * NE * 6
 DO 13 I13 = 1, NI
 ACAO (I13) = 0.0
 DN (I13) = 0.0
 ER (I13) = 0.0

13 CONTINUE

DO 14 I14 = 1, 6
 14 EB(I14) = 0.0

DETERMINACAO DA ACAO NO BLOCO PARA O CARREG. DO SOLO SOBRE O EST.

DO 1 I1 = 1, NE

USO DE DUPLA PRECISAO

CL = DSORT (DX(I1) ** 2 + DY(I1) ** 2 + DZ(I1) ** 2)

```

CL = SQRT ( DX(I1) ** 2 + DY(I1) ** 2 + OZ(I1) ** 2 )
XC = -CL / ( 2 * NDE )
CALL STX ( I1,1 )

```

```

DO 2 I2 = 1, NDE
  XC = XC + CL / NDE
  IL = (I1-1) * NDE * 6 + (I2-1) * 6

```

```

DO 15 I3 = 1, 6
  AS (I3) = DK (IL+I3)

```

```

CALL ACBLOC ( AS,XC,I1,CL,AC )
DO 16 I5 = 1, 6

```

```

DO 16 I3 = 1, 6
  EB(I3) = EB(I5) + TR(I5,I3) * AC(I3)

```

```

CONTINUE

```

```

CONTINUE

```

```

DETERMINACAO DO DESLOCAMENTO DO BLOCO
*****

```

```

DO 17 I17 = 1, 6
  W = 0.0

```

```

DO 18 I18 = 1, 6
  W = W + R(I17,I18) * EB(I18)

```

```

D(I17) = W

```

```

CONTINUE

```

```

DETERMINACAO DA ACAO NO TOPO DAS ESTACAS RESPECTIVOS
ESFORÇOS E DESLOCAMENTOS NOS NOS DE REFERENCIA.
*****

```

```

DO 4 I4 = 1, NE

```

```

DETERMINACAO DA MATRIZ DE RIGIDEZ LOCAL DA ESTACA
*****

```

```

CALL STX (I4,0)
IL = (I4-1) * 6

```

```

DO 6 I6 = 1, 6
  W = 0.0

```

```

DO 7 I7 = 1, 6
  W = W + ST(I6,I7) * D(I7)

```

```

CONTINUE

```

```

W = W - ACAO(IL+I6)
AC(I6) = W

```

```

CONTINUE

```

```

[ *** INICIO DE VERIFICACAO *****

```

```

IF ( VERIF(21) .EQ. 0 ) GOTO 110
WRITE ( JOUT,100 ) AC
100  FORMAT ( 1X, ' ACAO NO TOPO DA ESTACA ',I4,' : ',/,6E20,6 )
110  CONTINUE

```

F *** FINAL DE VERIFICACAO *****

CALCULO DOS ESFORÇOS RESISTENTES E DOS DESLOCA-
 MENTOS PARA A ACAO DO SOLO SOBRE A ESTACA I4

CALL ESFRES (AC,I4,CL)
 CALL DESLOC (AC,I4,CL)

4 CONTINUE

SOMA DOS DESLOCAMENTOS DEVIDO A ACAO DO SOLO
 SOBRE O ESTACHEAMENTO COM OS QUE GERARAM O
 VETOR INDEPENDENTE DO SIST. EST-SOLO, "DK".

DO 10 I10 = 1, NI

DN (I10) = DN (I10) + DVI (I10)

10 CONTINUE

LEITURA DOS ESFORÇOS NOS NOS DE REFERENCIA
 PARA O CARREGAMENTO APLICADO NO BLOCO E DO
 CARREGAMENTO DO SOLO NO SISTEMA PRINCIPAL
 DO ESTACHEAMENTO-SOLO.

INDICE = NI / 6

DO 11 I = 1, INDICE

READ (IEQ = I) (AS (IC), IC = 1,6)

J = (I-1) * 6

DO 12 K2 = 1, 6

ER (K2+J) = ER (K2+J) + AS (K2)

12 CONTINUE

11 CONTINUE

RETURN
 END

SUBROUTINE DESLOC (ACT,K,CL)

 SUBROTINA NUMERO = 29
 CALCULO DOS DELOCAMENTOS PARA O ESTA-
 QUEAMENTO ISOLADO : SISTEMA PRINCIPAL

DEFINICAO DE VARIAVEIS

 AC ACAO NO TOPO DA ESTACA
 ACT ACAO NO TOPO DA ESTACA AUXILIAR
 K NUMERO DA ESTACA
 AN ACAO NO NO' DE REFERENCIA
 DI DESLOCAMENTO DO NO' DE REF.

COMMON/UM/ E , G , NCA , NCO , R(6,6) , X(50) , Y(50) , Z(50) ,
 - DX(50) , DY(50) , DZ(50) , BETA(50) , AX(50) , XI(50) ,
 - YI(50) , ZI(50) , IR , T(6,6) , S(6,6) , ST(6,6) ,
 - TR(6,6) ,
 - XL , NT , ES(40,6) , EB(6) , KC , EU(50,6) , XEU ,
 - AT(6) , KOI , PS , ESOLQ , DAS , NOS
 COMMON/DOIS/ HE , NDE
 COMMON/QUATRO/ OK(600)
 COMMON/RETAL4/ ACAO(300) , OVI(252) , DN(252) , ER(252)
 DIMENSION AC(6) , AN(6) , DI(6) , ACT(6)

XAN = - CL / (2*NDE)
 IND = (K-1) * NDE * 6

DO 10 I9 = 1, 6
 AC(I9) = ACT(I9)

10 CONTINUE

DO 1 I1 = 1, NDE
 XNO = - CL / (2*NDE)
 XAN = XAN + CL / NDE
 IL = IND + (I1-1) * 6

DO 3 I3 = 1, 6
 3 AN(I3) = OK(IL+I3)

DO 2 I2 = 1, NDE
 ILI = IND + (I2-1) * 6
 XNO = XNO + CL / NDE
 XIS = XNO
 IF (XAN .GT. XNO) XIS = XAN

DETERMINACAO DO DESLOCAMENTO NO
 NO' DE REFERENCIA I2 DA ESTACA
 K EM TODAS AS SEIS DIRECOES.

DI(1) = (AC(1) * (CL-XNO) + AN(1) * (CL-XIS))
 - / (E * AX(K))
 DI(4) = (AC(4) * (CL-XNO) + AN(4) * (CL-XIS))
 - / (G * XI(K))
 L = 6

```

LS   = -1
CI   = ZI(K)

```

```

DO 5 J = 2, 3

```

```

      DI(J) = ( AC(J) / 6.0 * ( XNO ** 3 + CL ** 2 *
-              ( 2 * CL - 3 * XNO ) ) + LS * AC(L) / 2.0
-              * ( CL - XNO ) ** 2 + AN(J) * ( ( CL ** 3
-              * XIS ** 3 ) / 3 - ( XNO + XAN ) * ( CL ** 2
-              * XIS ** 2 ) / 2 + XNO * XAN * ( CL - XIS ) )
-              + LS * AN(L) * ( ( CL ** 2 - XIS ** 2 ) / 2
-              * XNO * ( CL - XIS ) ) ) / ( E * CI )

```

```

      CI   = YI(K)
      LS   = 1
      L    = 5

```

```

5  CONTINUE

```

```

L    = 3

```

```

DO 6 J = 5, 6

```

```

      DI(J) = ( LS * AC(L) / 2.0 * ( CL ** 2 - XNO ** 2 )
-              + AC(J) * ( CL - XNO ) + LS * AN(L) * ( ( CL
-              ** 2 - XIS ** 2 ) / 2.0 - XAN * ( CL - XIS ) )
-              + AN(J) * ( CL - XIS ) ) / ( E * CI )

```

```

      LS   = -1
      L    = 2
      CI   = ZI(K)

```

```

6  CONTINUE

```

```

DO 7 I7 = 1, 6

```

```

      DN(ILI+I7) = DN(ILI+I7) + DI(I7)

```

```

2  CONTINUE

```

```

DEPOIS DA PRIMEIRA VEZ ZERA-SE A ACAO NO TOPO DA ESTACA
-----

```

```

IF ( I1-1 )      1,3,1

```

```

8  DO 9 I9 = 1, 6

```

```

9  AC(I9) = 0.9

```

```

1  CONTINUE

```

```

RETURN
END

```

SUBROUTINE ESFRES (ACT,K,CL)

 SUBROTINA NÚMERO = 28
 CALCULO DOS DELOCAMENTOS PARA O ESTA-
 QUEAMENTO ISOLADO : SISTEMA PRINCIPAL

DEFINICAO DE VARIÁVEIS

 AC ACAO NO TOPO DA ESTACA
 ACT ACAO NO TOPO DA ESTACA AUXILIAR
 K NUMERO DA ESTACA
 AN ACAO NO NU' DE REFERENCIA
 AR ESFORÇO RESISTENTE DA SECAO
 (NU' DE REF.) DA ESTACA K

COMMON/DOIS/ NE ,NDE
 COMMON/QUATRO/ DK(600)
 COMMON/RETAL4/ ACAO(300), DVI(252), DN(252), ER(252)
 DIMENSION AC(6), AN(6), AR(6), ACT(6)

XAN = - CL / (2*NDE)
 IND = (K-1) * NDE * 6

DO 10 I9 = 1, 6
 AC(I9) = ACT(I9)
 CONTINUE

DO 1 I1 = 1, NDE
 XINO = - CL / (2*NDE)
 XAN = XAN + CL / NDE
 IL = IND + (I1-1) * 6

DO 3 I3 = 1, 6
 AR(I3) = DK(IL+I3)

DO 2 I2 = I1, NDE
 ILI = IND + (I2-1) * 6
 XNO = XINO + CL / NDE * I2
 XIS = 1.0
 IF (I1 .EQ. I2) XIS = 0.5

 CALCULO DO ESFORÇO NOS NOS DE REF. DAS ESTACAS
 PARA A ACAO REDUNDANTE DO SOLO SOBRE A ESTACA

DO 5 N = 1, 4
 AR(N) = AC(N) + AN(N) * XIS
 CONTINUE

IF (XIS .EQ. 0.5) XA = 0.0
 IPROV = 3

DO 7 N = 5, 6
 AR(N) = AC(IPROV) + (AC(IPROV) * XNO + AN(IPROV) *
 (XNO-XAN) * XA) * (-1) ** (N+1) +
 AN(N) * XIS

IPROV = 2
CONTINUE

DO 4 I7 = 1, 6

ER(ILI+I7) = ER(ILI+I7) + AR(I7)

XA = 1.0

CONTINUE

DEPOIS DA PRIMEIRA VEZ ZERA-SE A AÇAO NO TCPO DA ESTACA

IF (I1-1) 1,8,1

DO 9 I9 = 1, 6

AC(I9) = 0.0

1 CONTINUE

RETURN
END

BIBLIOGRAFIA

BANERJEE, P.K., A Contribution to the Study of Axially Loaded Pile Foundations, Ph.D. Thesis presented to Southampton University, Southampton, England, 1970, Apud (25).

BANERJEE, P.K., DRISCOLL, R.M., Three Dimensional Analysis of Vertical Pile Groups. Numerical Methods in Geomechanics, ASCE: 405-418, June, 1976.

BANERJEE, P.K., DRISCOLL, R.M., PGROUP - A Program for the Analysis of Pile Groups of Any Geometry, Subjected to Horizontal and Vertical Loads and Moments. Department of the Environment HECB/13/17 Highway Engineering Computer Branch, April, 1975, Apud (12).

BOWLES, J.E., Fundation Analysis and Design, McGraw - Hill Book Company, New York, 1977.

BROMS, B.B., Lateral Resistance of Piles in Cohesive Soils. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division (Proc. Paper 3825), ASCE, 90 (SM2): 27-58, March, 1964.

BROMS, B.B., Lateral Resistance of Piles in Cohesionless Soils. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division (Proc. Paper 3909), ASCE, 90 (SM3): 123-156, May

1964.

CARNAHAN, B., LUTHER, H.A., WILKERS, J.O., Applied Numerical - Methods, John Wiley & Sons Inc., New York, 1976.

CUROTTO, C.L., Método dos Elementos de Contorno para Elasticidade Tridimensional, Tese M.Sc., Programa de Engenharia Civil, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, 1981.

DIAZ, B.E., Determination of Forces, Displacements and Soil Reactions of a Group of Piles, Proceedings of the Eighth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Moscow, 1973.

FRANCIS, A.J., Analysis of Pile Groups with Flexural Resistance. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, (Proc. Paper 3887), ASCE, 90 (SM3): 1-32, May, 1964.

GARDNER, N.J., SAGGE, R., Mathematical Model of Single Pile. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 100 (GT9): 1081-1085, September, 1974.

GEORGE, P.J., SLADDEN, P.R., Certification of the Heather Platform. Ground Engineering, 13 (1): 15-21, January, 1980.

| GERE, J.M., WEAVER Jr., W., Analysis of Framed Structures,
Van Nostrand Reinhold Ltd, New York, 1965.

| GOLEBIEWSKI, B., Análise Matricial de Fundações em Esta-
cas com Aplicação em Computadores Digitais. Publicação
Técnica do Escritório de Engenharia Antonio Alves de
Noronha Ltda, (1): 1-27, Rio de Janeiro, 1970.

| HETÉNYI, M., Beams on Elastic Foundation, Theory With Ap-
plications in the Fields of Civil and Mechanical En-
gineering, Ann Arbor: the University of Michigan Press,
1967.

| LOVE, A.E. H., A Treatise on the Mathematical Theory of
Elasticity, Dover Publications, New York, 1944.

| OTTAVIANI, M., Three Dimensional Finite Element Analysis
of Vertically Loaded Pile Groups. Geotechnique, 25(2):
159-174, June, 1975.

| POULOS, H.G., Analysis of the Settlement of Pile Groups.
Geotechnique, 18(4): 449-471, Dec., 1968.

| POULOS, H.G., Behaviour of Laterally Loaded Piles: I -
Single Piles. Journal of Soil Mechanics and Foundation
Division (Proc. Paper 8092), ASCE, 97 (SM5): 711-731,
May, 1971.

POULOS, H.G., Behaviour of Laterally Loaded Piles: II - Piles Groups. Journal of Soil Mechanics and Foundation Division (Proc. Paper 8093), ASCE, 97 (SM5): 733-751, May, 1971.

POULOS, H.G., DAVIS, E.H., Elastic Solutions for Soil and Rock Mechanics, John Wiley & Sons Inc., New York, 1974.

POULOS, H.G., Lateral Load - Deflection Prediction for Pile Groups - Journal of the Geotechnical Engineering Division (Proc. Paper 11061), ASCE, 101 (GT1): 19-33, January, 1975.

POULOS, H.G., Settlement of Single Piles in Nonhomogeneous Soil. Journal of the Geotechnical Engineering Division (Proc. Paper 14575), ASCE, 105 (GT5): 627-641, May, 1979.

POULOS, H.G., DAVIS, E.H., Pile Foundation Analysis and Design, John Wiley and Sons Inc., New York, 1980.

RANDOLPH, M.F., WROTH, C.P., Analysis of Deformation of Vertically Loaded Piles. Journal of the Geotechnical Engineering Division (Proc. Paper 14262). ASCE, 104 (GT12): 1465-1488, December, 1978.

REESE, L.C., MATLOCK, H., Non - Dimensional Solutions for Laterally Loaded Piles With Soil Modulus Assumed Pro-

portional to Depth. Proceedings of the Eighth Texas Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Texas, USA, 1956.

| REESE, L.C., O'NEILL, M.W., SMITH, R.E., Generalized Analysis of Pile Foundations. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division (Proc. Paper 7032), ASCE, 96 (SM1): 235-250, January, 1970.

| REESE, L.C., Laterally Loaded Piles: Program Documentation. Journal of Geotechnical Engineering Division (Proc. Paper 12862), ASCE, 103 (GT4): 287-305, April, 1977.

| SAUL, W.E., Static and Dynamic Analysis of Pile Foundations. Journal of the Structural Division (Proc. Paper 5936), ASCE, 94 (ST5): 1077-1100, May, 1968.

| SOGGE, R.L., Laterally Loaded Pile Design. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division (Proc. Paper 16510), ASCE, 107 (GT9): 1179-1199, September, 1981.

| SOKOLNIKOFF, I.S., Mathematical Theory of Elasticity, Tata Mc Graw-Hill Publishing Company Ltd, New Delhi, 1977.

| SORIANO, H.L., Sistema de Equações Algébricas Lineares em Problemas Estruturais, Publicações do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1981.

STARK, P.A., Introdução dos Métodos Numericos, Editora Inter-
terciência Ltda, Rio de Janeiro, 1979.

TIMOSHENKO, S.P., GOODIER, J.N., Theory of Elasticity, Mc
Graw-Hill Kogakusha Ltd, Tokyo, 1970.

WOOD, L.A., The Analysis of Piles and Walls Subject to
Lateral Forces, Ground Engineering, 13 (1): 28-31, Ja-
nuary, 1980.