

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

SIMULAÇÃO DE MANCAIS DE DESLIZAMENTO ATRAVÉS
DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DA SANTA CATARINA
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA

SÉRGIO LUIZ SABEDOTTI

FLORIANÓPOLIS, JANEIRO DE 1987.


SIMULAÇÃO DE MANCAIS DE DESLIZAMENTO ATRAVÉS
DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

SÉRGIO LUIZ SABEDOTTI

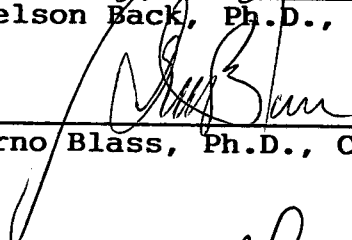
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

MESTRE EM ENGENHARIA

ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA E APROVADA
EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO




Prof. Nelson Back, Ph.D., Orientador

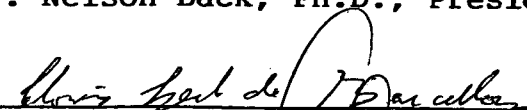


Prof. Arno Blass, Ph.D., Coordenador do Curso

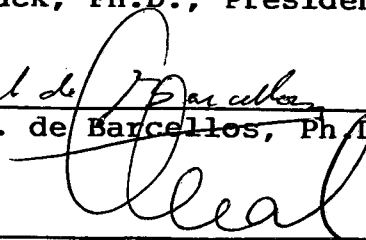
Banca Examinadora:



Prof. Nelson Back, Ph.D., Presidente



Prof. Clovis S. de Barcellos, Ph.D.



Prof. Longuinho da C. M. Leal, M.Sc.

Dedico este trabalho aos meus pais
e em especial à Andréa.

A G R A D E C I M E N T O S

Agradeço à Coordenação do Curso de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina, CAPES, Centro Federal da Educação Tecnológica do Paraná - CEFET-PR, Ultrafertil S.A. - Indústria e Comércio de Fertilizantes e todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, em especial ao Prof. Nelson Back cujo apoio foi indispensável à elaboração do mesmo.

Sérgio Luiz Sabedotti

R E S U M O

Originalmente desenvolvido na indústria aeronáutica para análise de tensões em complexas estruturas de aviões, o método de elementos finitos, devido a sua flexibilidade, está sendo utilizado também em outras áreas de engenharia.

A aplicação deste método numérico na lubrificação é mais recente e tem sido objeto de estudo de alguns pesquisadores como Huebner, Reedi e Tieu.

O presente trabalho tem como objetivo abordar a lubrificação através deste método, mostrando as transformações nas Equações Diferenciais governantes do fenômeno chegando-se às suas formas algébricas. Inclui-se um programa computacional em linguagem Fortran, denominado "Mancais", utilizado na simulação de mancais hidrostáticos e hidrodinâmicos, considerando a lubrificação sob um aspecto isotérmico. Através deste programa é possível prever a influência de determinadas condições operacionais, bem como de modificações geométricas no desempenho dos mancais.

Para facilitar o uso do programa foi desenvolvido o Manual do Usuário, o qual mostra de forma detalhada como levantar os dados de entrada necessários à execução do programa.

Finalmente é apresentado um conjunto de problemas simulados através do programa a fim de que alguns resultados possam ser obtidos e analisados.

A B S T R A C T

The finite element method, originally developed in the aircraft industry for stress analysis of complex structures, because of its generality, has also been increasingly applied in engineering situations.

The application of finite element techniques to lubrication problems is more recent and a number of studies were presented with the work of Huebner, Reedi and Tieu.

The present dissertation focuses on lubrication analysis through this method, showing how differential equations are transformed into their algebraic forms. A description of a computer program in Fortran, named "Mancais" is included. This program is utilized for simulation of hydrostatic and hydrodynamic bearings, assuming isothermic lubrication.

Through this program it is possible to analyze the influence of some operating conditions, as well as, the influence of geometric changes in the bearing performance. In addition a detailed user manual is included.

Finally it's presented a set of problems simulated through the program to obtain and analyze some results.

C O N T E Ú D O

Resumo	v
Abstract	vi
Conteúdo	vii
Nomenclatura	ix
1. CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO	
1.1 Introdução	1
1.2 Objetivo	2
2. CAPÍTULO II; EQUAÇÕES BÁSICAS	
2.1 Lubrificação incompressível	4
2.1.1 Lubrificação sob o aspecto termodinâmico	5
2.1.1.1 Equação de Reynolds (generalizada) ..	5
2.1.1.2 Equação da energia	14
2.1.1.3 Relação viscosidade/temperatura	16
2.1.1.4 Processo iterativo	19
2.1.2 Lubrificação sob o aspecto isotérmico	21
2.2 Lubrificação compressível	22
3. CAPÍTULO III: FORMULAÇÃO ATRAVÉS DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS	
3.1 Método de elementos finitos	24
3.1.1 Método de Rayleigh-Ritz	31
3.1.2 Método de Galerkin	34
3.2 Lubrificação incompressível através do M.E.F.	37
3.2.1 Aspecto isotérmico	37
3.2.2 Aspecto termodinâmico	42
3.2.2.1 Equação de Reynolds	43
3.2.2.2 Equação da energia	45
4. CAPÍTULO IV: "MANCAIS" - Programa de Simulação de Mancais	
4.1 Descrição	51
4.2 Sugestões	63

5.	CAPÍTULO V: APLICAÇÕES E ANÁLISES	
5.1	Convergência dos resultados	73
5.2	Mancal hidrodinâmico plano com sapatas afuseladas ...	87
5.3	Mancal hidrodinâmico plano com sapatas em degrau	94
5.4	Mancal de escora com sapatas circulares afuseladas ..	94
5.5	Mancal hidrostático com controle de pressão	99
5.6	Mancal radial	103
6.	CAPÍTULO VI: CONCLUSÕES	115
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118
8.	APÊNDICES	
A.I	- Equação de conservação da massa	122
	e equação de Navier-Stockes	
A.II	- Equação da energia	123
A.III	- Processo de União das matrizes dos elementos	124
A.IV	- Teorema de Green-Gauss	125
A.V	- Topologia do sistema	127
A.VI	- Funções de interpolação e integrais características.	130
A.VII	- Introdução das condições de contorno	135
A.VIII	- Listagem do programa "Mancais"	138
A.IX	- Manual do usuário do programa "Mancais"	158
A.X	- Listagem dos problemas do Capítulo V	208

NOMENCLATURA

A menos de outras especificações, os seguintes símbolos são usados no texto:

SÍMBOLO	DESCRIÇÃO	DIMENSÃO
a_i	Coeficiente da função de interpolação	-
A	Área do elemento triangular-linear	$[L^2]$
b_i	Coeficiente da função de interpolação	-
B	Força de corpo	$[F]$
c_i	Coeficiente da função de interpolação	-
c_v	Calor específico a volume constante	$[L^2 G^2 T^{-1}]$
D	Domínio	-
e	Elemento	-
E	Excentricidade	$[L]$
$f()$	Função	-
$F(e)$	Carga de um elemento	$[F]$
h	Altura do filme	$[L]$
i	Índice	-
I	Funcional variacional	$[F^2 L^3 T]$
j	Índice	-
k	Índice	-
K_{ij}	Matriz de fluidez	várias

K^*	Consistência do lubrificante	$[F L^2 \tau] \quad x$
L	Largura	[L]
Mi	Funções de interpolação global	-
Ni	Funções de interpolação local	-
ne	Número de elementos	-
nn	Número de nós (total)	-
P	Pressão	$[FL^2]$
q	Fluxo de lubrificante	$[L^3 \tau^{-1}]$
Q	Fluxo por unidade de contorno	$[L^2 \tau^{-1}]$
r	Número de nós por elemento	-
R	Raio	[L]
R_*	Resíduo	-
R^*	Constante dos gases perfeitos	$[L^2 \tau^{-3} T^{-1}]$
S	Contorno	-
Sp	Contorno onde a pressão é especificada	-
Sq	Contorno onde o fluxo é especificado	-
t	Tempo	[τ]
T	Temperatura	[T]
u	Velocidade na direção x	$[L \tau^{-1}]$
U	Velocidade superficial	$[L \tau^{-1}]$
v	Velocidade na direção y	$[L \tau^{-1}]$

u_d	Velocidade de difusão	$[L\tau^{-1}]$
w	Velocidade na direção z	$[L\tau^{-1}]$
W	Carga	$[F]$
x, y, z	Coordenadas cartesianas	$[L]$
α	Ângulo	$[rad]$
β	Ângulo	$[rad]$
θ	Ângulo	$[rad]$
μ	Viscosidade dinâmica	$[FL^2\tau^{-1}]$
ν	Viscosidade cinemática	$[L^2\tau^{-1}]$
ρ	Densidade	$[FL^{-4}\tau^2]$
τ	Tensão de cisalhamento	$[FL^2]$
σ	Tensão de tração/compressão	$[FL^2]$

CONVENÇÃO:

$$\dot{\alpha} = \frac{\partial \alpha}{\partial t} \quad \text{Derivada em relação ao tempo}$$

$\hat{\alpha}$ Vetor unitário

∇ Operador gradiente

$\nabla \cdot$ Operador divergente

\mathcal{L} Operador diferencial

$$\frac{D}{Dt} = \frac{\partial x}{\partial t} \cdot \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} \cdot \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial z}{\partial t} \cdot \frac{\partial}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial t}$$

Derivada material

§ Diferencial

[] Matriz retangular

{ } Matriz coluna

[] Matriz linha

C A P Í T U L O I

1.1 INTRODUÇÃO

Desde os tempos pré-históricos o homem vem fazendo uso das propriedades lubrificantes de alguns fluidos. Pode-se comprovar isto através da análise de alguns desenhos encontrados nas paredes das tumbas do Egito, onde podem ser vistos homens espalhando lubrificante sob as guias de pesados trenós, com o objetivo de facilitar seu transporte.

Apesar do homem utilizar empiricamente estas propriedades há muito tempo, a lubrificação só começou a ser estudada com mais profundidade a cerca de 100 anos quando Beauchamp Tower descobriu que pode ser gerada pressão em um fluido lubrificante mantido entre duas superfícies que possuem, entre si, movimento relativo.

Osborn Reynolds [1] fascinado com este efeito decidiu estudar o fenômeno analiticamente e, em 1886, apresentou seu clássico artigo sobre a teoria da lubrificação hidrodinâmica, bem como, a equação diferencial parcial que governa o fenômeno e que hoje leva o seu nome.

No desenvolvimento de projetos de mancais hidrostáticos e hidrodinâmicos, a equação de Reynolds é utilizada para determinar a variação de pressão no interior do filme fluido e assim obter a capacidade de carga dos mancais, grandeza de grande importância para o projetista.

O desenvolvimento de soluções para esta equação levou os pesquisadores à procura de soluções analíticas, as quais, através de várias hipóteses simplificativas, puderam ser obtidas.

Entretanto, estas simplificações podem fazer com que os resultados obtidos pelas soluções analíticas não espelhem satisfatoriamente o desempenho real dos mancais.

Com a crescente necessidade de soluções mais precisas para os problemas da lubrificação, aliada ao crescente desenvolvimento tecnológico na área da computação eletrônica, tornou-se cada vez mais viável o uso de métodos numéricos para a solução destes problemas.

Embora os métodos numéricos não forneçam soluções exatas, as simplificações assumidas para a solução dos problemas de lubrificação pelos métodos analíticos, normalmente, não são necessárias, fazendo com que, na maior parte dos casos, as soluções numéricas tornem-se mais precisas.

Dentre os métodos numéricos utilizados na solução de equações diferenciais parciais, como a equação de Reynolds, destaca-se o uso do método das diferenças finitas e, mais recentemente, o método de elementos finitos.

Atualmente, inúmeras pesquisas estão sendo desenvolvidas na aplicação do método de elementos finitos em vários problemas do contínuo. No campo da lubrificação destacam-se as pesquisas por Reedi [12], Booker [10], Huebner [3, 9 e 10] e outros. Entretanto, no Brasil raros são os trabalhos publicados nesta área.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho visa, inicialmente, desenvolver o estudo de lubrificação através do método de elementos finitos, mostrando passo a passo, as transformações necessárias às equações envolvidas no fenômeno.

Após a transformação das equações diferenciais parciais em equações algébricas através do MEF, estas serão utilizadas na elaboração de um programa em linguagem FORTRAN, desenvolvido com o objetivo de simular e prever o desempenho de mancais hidrostáticos e hidrodinâmicos que trabalham com fluidos considerados incompressíveis.

O programa foi construído de forma bastante didática, favorecendo, assim, um fácil entendimento de sua estrutura.

Não é, entretanto, objetivo deste trabalho estudar de forma detalhada a teoria envolvida na formulação do M.E.F., mas

sim sua aplicação específica ao problema da lubrificação. Para um melhor entendimento sobre o método em si, é recomendado uma consulta às referências [2, 3].

C A P Í T U L O I I

EQUAÇÕES BÁSICAS

Na formulação das equações que regem o fenômeno da lubrificação podem ser considerados dois casos separadamente, que são:

- a. Lubrificação com fluidos considerados incompressíveis (Ex.: óleo lubrificante).
- b. Lubrificação com fluido compressível (Ex.: ar).

No presente trabalho será dada maior ênfase à lubrificação com fluido considerado incompressível, pois grande parte dos mancais trabalham com óleo lubrificante, fluido que, na prática, pode ser considerado incompressível.

2.1 LUBRIFICAÇÃO COM FLUIDO INCOMPRESSÍVEL

A lubrificação com fluido incompressível pode ser, ainda, considerada sob dois aspectos, que são: o termodinâmico e o isotérmico.

Quando o problema da lubrificação com fluido incompressível é analisado sob um aspecto termodinâmico, levam-se em consideração as variações na temperatura do lubrificante que ocorrem no interior do filme fluido. Como o valor da viscosidade depende da temperatura em que o mesmo se encontra, a formulação termodinâmica leva em consideração a variação da viscosidade no interior do filme.

Já no problema considerado isotermicamente, admite-se que a temperatura no interior do filme é uniforme e igual à chamada "temperatura equivalente de trabalho", logo não se fazem necessárias, neste caso, considerações sobre a variação da viscosidade no interior do filme, o que, como será visto, facilita enormemente a formulação das equações governantes da lubrificação.

2.1.1 LUBRIFICAÇÃO SOB O ASPECTO TERMODINÂMICO

As equações que governam o fenômeno da lubrificação incompressível sob o aspecto termodinâmico são: Equação de Reynolds (generalizada), Equação da Energia e Relações Viscosidade/Temperatura.

A equação desenvolvida inicialmente por Osborne Reynolds [1] e posteriormente generalizada por Dowson [4] gera o perfil de pressões existentes no filme fluido, em função das propriedades do mesmo (espessura, viscosidade, etc).

Já a equação da energia gera o perfil de temperaturas no filme fluido em função do perfil de pressões e propriedades do lubrificante (calor específico, condutividade térmica, etc).

Como poderá ser visto posteriormente, para a obtenção do perfil de pressões através das equações acima mencionadas, um procedimento iterativo é necessário.

2.1.1.1 EQUAÇÃO DE REYNOLDS (GENERALIZADA)

A equação de Reynolds na sua forma generalizada é obtida a partir da equação da conservação da massa (A.1.1) e das equações das quantidades de movimentos também chamadas Equações de Navier-Stokes (A.1.2), ambas apresentadas no Apêndice -I.

Para a dedução da equação de Reynolds, foi tomado como referência o sistema cartesiano mostrado na Figura 2.1 onde pode-se ver duas superfícies quaisquer A e B, sendo que entre elas existe um filme fluido de espessura $h(x,y)$.

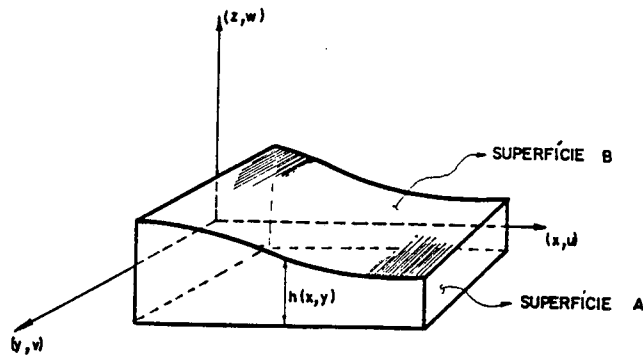


Fig. 2.1 - Sistema de referência utilizado na dedução da equação de Reynolds

Onde

- x** - direção principal de movimento
- y** - direção secundária do movimento
- z** - direção da espessura do filme
- u** - velocidade na direção **x**
- v** - velocidade na direção **y**
- w** - velocidade na direção **z**
- h** - espessura do filme

Na dedução da forma generalizada da Equação de Reynolds, são admitidas algumas hipóteses simplificativas, tanto na equação da conservação da massa (A.1.1) como nas equações de Navier-Stokes (A.1.2). Estas hipóteses são:

1. O filme é tão fino que as derivadas da velocidade através da espessura do filme são consideradas de maior importância quando comparadas com as derivadas das velocidades nas outras duas direções (esta é a chamada hipótese do filme fino).

$$\frac{\partial u}{\partial z} \gg \frac{\partial u}{\partial x} \cdot \frac{\partial u}{\partial y}$$

$$\frac{\partial v}{\partial z} \gg \frac{\partial v}{\partial x} \cdot \frac{\partial v}{\partial y} \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial w}{\partial z} \gg \frac{\partial w}{\partial x} \cdot \frac{\partial w}{\partial y}$$

2. O fluido é considerado newtoniano, onde a tensão de cisalhamento é proporcional ao gradiente de velocidade, isto é, satisfaz a lei de Stokes [5].

$$\tau_{xz} = \mu \cdot \frac{\partial u}{\partial z} \quad \tau_{yz} = \mu \cdot \frac{\partial v}{\partial z} \quad (2.2)$$

3. Comparando com outros efeitos, tal como o cisalhamento, os efeitos de inércia são negligenciáveis. Estes efeitos de inércia consistem em acelerações do fluido e forças centrífugas atuando em filmes curvos, assim:

$$\frac{Du}{Dt} = \frac{Dv}{Dt} = \frac{Dw}{Dt} = 0 \quad (2.3)$$

4. As curvaturas das superfícies dos mancais radiais introduzem somente efeitos de segunda ordem, os quais são negligenciáveis (compatível com 3).
5. O fluido lubrificante é considerado idealmente incompressível.

$$\rho = \rho_c \quad (2.4)$$

Considerada a hipótese simplificativa (5) na equação da conservação da massa (A.1.1) tem-se que:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.5)$$

Considerando-se as hipóteses simplificativas (1, 2 e 3) nas equações de Navier-Stokes (A.1.2) chega-se a:

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial z} \right) + B_x \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial P}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial z} \right) + B_y \quad (2.7)$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} = 0 \quad (2.8)$$

As equações (2.5) a (2.8) estão sujeitas às seguintes condições de contorno.

$$\text{Em } z = 0 \quad u = U_1, \quad v = V_1 \quad \text{e} \quad w = W_1$$

(2.9)

$$\text{Em } z = h \quad u = U_2, \quad v = V_2 \quad \text{e} \quad w = W_2$$

$P = P_*(x,y)$ especificada em um trecho não nulo do contorno.

Onde U_1 é a velocidade na direção x , V_1 é a velocidade na direção y da superfície A , analogamente U_2 e V_2 são as velocidades da superfície B mostradas na figura 2.1.

Integrando-se duas vezes as equações (2.6) e (2.7), na direção da espessura do filme (uma no intervalo de 0 a h e outra de 0 a z , consecutivamente, e aplicando-se as condições de contorno (2.9) obtêm-se as componentes da velocidade no plano do filme u e v .

$$u = \frac{\partial P}{\partial x} \left(\int_0^z \frac{z dz}{\mu} - \frac{F_1}{F_0} \int_0^z \frac{dz}{\mu} \right) + U_1 + \frac{U_2 - U_1}{F_0} \int_0^z \frac{dz}{\mu} + \bar{B}_x \quad (2.10)$$

$$v = \frac{\partial P}{\partial y} \left(\int_0^z \frac{z dz}{\mu} - \frac{F_1}{F_0} \int_0^z \frac{dz}{\mu} \right) + V_1 + \frac{V_2 - V_1}{F_0} \int_0^z \frac{dz}{\mu} + \bar{B}_y \quad (2.11)$$

onde:

$$F_0 = \int_0^h \frac{dz}{\mu} \quad F_1 = \int_0^h \frac{z dz}{\mu}$$

$$\bar{B}_{x(y)} = \frac{\int_0^z \frac{dz}{\mu}}{F_0} \int_0^h \frac{1}{\mu} \int_0^z \bar{B}_{x(y)} dz \cdot dz - \int_0^z \frac{1}{\mu} \int_0^z \bar{B}_{x(y)} dz \cdot dz$$

Com as equações (2.5), (2.6) e (2.7) tem-se a componente da velocidade na direção perpendicular ao plano do filme (plano \mathbf{x}, \mathbf{y}) dada por (2.12).

$$w = - \int_0^z \frac{\partial u}{\partial x} dz - \int_0^z \frac{\partial v}{\partial y} dz + W_1 \quad (2.12)$$

A velocidade média no plano do filme é definida como sendo:

$$\bar{U}^* = \left(\frac{1}{h} \int_0^h u dz \right) \hat{i} + \left(\frac{1}{h} \int_0^h v dz \right) \hat{j} \quad (2.13)$$

$$\bar{U}^* = \bar{u} \hat{i} + \bar{v} \hat{j}$$

Portanto o fluxo de volume por unidade de contorno do filme no plano (\mathbf{x}, \mathbf{y}) é dada por:

$$q^* = h \bar{U}^* = h \bar{u} \hat{i} + h \bar{v} \hat{j} \quad (2.14)$$

Quando as equações (2.10), (2.11), (2.13) e (2.14) são combinadas tem-se que:

$$q^* = G \cdot \nabla P + h \cdot V_1^* + \frac{\Delta U^*}{Fo} \int_0^h \int_0^z \frac{dz}{\mu} dz + \tilde{B} \quad (2.15)$$

onde:

$$G = \int_0^h \int_0^z \frac{z dz dz}{\mu} - \frac{F_1}{F_0} \int_0^h \int_0^z \frac{dz \cdot dz}{\mu}$$

$$V_i^* = U_i \hat{i} + V_i \hat{j}$$

$$\Delta U^* = (U_2 - U_1) \hat{i} + (V_2 - V_1) \hat{j}$$

$$\tilde{B} = \left(\int_0^h \bar{B}_x \cdot dz \right) \hat{i} + \left(\int_0^h \bar{B}_y \cdot dz \right) \hat{j}$$

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial}{\partial y} \hat{j}$$

Integrando-se agora a equação da continuidade de massas (2.5) sobre a espessura do filme, h , tem-se que:

$$\int_0^h \frac{\partial u}{\partial x} \cdot dz + \int_0^h \frac{\partial v}{\partial y} \cdot dz + \int_0^h \frac{\partial w}{\partial z} \cdot dz = 0$$

mas

$$\int_0^h \frac{\partial w}{\partial x} \cdot dz = \frac{\partial h}{\partial t} + b \cdot d$$

e

$$\int_0^h \frac{\partial u}{\partial x} \cdot dz + \int_0^h \frac{\partial v}{\partial y} \cdot dz = \nabla \cdot q^*$$

logo tem-se:

$$\nabla \cdot \mathbf{q}^* + \frac{\partial h}{\partial t} + \mathbf{b} \cdot \mathbf{d} = 0 \quad (2.16)$$

onde $\mathbf{b} \cdot \mathbf{d}$ é a velocidade de difusão do fluxo através dos poros da superfície do mancal em $z = 0$ e $z = h$, e $\frac{\partial h}{\partial t}$ é o esmagamento do filme (squeezing).

Substituindo-se a equação (2.15) em (2.16) obtém-se a equação (2.17).

$$-\nabla \cdot (\mathbf{G} \cdot \nabla P) = \nabla \cdot (\mathbf{h} \cdot \mathbf{V}_{1*}) + \nabla \cdot (\Delta U^* F_2) + \nabla \cdot \tilde{\mathbf{B}} + \frac{\partial h}{\partial t} + \mathbf{b} \cdot \mathbf{d} \quad (2.17)$$

onde:

$$F_2 = \frac{1}{F_0} \int_0^h \int_0^z \frac{dz}{\mu} \cdot dz$$

A equação de Reynolds, na sua forma generalizada (2.17), é uma equação diferencial parcial elíptica para a pressão, considerando-se as propriedades do lubrificante (densidade, viscosidade), bem como, a distribuição de espessuras do filme, forças de corpo, fluxos de difusão e esmagamento de filme.

A determinação da distribuição de pressões no filme lubrificante não é um problema unívoco até que as condições de contorno sejam especificadas.

Se D é o domínio sobre o qual a solução é desejada e S é o contorno de D , as condições de contorno tomam a seguinte forma geral:

$$P = P_{\vec{x}}(x, y) \quad \text{em } S_p$$

$$Q = q_{\vec{x}} \cdot \hat{n} = h \cdot u_{\vec{x}} \cdot \hat{n} \quad \text{em } S_q \quad (2.18)$$

Onde S_p e S_q são segmentos do contorno S tal que $S_p \cup S_q = S$ e \hat{n} é um vetor unitário normal a S . Estas condições de contorno são esquematicamente mostradas na Figura 2.2, onde tem-se, adicionalmente, que $S_p \cap S_q = \{\emptyset\}$

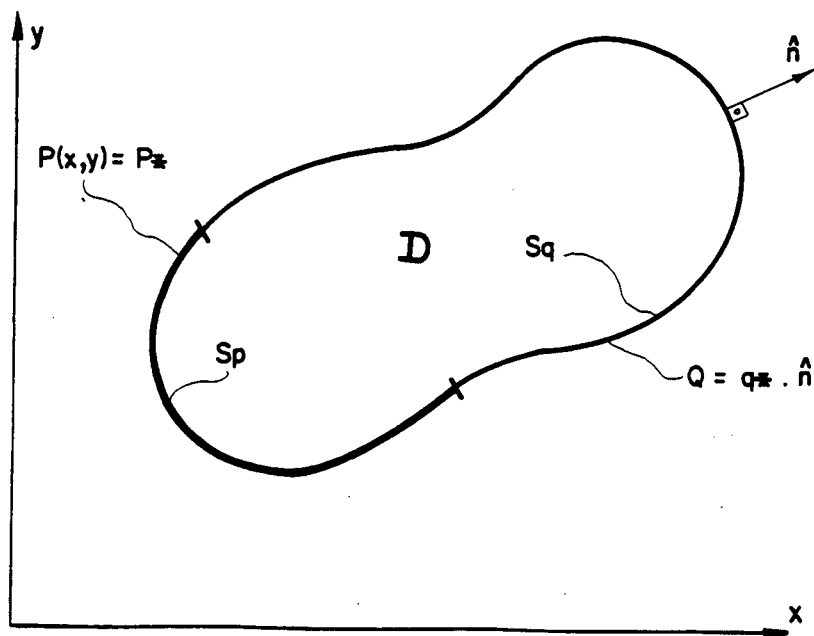


Fig. 2.2 - Condições de contorno para a equação de Reynolds (2.17)

O segmento S_p é uma porção não nula de S , no qual a pressão é especificada e S_q é o trecho restante de S , onde o fluxo de volume é especificado.

O segmento S_p precisa ser não nulo para que a solução seja única, pois quando as condições de contorno são suficientes, a Equação de Reynolds-Generalizada tem uma única solução, ou seja, vai gerar somente um perfil de pressões no filme lubrificante.

2.1.1.2 EQUAÇÃO DA ENERGIA

Pode-se notar que a Equação de Reynolds na sua forma generalizada (2.17), cuja solução é o perfil de pressões no interior do filme lubrificante, contém termos nos quais são consideradas variações na viscosidade do fluido.

Estas variações na viscosidade são implicitamente dependentes da posição (X , Y) do ponto no interior do filme e explicitamente dependentes das temperaturas e pressões atuantes no ponto considerado.

Como a variação da viscosidade com a pressão geralmente é baixa para fluidos considerados incompressíveis, será considerada, no presente trabalho, somente a variação da viscosidade com a temperatura.

Logo, se faz necessário uma equação que forneça a distribuição de temperaturas no interior do filme.

Esta distribuição de temperaturas é obtida através da Equação da Energia, a qual é deduzida fazendo-se um balanço energético num volume elementar no interior do filme fluido.

Considerando-se as hipóteses simplificativas descritas anteriormente, a equação da energia (A.2.1) toma a seguinte forma:

$$\rho \cdot c_p \cdot V \cdot \nabla T = K \nabla \cdot \nabla T + \psi \quad (2.19)$$

onde:

$$V = u\hat{i} + v\hat{j} + w\hat{k}$$

$$\phi = \mu(\tau) \left[\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right]$$

ϕ = função "dissipação"

Como a equação de Reynolds (2.17), a equação da Energia (2.19) necessita de certas condições de contorno para sua perfeita definição.

Podem-se considerar as seguintes condições de contorno:

1. $T = T_i$ especificada em toda a área do volume de controle em que há entrada de lubrificante. Esta distribuição inicial de temperatura (T_i) deve ser determinada experimentalmente ou obtida por cálculo prévio.

(2.20) 2. $\frac{\partial T}{\partial n} = 0$ especificada em toda área do volume de controle em que há saída de lubrificante.

3. $\frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=0} = \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=h} = 0$ não há fluxo de calor através das superfícies do mancal.

A condição de contorno 1 retrata a especificação da temperatura do lubrificante que é admitido no mancal.

As condições 2 e 3 são denominadas condições de contorno adiabáticas, e implicam que todo calor gerado no interior do

filme lubrificante, devido às forças cisalhantes, reflete-se somente em uma variação da temperatura do fluido.

As condições de contorno adiabáticas, além de possuírem um caráter conservativo, são justificadas por vários pesquisadores com Huebner [3] McCallian e F. Yousif e T. Lloyd [6].

Quanto ao caráter conservativo, este apoia-se no seguinte raciocínio: se não se considerar o fluxo de calor através das paredes e do eixo do mancal, admite-se que o calor que fluiria através destes elementos fica retido no interior da massa fluida, o que se reflete em um aumento maior que o real nas temperaturas do filme lubrificante. Como, para fluidos incompressíveis, a viscosidade é inversamente proporcional à temperatura, estar-se-ia subestimando a viscosidade e, por consequência, a capacidade de carga também seria subestimada. Daí as condições de contorno adiabáticas proporcionarem um caráter conservativo à solução.

2.1.1.3 RELAÇÃO VISCOSIDADE/TEMPERATURA

Nota-se, através da Equação da Energia (2.19), que é necessária uma relação explícita da viscosidade em função da temperatura, ou seja $\mu = f(T)$.

Entretanto, a relação entre a viscosidade e a temperatura ainda não é totalmente conhecida, isto é, não há fórmula exata que defina esta relação.

Por outro lado, encontram-se na literatura [7, 8] várias formas de se obter, aproximadamente, esta relação, seja através de gráficos [7] ou através de relações empíricas [8].

Uma das relações empíricas mais utilizadas é a relação de Vogel (2.21), testada com excelentes resultados por Cameron [8].

$$\mu = K^* \cdot e^{\left(\frac{B^*}{T + P^*}\right)} \quad (2.21)$$

onde: K^* é chamado viscosidade inerente do lubrificante (depende do lubrificante).

B^* e P^* tem unidades de temperatura

P^* varia de 50 a 150

B^* varia de 500 a 2000

e

$$P^* = \frac{L \cdot T_2 - M \cdot T_3}{L - M}$$

$$L = \frac{\ln\left(\frac{\mu_1}{\mu_2}\right)}{\ln\left(\frac{\mu_1}{\mu_3}\right)}$$

$$M = \frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_1}$$

$$B^* = \ln\left(\frac{\mu_1}{\mu_2}\right) \cdot \frac{(T_1 + P^*) \cdot (T_2 + P^*)}{T_2 - T_1}$$

onde:

μ_1 - Viscosidade dinâmica do lubrificante a uma temperatura T_1

μ_2 - Viscosidade dinâmica do lubrificante a uma temperatura T_2

μ_3 - Viscosidade dinâmica do lubrificante a uma temperatura T_3

É recomendável tomar valores das viscosidades em temperaturas T_1 , T_2 , T_3 , dentro da faixa de temperaturas de operação do mancal, onde $T_1 < T_2 < T_3$.

Outra relação empírica usada para exprimir a relação viscosidade/temperatura é a equação denominada de equação de Walther (2.22).

$$\mu = -0,6 + 10^{(D - C \cdot \log(459,69T))} \quad (2.22)$$

onde:

$$C = \log \left[\frac{\log(\nu_1 + 0,6)}{\log(\nu_2 + 0,6)} \right] / \log(669,7 / 559,7)$$

$$D = \log \left[\log(\nu_2 + 0,6) + C \log(669,7) \right]$$

e ν_1 é a viscosidade cinemática do fluido a 100°F

ν_2 é a viscosidade cinemática do fluido a 210°F

2.1.1.4 PROCESSO ITERATIVO

Como já foi mencionado, a lubrificação com fluido in compressível, tratada sob um aspecto termodinâmico, necessita de um processo iterativo para a solução de suas equações governantes.

Esta necessidade pode ser verificada através de uma análise das equações de Reynolds (2.17), equação da Energia (2.19) e da Relação Viscosidade/Temperatura (2.21 ou 2.22).

Para o cálculo do perfil de pressões através de (2.17) é necessário o conhecimento prévio da distribuição de viscosidades do lubrificante no interior do filme. Como o valor da viscosidade depende da temperatura na qual o fluido se encontra, também é necessário o conhecimento prévio das temperaturas no interior do filme.

Através da equação da Energia (2.19) percebe-se que há elementos nesta equação dependentes das velocidades u , v e w , que por sua vez são obtidos consecutivamente pelas equações (2.10) e (2.11) e (2.12).

Nestas últimas equações aparecem os termos $\frac{\partial P}{\partial x}$ e $\frac{\partial P}{\partial y}$, o que caracteriza o ciclo iterativo, pois seria necessário um prévio conhecimento do perfil de pressões para o cálculo do perfil de temperaturas e vice-versa.

Para a solução do problema, começa-se assumindo uma distribuição inicial (qualquer) de temperatura, só encerrando o ciclo quando um critério de convergência pré-estabelecido for atendido.

Para se evitar a não linearidade da Equação da Energia (2.19), calcula-se a viscosidade (2.21 ou 2.22) em uma distribuição de temperaturas, encontrada em passo anterior do processo iterativo.

Assim, o processo iterativo pode ser representado na forma de diagrama de blocos tal como na Figura 2.3, onde pode-se visualizar de maneira mais clara este processo.

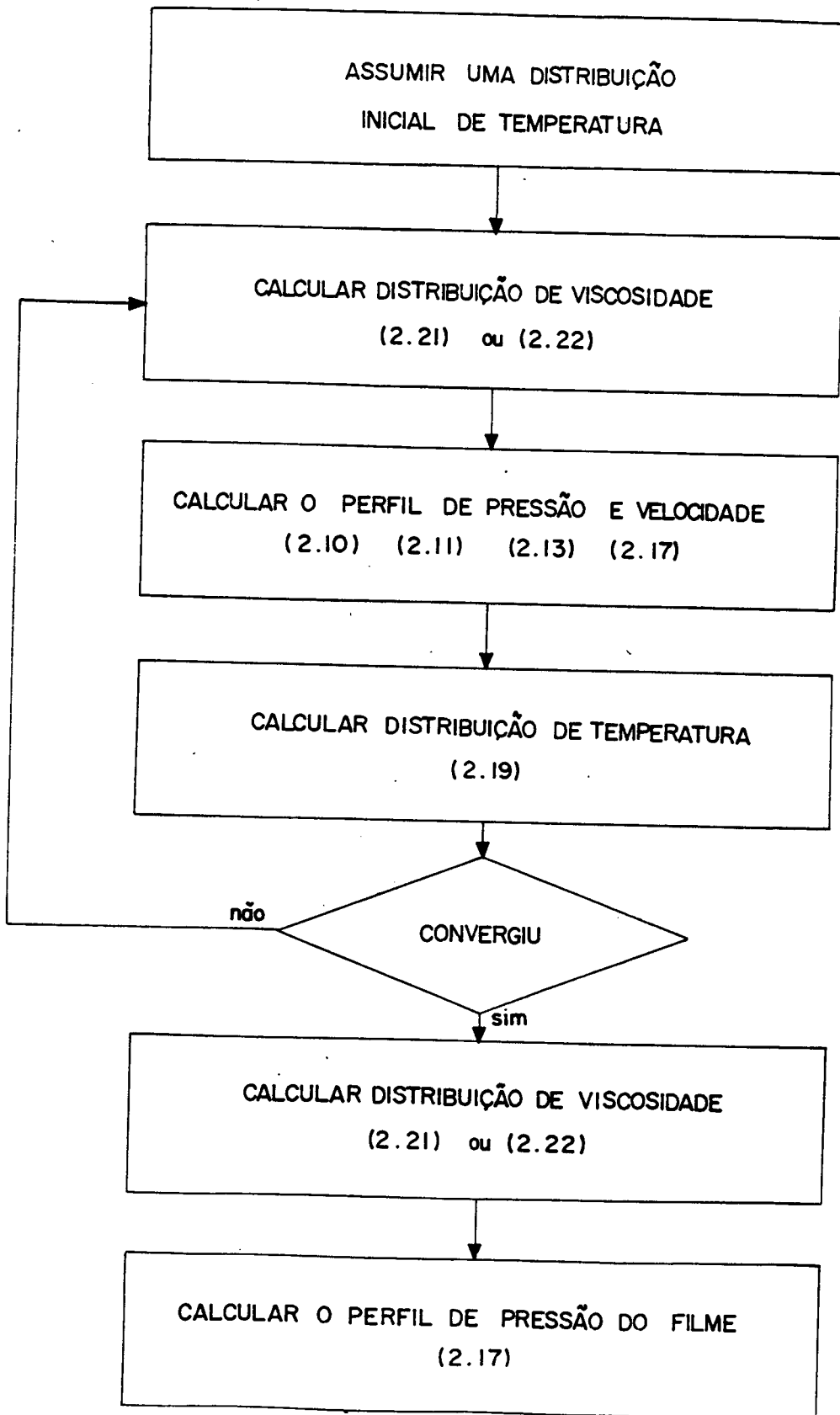


Fig. 2.3 - Diagrama de Blocos para solução do problema de Lubrificação incompressível/aspecto termodinâmico.

2.1.2 ASPECTO ISOTÉRMICO

Apesar de ser uma hipótese simplificativa relativamente drástica ao problema da lubrificação incompressível, a abordagem deste sob um aspecto isotérmico traz inegáveis vantagens quando se está na fase de estudos preliminares do desenvolvimento de projetos de mancais.

O estudo do problema através deste aspecto facilita o cálculo do perfil de pressões, pois desacopla a Equação de Reynolds da Equação da Energia, não sendo assim necessário o uso do processo iterativo descrito anteriormente, o qual dificulta consideravelmente a obtenção das soluções.

A abordagem isotérmica é possível quando se pode encontrar uma "viscosidade efetiva" do lubrificante. Esta "viscosidade efetiva" deve ser obtida a uma temperatura representativa que pode ser chamada de "temperatura equivalente de trabalho".

Usualmente esta "temperatura equivalente de trabalho" pode ser obtida fazendo-se o cálculo do trabalho realizado sobre o lubrificante, calculando-se através deste, a variação da temperatura no interior do filme.

A "temperatura equivalente de trabalho" será, neste caso, a soma do valor da temperatura de admissão com metade da variação da temperatura, calculada em função do trabalho realizado sobre o filme.

Quando possível, pode-se usar dados experimentais obtidos de projetos similares já desenvolvidos e testados.

Assim, para um problema de lubrificação incompressível considerado isotermicamente, a única equação a ser considerada é a Equação de Reynolds (2.17), a qual deve ser modificada devido à uniformidade no valor da viscosidade.

Admitindo-se na equação (2.17), que a viscosidade não varia através da espessura do filme, ela pode ser reduzida a:

$$\nabla \cdot \left(\frac{h^3}{12\mu} \cdot \nabla P \right) = \nabla \cdot \left(h\bar{U} + \frac{h^3}{12\mu} \cdot \tilde{B} \right) + \frac{\partial h}{\partial t} + b-d \quad (2.23)$$

onde:

$$\bar{U} = \left(\frac{U_1 + U_2}{2} \right)^2 + \left(\frac{V_1 + V_2}{2} \right)^2 \quad (2.24)$$

As condições de contorno, neste caso, tornam-se:

$$P = P^*(X, Y) \quad \text{em } S_p. \quad (2.25)$$

$$Q = q^* \cdot \hat{n} = h \cdot \bar{U} \cdot \hat{n} = h \cdot \left(\bar{U} + \frac{h^2}{12\mu} \cdot \check{B} + \frac{h^2}{12\mu} \cdot \Delta P \right) \cdot \hat{n} \quad \text{em } S_q.$$

A equação (2.23), com as condições de contorno (2.25), governa o fenômeno da lubrificação incompressível estudada isotérmicamente e será a base do programa computacional desenvolvido no Capítulo IV do presente trabalho.

2.2 LUBRIFICAÇÃO COMPRESSÍVEL

Como foi mencionado anteriormente, será dada maior ênfase ao caso da lubrificação incompressível, sendo assim, as equações para o caso da lubrificação com fluido compressível serão apenas apresentadas.

No caso da lubrificação compressível deve-se levar em conta a variação da densidade do lubrificante.

Neste caso, os efeitos térmicos sobre a viscosidade geralmente não são importantes, logo, despreza-se a variação da viscosidade com a temperatura.

Fazendo-se as considerações acima mencionadas na equação geral das quantidades de movimento (Equações de Navier-Stokes) (A.1.2), a Equação de Reynolds, para o caso da lubrificação compressível, toma a seguinte forma:

$$\nabla \cdot \left(\frac{\rho \cdot h^3}{12\mu} \cdot \nabla P \right) = \nabla \cdot \left(\rho h \bar{U} + \frac{\rho h^3}{12\mu} \cdot \ddot{B} \right) + \frac{\partial(\rho h)}{\partial t} + \rho \cdot b \cdot d \quad (2.26)$$

A equação de Reynolds (2.26) torna-se não linear, pois a densidade ρ depende do perfil de pressões.

Para um gás ideal a relação entre a densidade e a pressão é a seguinte:

$$P = \rho \cdot R \cdot T \quad (2.27)$$

Combinando-se as equações (2.26) e (2.27) tem-se que:

$$\nabla \cdot \left(\frac{h^3 P}{12\mu} \cdot \nabla P \right) = \nabla \cdot \left(P h \bar{U} + \frac{P h^3}{12\mu} \cdot \ddot{B} \right) + \frac{\partial(P h)}{\partial t} + P \cdot b \cdot d \quad (2.28)$$

que é a Equação de Reynolds aplicada à lubrificação compressível, considerando o fluido um gás ideal.

C A P Í T U L O I I I

FORMULAÇÃO ATRAVÉS DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Antes de abordar o problema da lubrificação através do método de elementos finitos, serão apresentados alguns comentários sobre a teoria envolvida neste.

O objetivo, entretanto, não é o de detalhar as bases matemáticas do método, mas de tornar clara a seqüência de transformações das equações governantes do fenômeno da lubrificação, desde sua forma diferencial até sua forma algébrica. Logo, este capítulo tem como objetivo principal responder as seguintes questões:

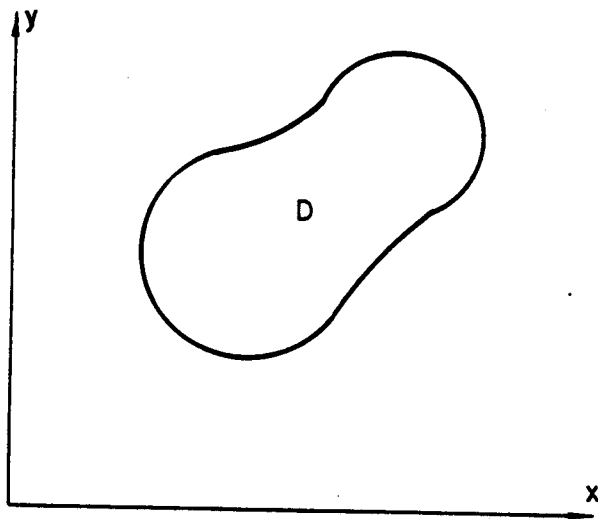
1. O que é método de elementos finitos?
2. Como resolver as Equações Diferenciais, governantes da lubrificação, através do método?

3.1 MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

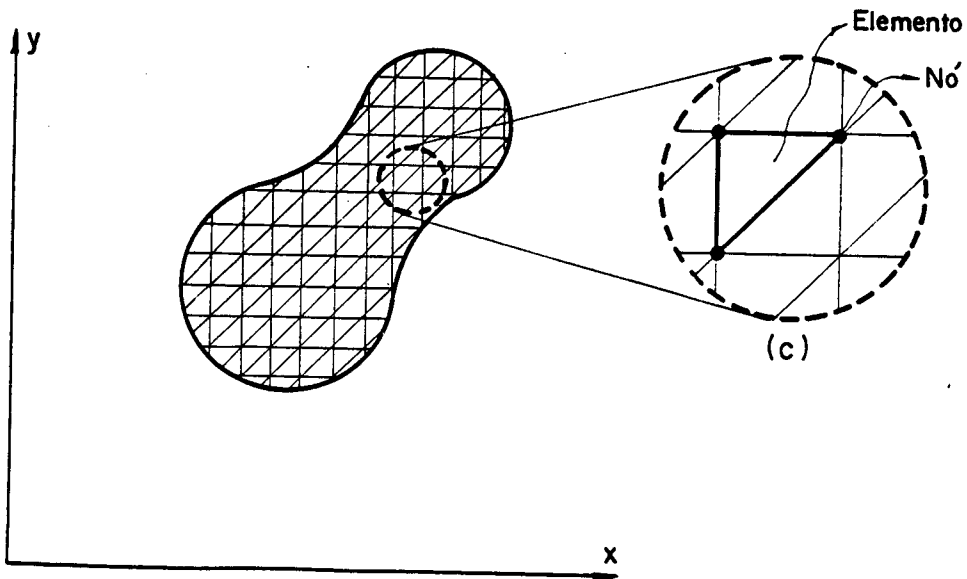
O método de elementos finitos é um método numérico utilizado para resolver equações diferenciais de problemas de valores iniciais ou problemas de valores no contorno, tal como é o caso da Equação de Reynolds e da Equação da Energia.

A idéia básica do método é dividir o domínio de solução do problema, que é um contínuo, em um certo número de sub-domínios. Se o domínio a ser discretizado é bidimensional, como é o caso da Equação de Reynolds (2.17), uma das formas convenientes de

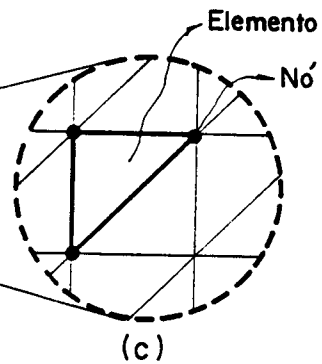
dividir este contínuo poderia ser a mostrada esquematicamente na Figura 3.1.



(a)



(b)



(c)

Fig. 3.1 - (a) Domínio Contínuo
(b) Domínio Dividido (Discretizado)
(c) Sub-Domínio (Elemento)

Cada sub-domínio é denominado de elemento, daí o método receber o nome de método de elementos finitos, pois trabalha-se com elementos finitos, e não "infinitesimais" como é o caso das equações diferenciais.

No contorno e no interior dos elementos, são escolhidos, convenientemente, pontos denominados nós (Figura 3.1.c) e a variável da equação diferencial é aproximada por uma combinação linear de funções conhecidas e dos valores das variáveis nos nós. Estas funções são denominadas de funções de interpolação locais e têm a importante propriedade de possuírem definição somente no interior de cada elemento, anulando-se fora do mesmo.

Seja Ω a variável de uma equação diferencial e r o número de nós do elemento, tem-se, então, que a função no interior do elemento pode ser aproximada por:

$$\Omega = \sum_{i=1}^r \Omega_i \cdot N_i \quad (3.1)$$

onde:

$\Omega_i (i=1,r)$ - valor da variável no nó

$N_i (i=1,r)$ - funções de interpolação locais

A função Ω , no interior do domínio D , pode ainda ser definida como sendo uma somatória dos produtos dos valores de Ω nos nós, Ω_i , pelas funções agora denominadas de funções de interpolação globais M_i , ou seja:

$$\Omega = \sum_{i=1}^n \Omega_i \cdot M_i \tag{3.2}$$

onde:

$\Omega_i(i=1,nn)$ - valor da variável no nó

$M_i(i=1,nn)$ - funções de interpolação globais

De acordo com o grau das funções de interpolação, os elementos podem ser ditos lineares, quadráticos, etc.

Na Figura 3.2 encontram-se alguns elementos utilizados na discretização dos problemas de meios contínuos bidimensionais.

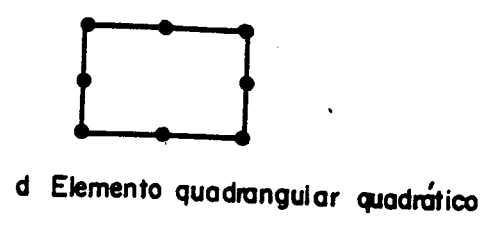
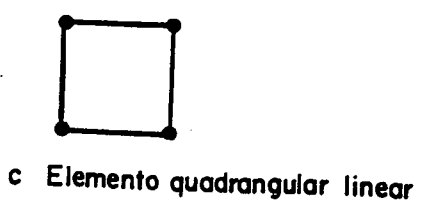
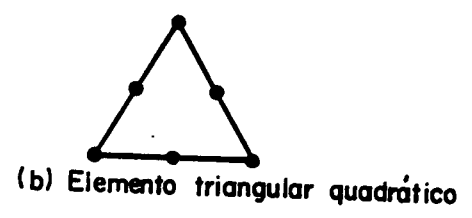
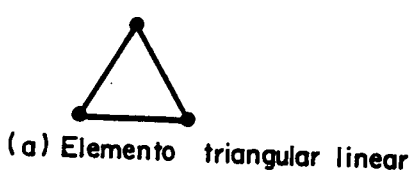


Fig. 3.2 - Exemplos de Elementos Bidimensionais

Utilizando-se de princípios variacionais ou de métodos de resíduos ponderados (Galerkin, mínimos quadrados etc), as equações diferenciais governantes do fenômeno a ser estudado podem ser transformadas em equações algébricas em cada elemento finito.

Após isto, as equações governantes de cada elemento são "unidas" para formar um sistema global, ao qual se pode aplicar as condições de contorno do problema.

O resultado deste processo é um sistema de equações algébricas, cujas variáveis são seus valores nodais.

A solução deste sistema algébrico é uma aproximação à solução da equação diferencial e respectivas condições de contorno.

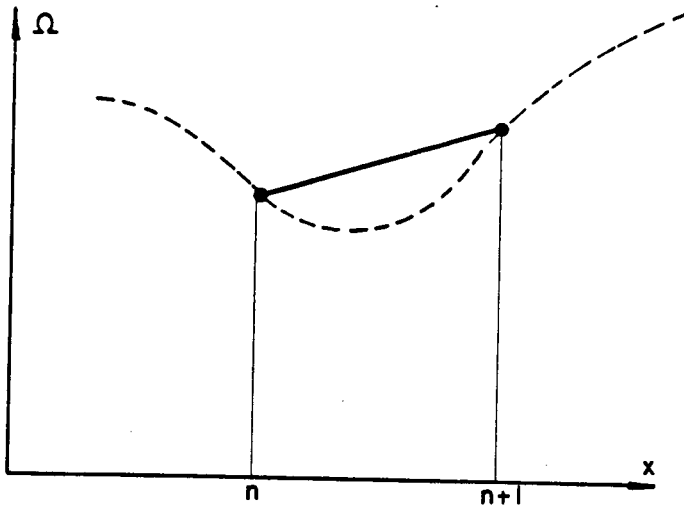
O método de elementos finitos vem sendo largamente empregado na solução de problemas dos meios contínuos, tanto na área de estruturas, na área da mecânica dos fluidos, condução de calor e como em muitas outras.

Na área da lubrificação, recentemente algumas pesquisas tem sido realizadas por estudiosos como Huebner [3, 9, 10, 15], Tieu [11], Reedy [12, 13], Allan [14] e outros.

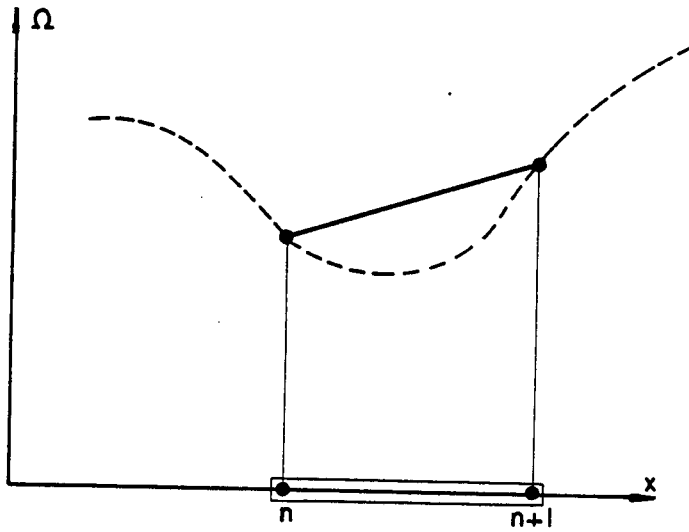
Tal como o método de diferenças finitas, o método de elementos finitos não é um método exato, fornecendo soluções aproximadas das equações diferenciais.

Entretanto, o método de elementos finitos possui uma série de vantagens, quando comparado com o método analítico e com outros métodos numéricos, como o método de diferenças finitas.

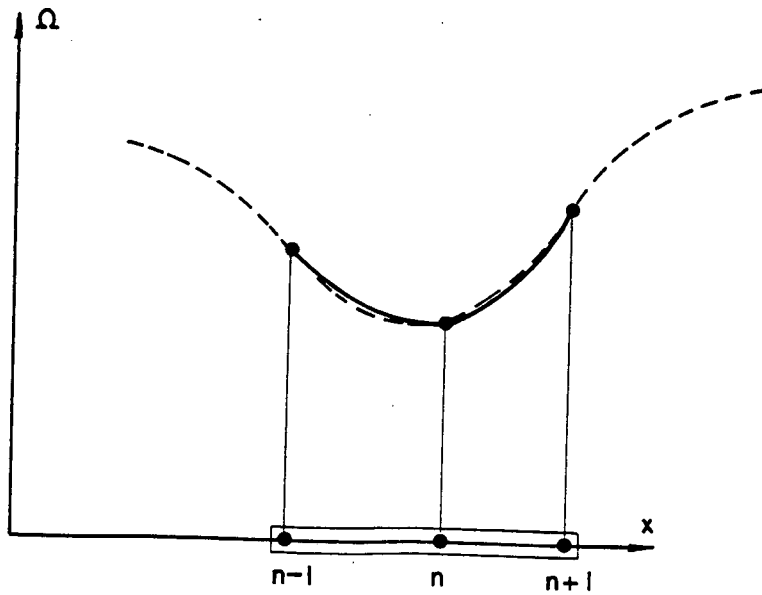
A primeira vantagem é relacionada ao aspecto de precisão. O método de elementos finitos possui um maior grau de precisão comparado ao método de diferenças finitas clássico quando, em um mesmo refino de malha, são utilizados elementos cujas funções de interpolação são de ordem superiores (2º, 3º, 4º, etc). Para o caso de funções de interpolação de 1º grau, a precisão é aproximadamente equivalente à obtida pelo método de diferenças finitas clássico, como pode ser visto esquematicamente na Figura 3.3, onde é representada uma função qualquer unidimensional $\Omega(x)$ (linha pontilhada) e sua aproximação através de diferenças finitas e através de elementos finitos de primeiro e segundo graus.



(a)



(b)



(c)

Fig. 3.3 - (a) método de diferenças finitas

(b) método de elementos finitos (elemento de 1º grau)

(c) método de elementos finitos (elemento de 2º grau)

No caso específico da lubrificação, uma outra importante vantagem que o método de elementos finitos apresenta é a relativa facilidade de modelar problemas onde a geometria do filme é complexa ou quando ocorrem variações bruscas de espessura do mesmo, devido à necessidade da previsão de canais de distribuição de lubrificante, como é o caso do anel de mancal mostrado na Figura 3.4

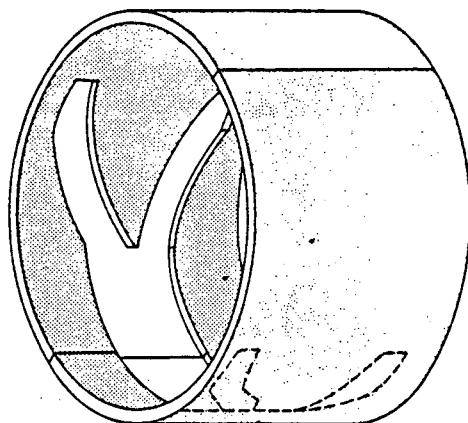


Fig. 3.4 - Anel de mancal radial com canal de distribuição de lubrificante [8]

O mancal mostrado na Figura 3.4, pode ser facilmente modelado através do método de elementos finitos, como mostra a Figura 3.5, onde, por questões de simetria, modelou-se apenas 1/4 do mancal.

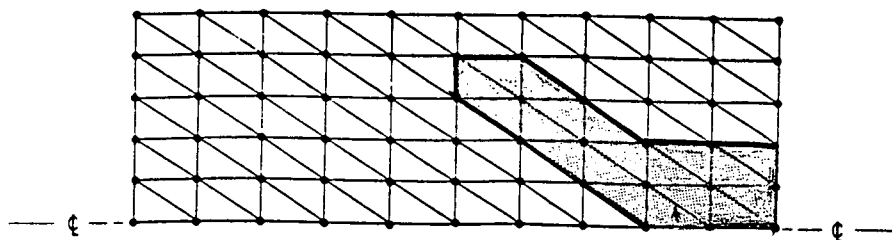


Fig. 3.5 - Modelo em elementos finitos do mancal da Figura 3.4

A facilidade na modelagem destas irregularidades é devido ao fato de que o método de elementos finitos não exige continuidade em certas propriedades do filme (alturas, viscosidades, etc) dentro do domínio completo de solução e sim, somente no interior dos elementos, podendo ser descontínua de elemento para elemento.

Como foi mencionado, para se transformar uma equação diferencial, como a de Reynolds (2.17), numa equação de elementos finitos são utilizados, geralmente, métodos baseados em princípios variacionais (Rayleigh Ritz) ou métodos de resíduos ponderados (Galerkin).

Para que as transformações efetuadas nos itens posteriores fiquem claras, será apresentado a seguir, o princípio destes métodos.

3.1.1 MÉTODO DE RAYLEIGH-RITZ

Como se sabe, várias leis físicas podem ser deduzidas a partir de princípios matemáticos concisos.

Uma das maneiras de deduzir, algumas destas leis é fazendo com que certas integrais, cujos integrandos contém funções desconhecidas, se tornem extremas em um certo domínio.

O problema de tornar tais integrais extremas (mínimas, máximas ou estacionárias) pertence ao cálculo variacional, do qual se fará uso no decorrer do presente trabalho.

Tomando-se, por exemplo, um domínio bidimensional, como é o caso da equação de Reynolds, certas equações diferenciais podem ser obtidas fazendo-se com que integrais do tipo

$$I = \iint_D F\left(x, y, \eta, \frac{\partial \eta}{\partial x}, \frac{\partial \eta}{\partial y}\right) dD \quad (3.3)$$

se tornem extremas (mínimas, máximas ou estacionárias) dentro do domínio D , onde I é chamado de "funcional variacional".

O método de Rayleigh-Ritz se utiliza do princípio variacional que gera a equação diferencial em estudo, logo, para a utilização deste método é necessário o conhecimento prévio do princípio variacional, caso a equação diferencial possua um.

Caso a equação diferencial não possua um princípio variacional correspondente, outro método, conhecido por método Galerkin, pode ser utilizado.

O método de Rayleigh-Ritz consiste em se admitir que, dentro do princípio variacional, tal como (3.3), a variável seja aproximada por uma combinação linear de certas funções N_i previamente determinadas.

Seja Ω a variável desejada, logo:

$$\Omega \approx N_i \cdot C_i = \tilde{\Omega} \quad (3.4)$$

onde C_i são constantes a serem determinadas e N_i são funções previamente escolhidas (funções de interpolação).

Substituindo (3.4) em (3.3) tem-se que:

$$I(C_i) = \iint_D F(x, y, \Omega, \frac{\partial \tilde{\Omega}}{\partial x}, \frac{\partial \tilde{\Omega}}{\partial y}) dD \quad (3.5)$$

A condição para que $\tilde{\Omega}$ torne o princípio variacional extremo (mínimo, máximo ou estacionário) é dada por:

$$\delta I = 0 \quad \text{ou} \quad \frac{\partial I}{\partial C_i} \cdot \delta C_i = 0 \quad (3.6)$$

o que implica que:

$$\frac{\partial I}{\partial C_i} = 0 \quad (3.7)$$

Da equação (3.7) obtém-se as constantes C_i e, em consequência, a solução aproximada.

Para o caso particular do método de elementos finitos:

$$\tilde{\Omega} = \Omega_i \cdot M_i \quad (i = 1, nn) \quad (3.8)$$

onde:

M_i . são as funções de interpolação globais

Ω_i . são os valores da variável nos nós

nn . número de nós do sistema

Considerando-se o contínuo dividido em ne elementos tem-se que:

$$\tilde{\Omega} = \sum_{e=1}^{ne} N_i^{(e)} \cdot \Omega_i^{(e)} \quad i = 1, r \quad (3.9)$$

$$I = \sum_{e=1}^{ne} I^{(e)} \quad (3.10)$$

onde:

r . número de nós em um elemento

$N_i^{(e)}$. funções de interpolação locais

e por (3.4) tem-se que:

$$\delta I = \delta \sum_{e=1}^{ne} I^{(e)} = 0 \quad (3.11)$$

Como as funções de interpolação N_i são linearmente independentes e definidas somente no interior da cada elemento, para tornar extrema a integral I basta tornar extremas as integrais $I^{(e)}$, individualmente para cada elemento, logo:

$$\delta I^{(e)} = 0 \quad e = 1, ne \quad (3.12)$$

ou

$$\frac{\partial I^{(e)}}{\partial \Omega_i^{(e)}} = 0 \quad e = 1, ne \quad (3.13)$$

As equações (3.13), quando devidamente acopladas, fornecem um sistema de equações algébricas que junto com as condições de contorno geram os valores da variável Ω nos nós, Ω_i e em consequência, por (3.9) a solução aproximada $\tilde{\Omega}$.

3.1.2 MÉTODO DE GALERKIN

O método de Galerkin [2] é um método de distribuição de erro. Este método faz com que o erro, ou resíduo, originado quando numa equação diferencial, substituem-se as variáveis dependentes por combinação lineares de funções previamente escolhidas seja ortogonal ao sub-espaço gerado por estas funções N_i . Condição esta que pode ser vista esquematicamente na Figura 3.6.

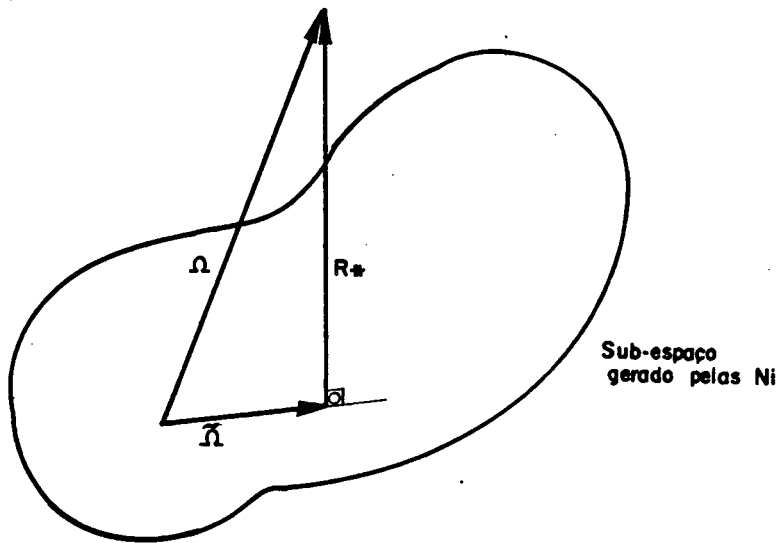


Fig. 3.6 - Representação Gráfica do Método de Galerkin

onde:

Ω = solução exata

$\tilde{\Omega}$ = Solução aproximada

R_* = Erro ou Resíduo

Se a equação diferencial for apresentada na forma de operador diferencial tem-se:

$$\mathcal{L}(\Omega) - f = 0 \quad (3.14)$$

que deve satisfazer certas condições de contorno, particulares para cada problema, onde \mathcal{L} é o operador diferencial.

Quando se substitui uma solução aproximada, do tipo (3.4), em (3.14); ela não vai satisfazer exatamente a equação dife

rencial, dando assim, origem a um erro ou resíduo R_* , logo:

$$R_* = \mathcal{L}(\tilde{Q}) - f \neq 0 \quad (3.15)$$

Mas, para que o resíduo R_* seja ortogonal ao sub-espaço gerado pela N_i , o produto interno entre o resíduo R_* e as funções N_i (linearmente independentes) deve ser nulo, ou seja:

$$(R_* \cdot N_i) = 0$$

ou (3.16)

$$\int_D R_* \cdot N_i \cdot dD = 0$$

Substituindo-se (3.15) e (3.4) em (3.16) tem-se que:

$$\int_D \mathcal{L}(N_j C_j - f) N_i \cdot dD = 0 \quad (3.17)$$

Com o sistema de equações (3.17) são determinados os valores das constantes C_j e, por consequência, a solução aproximada dada pela equação (3.4) é obtida.

Para o caso particular do método de elementos finitos, os C_j são os valores da variável nos nós, Ω_j .

Quando o funcional existe, o resultado obtido pelo método de Galerkin é o mesmo que o obtido pelo método de Rayleigh-Ritz.

3.2 LUBRIFICAÇÃO INCOMPRESSÍVEL ATRAVÉS DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Serão apresentados neste item, as transformações que ocorrem nas equações governantes da lubrificação desde sua forma diferencial até a forma de equação de elementos finitos.

Inicialmente, e com mais detalhes, serão apresentadas as transformações ocorridas na equação de Reynolds (2.19), a qual considera a lubrificação incompressível sob um aspecto isotérmico, pois esta será base para o programa desenvolvido no Capítulo IV a seguir.

As transformações ocorridas na equação de Reynolds (2.13), considerando a lubrificação sob um aspecto termodinâmico, são semelhantes e serão apenas indicadas.

3.2.1 ASPECTO ISOTÉRMICO

Como foi visto, a equação diferencial que governa a lubrificação incompressível sob um aspecto isotérmico (2.23), é uma forma simplificada da equação de Reynolds (2.17), e está reescrita abaixo, com uma ligeira modificação (3.18).

$$\nabla \cdot \left(\frac{h^3}{12\mu} \nabla P \right) - \nabla \cdot \left(h\bar{U} + \frac{h^3}{12\mu} \tilde{B} \right) - \frac{\partial h}{\partial t} - \epsilon d = 0 \quad (3.18)$$

Como foi visto anteriormente, para se transformar uma equação diferencial em uma equação de elementos finitos, através do método de Rayleigh-Ritz, é necessário que se tenha em mãos o princípio variacional que gerou a equação diferencial.

Para que a equação (3.18) possua um princípio variacional deve-se ter que:

$$\delta I_{(P)} = \iint_D (E. Dif.) \delta(P) dD = 0 \quad (3.19)$$

onde:

$D = \text{contínuo}$

(E Dif.) é o termo esquerdo da (3.18), pois como $\delta(P)$ é arbitrário
 $\Rightarrow (E Dif.) = 0$, recaindo assim na equação (3.18).

Para se encontrar o princípio variacional $I(P)$, procede-se de maneira inversa, assim tem-se que:

$$\delta I_{(P)} = \iint_D \left[\nabla \left(\frac{\hbar^3}{12\mu} \nabla P \right) - \nabla \cdot \left(\hbar \bar{U} + \frac{\hbar^3}{12\mu} \ddot{B} \right) - \frac{\partial \hbar}{\partial t} - \epsilon d \right] \delta(P) dD = 0 \quad (3.20)$$

basta, então, transferir-se a variação δ para fora da integral (3.20), assim:

$$\delta I_{(P)} = \iint_D \left[\nabla \left(\frac{\hbar^3}{12\mu} \nabla P \right) - \nabla \cdot \left(\hbar \bar{U} + \frac{\hbar^3}{12\mu} \ddot{B} \right) \right] \delta(P) dD + \iint_D \left(\frac{\partial \hbar}{\partial t} - \epsilon d \right) \delta(P) dD \quad (3.21)$$

Aplicando-se o teorema de Green-Gauss (Apêndice IV) tem-se que:

$$\delta I_{(P)} = \int_S \left(\frac{\hbar^3}{12\mu} \nabla P - \hbar \bar{U} - \frac{\hbar^3}{12\mu} \ddot{B} \right) \cdot \hat{n} \delta ds - \iint_D \left(\frac{\hbar^3}{12\mu} \nabla P - \hbar \bar{U} - \frac{\hbar^3}{12\mu} \ddot{B} \right) \cdot \nabla (\delta P) \cdot dD + \iint_D \left(\frac{\partial \hbar}{\partial t} - \epsilon d \right) \delta(P) dD \quad (3.22)$$

Fazendo
$$\left(\frac{h^3}{12\mu} \cdot \nabla P - h\bar{U} - \frac{h^3}{12\mu} \ddot{B} \right) \cdot \hat{n} = -Q$$

tem-se que:

$$\delta I(P) = \int_s -Q \delta P ds - \iint_D \frac{h^3}{12\mu} \cdot \nabla P \cdot \delta(\nabla P) dD - \iint_D \left(-h\bar{U} - \frac{h^3}{12\mu} \ddot{B} \right) \delta(\nabla P) \cdot dD + \iint_D \left(-\frac{\partial h}{\partial t} + b-d \right) \delta(P) dD \quad (3.23)$$

ou

$$\delta I(P) = \delta \left[- \int_s Q P ds - \iint_D \left[\left(\frac{h^3}{12\mu} \nabla P - h\bar{U} - \frac{h^3}{12\mu} \ddot{B} \right) \cdot \nabla P - \left(\frac{\partial h}{\partial t} + b-d \right) P \right] dD \right] \quad (3.24)$$

finalmente

$$I(P) = \iint_D \left[\left(\frac{h^3}{12\mu} \cdot \nabla P - h\bar{U} - \frac{h^3}{12\mu} \ddot{B} \right) \cdot \nabla P + \left(\frac{\partial h}{\partial t} + b-d \right) P \right] dD + \int_s Q P ds \quad (3.25)$$

onde $I(P)$ é o funcional variacional que, setornado extremo, gera a equação diferencial (3.18).

A distribuição de pressão que extremiza o funcional (3.25), deve satisfazer as condições de contorno (2.25).

Dividindo-se o domínio solução em n_e sub-domínios poligonais (elementos), com r nós cada elemento.

O perfil de pressões no interior de um elemento é dado, aproximadamente, em função do valor da pressão especificada nos nós e das funções de interpolação locais, equação (3.26).

$$P(x, y) = \sum_{i=1}^r N_i P_i = [N_i] \cdot \{P_i\} \quad (3.26)$$

Para completar a discretização, as várias "ações" no interior do elemento devem ser, analogamente, representadas (3.27).

$$\begin{aligned} U_x &= \sum_{i=1}^r N_i \bar{U}_x(i) = [N_i] \cdot \{\bar{U}_x(i)\} \\ U_y &= \sum_{i=1}^r N_i \bar{U}_y(i) = [N_i] \cdot \{\bar{U}_y(i)\} \\ B_x &= \sum_{i=1}^r N_i \bar{B}_x(i) = [N_i] \cdot \{\bar{B}_x(i)\} \\ B_y &= \sum_{i=1}^r N_i \bar{B}_y(i) = [N_i] \cdot \{\bar{B}_y(i)\} \\ \bar{h} &= \sum_{i=1}^r N_i \bar{h}(i) = [N_i] \cdot \{\bar{h}(i)\} \\ \bar{b}_d &= \sum_{i=1}^r N_i \bar{b}_d(i) = [N_i] \cdot \{\bar{b}_d(i)\} \end{aligned} \quad (3.27)$$

Substituindo-se as equações (3.26) e (3.27) em (3.25) obtém-se, através de uma manipulação adequada, que:

$$I(P)^{(e)} = 1/2 [P \cdot [K_p] \cdot P + P \cdot [q] - P \cdot [K_{Ux}] \cdot [U_x] - P \cdot [K_{Uy}] \cdot [U_y] - P \cdot [K_{Bx}] \cdot [B_x] - P \cdot [K_{By}] \cdot [B_y] - P \cdot [K_h] \cdot [h] - P \cdot [K_{b-d}] \cdot [b-d]] \quad (3.28)$$

onde as matrizes de fluidez K_{ij} tomam a seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 K_{Pij} &= \iint_D \frac{h^3}{12\mu} \left(\frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial x} + \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial N_j}{\partial y} \right) \cdot dD \\
 K_{U_{xij}} &= \iint_D h \cdot \frac{\partial N_i}{\partial x} \cdot N_j \, dD \\
 K_{U_{yij}} &= \iint_D h \cdot \frac{\partial N_i}{\partial y} \cdot N_j \, dD \\
 K_{B_{xij}} &= \iint_D \frac{h^3}{12\mu} \cdot \frac{\partial N_i}{\partial x} \cdot N_j \, dD \\
 K_{B_{yij}} &= \iint_D \frac{h^3}{12\mu} \cdot \frac{\partial N_i}{\partial y} \cdot N_j \, dD \\
 K_{hij} &= - \iint_{D^{(e)}} N_i \cdot N_j \, dD \\
 K_{b-d} &= K_{hij} \\
 q_i &= \int_{S_q} Q \cdot N_i \, ds
 \end{aligned} \quad (3.29)$$

onde $\{q\}$ é uma matriz de contorno. Ela é não nula somente para elementos com porção de seus contornos coincidindo com o contorno do domínio, ou para elementos onde haja alimentação ou saída de óleo lubrificante.

Para minimizar a integral $I(P)$ da equação (3.25), basta minimizar as ne integrais $I(P)^{(e)}$ da relação (3.28) e para isto, como foi visto, é necessário que:

$$\delta I(P)^{(e)} = 0 \quad e=1, ne \quad (3.30)$$

ou seja

$$\frac{\partial I(P)^{(e)}}{\partial P_i} = 0 \quad i = 1, r \quad (3.31)$$

então, tem-se de (3.28) e (3.31) que:

$$\begin{aligned} [K_p] \cdot \{P\} = & \{q\} - [K_{Ux}] \cdot \{U_x\} - [K_{Uy}] \cdot \{U_y\} - [K_{Bx}] \cdot \{B_x\} - [K_{By}] \cdot \{B_y\} \\ & - [K_h] \cdot \{h\} - [K_d] \cdot \{d\} \end{aligned} \quad (3.32)$$

As equações (3.29) e (3.32), junto com as condições de contorno, dão uma completa definição, em elementos finitos, do problema da lubrificação incompressível sob o aspecto isotérmico.

3.2.2 ASPECTO TERMODINÂMICO

Como foi visto na lubrificação incompressível aspecto termodinâmico, as equações diferenciais governantes do fenômeno são as equações de Reynolds (2.13) e da Energia (2.15).

A transformação da equação de Reynolds (2.17) é análoga à feita no item anterior (método de Rayleigh-Ritz). Porém a equação da energia não possui princípio variacional correspondente e para sua transformação em equação de elementos finitos o método de Galerkin é empregado.

3.2.2.1 EQUAÇÃO DE REYNOLDS

Como o procedimento é análogo ao do item anterior, as equações serão somente apresentadas.

A equação de Reynolds (2.17) pode ser obtida através do funcional

$$I(P)^{(e)} = \iint_D \left[-\frac{1}{2} G \cdot \nabla P \cdot \nabla P + (hV_i) \cdot \nabla P + \left(\frac{\Delta U_x}{F_0} \int_0^{hz} \frac{dz}{\mu} \right) \nabla P + \bar{B} \cdot \nabla P + P\bar{h} + P\bar{b}d \right] dD + \int_S P \cdot q_* \cdot \hat{n} ds \quad (3.33)$$

discretizando a pressão e as ações nodais, têm-se que:

$$P = \sum_{i=1}^r N_i P_i \quad (3.34)$$

$$U_i = \sum_{i=1}^r N_i U_{i1} = [N_i] \cdot \{U_{i1}\}$$

$$V_i = \sum_{i=1}^r N_i V_{i1} = [N_i] \cdot \{V_{i1}\}$$

$$\Delta U_x = \sum_{i=1}^r N_i U_{xi} = [N_i] \cdot \{U_{xi}\}$$

$$\Delta U_y = \sum_{i=1}^r N_i U_{yi} = [N_i] \cdot \{U_{yi}\}$$

$$\bar{B}_x = \sum_{i=1}^r N_i B_{xi} = [N_i] \cdot \{B_{xi}\}$$

$$\bar{B}_y = \sum_{i=1}^r N_i B_{yi} = [N_i] \cdot \{B_{yi}\} \quad (3.35)$$

$$\begin{aligned} \bar{h} &= \sum_{i=1}^r N_i \bar{h}_i = [N_i] \cdot \{\bar{h}_i\} \\ \bar{b}d &= \sum_{i=1}^r N_i \bar{b}d = [N_i] \cdot \{\bar{b}d\} \end{aligned}$$

Substituindo-se (3.34) e (3.35) em (3.33) tem-se, para cada elemento, que:

$$\begin{aligned} I(P) = \frac{1}{2} [P] \cdot [K_P] \cdot [P] + [P] \cdot [K_U] \cdot [U] + [P] \cdot [K_V] \cdot [V] + [P] \cdot [K_{\Delta U_x}] \cdot [\Delta U_x] + [P] \cdot [K_{\Delta U_y}] \cdot [\Delta U_y] \\ + [P] \cdot [K_{\bar{B}_x}] \cdot [\bar{B}_x] + [P] \cdot [K_{\bar{B}_y}] \cdot [\bar{B}_y] + [P] \cdot [K_{\bar{h}}] \cdot \{\bar{h}\} + [P] \cdot [K_{\bar{b}d}] \cdot \{\bar{b}d\} - [P] \cdot [q] \end{aligned} \quad (3.36)$$

Onde as matrizes de fluidez K_{ij} tomam a seguinte forma:

$$\begin{aligned} K_{Pij} &= - \iint_{D^{(e)}} G \left[\frac{\partial N_i}{\partial x} \cdot \frac{\partial N_j}{\partial x} + \frac{\partial N_i}{\partial y} \cdot \frac{\partial N_j}{\partial y} \right] dD^{(e)} \\ K_{Uij} &= \iint_{D^{(e)}} h \frac{\partial N_i}{\partial x} \cdot N_j dD^{(e)} \\ K_{Vij} &= \iint_{D^{(e)}} h \frac{\partial N_i}{\partial y} \cdot N_j dD^{(e)} \\ K_{\Delta U_x ij} &= \iint_{D^{(e)}} F_2 \frac{\partial N_i}{\partial x} \cdot N_j dD^{(e)} \\ K_{\Delta U_y ij} &= \iint_{D^{(e)}} F_2 \frac{\partial N_i}{\partial y} \cdot N_j dD^{(e)} \\ K_{B_x ij} &= \iint_{D^{(e)}} \frac{h^3}{12} \frac{\partial N_i}{\partial x} \cdot N_j dD^{(e)} \end{aligned} \quad (3.37)$$

$$K_{Byij} = \iint_{D^{(e)}} \frac{\partial N_i}{\partial y} \cdot N_j dD^{(e)}$$

$$K_{rij} = \iint_{D^{(e)}} N_i \cdot N_j dD^{(e)}$$

$$K_{b-d} = K_{rij}$$

$$q_i = \int_{S_q^{(e)}} q_w \cdot \hat{n} N_i ds$$

Procedendo-se como no item anterior, pode-se chegar a forma das equações dos elementos finitos (3.38).

$$\begin{aligned} [K_p] \{P\} = [q] - [K_{U_i}] \{U_i\} - [K_{V_i}] \{V_i\} - [K_{\Delta U_x}] \{\Delta U_x\} - [K_{\Delta U_y}] \{\Delta U_y\} - [K_{\bar{B}_x}] \{\bar{B}_x\} \\ - [K_{\bar{B}_y}] \{\bar{B}_y\} - [K_h] \{\hat{h}\} - [K_{b-d}] \{b-d\} \end{aligned} \quad (3.38)$$

Que é a equação de elementos finitos, correspondente à equação de Reynolds da lubrificação incompressível termodinâmica.

3.2.2.2 EQUAÇÃO DA ENERGIA

A equação da energia (2.19) pode ser escrita na forma de um operador diferencial, tal como:

$$\mathcal{L}(T) = \rho \cdot c \cdot \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) - K \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) - \phi = 0 \quad (3.39)$$

Para se aplicar o método de Galerkin, deve-se supor

que a distribuição de temperatura, no interior de um elemento tridimensional, pode ser aproximada por uma combinação linear dos valores das temperaturas nos nós, através das funções de interpolação, assim:

$$T^{(e)} = \sum_{i=1}^r N_i \cdot T_i = [N_i] \{T_i\} \quad (3.40)$$

onde r é o número de nós do elemento.

Para o domínio completo, a solução aproximada pode ser escrita como uma somatória das distribuições aproximadas em cada elemento, assim:

$$\bar{T} = \sum_{e=1}^{ne} T^{(e)} \quad (3.41)$$

onde ne é o número total de elementos,

ou

$$\bar{T} = \sum_{i=1}^{nn} N_i \cdot T_i = [N_i] \{T_i\} \quad (3.42)$$

onde nn é o número total de nós no domínio tridimensional.

Como esta não é uma solução exata, quando a equação (3.42) é substituída em (3.39), um resíduo aparece, sendo assim:

$$\mathcal{L}(\bar{T}) = \rho \cdot c \left(u \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} + v \frac{\partial \bar{T}}{\partial y} + w \frac{\partial \bar{T}}{\partial z} \right) - K \left(\frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial z^2} \right) - \phi = 0 \quad (3.43)$$

onde R_* é o resíduo ou erro, devido ao fato de ser uma solução aproximada.

Como foi visto, o método de Galerkin exige que a projeção ortogonal deste resíduo R_* sobre o espaço gerado pelas funções de interpolação N_i se anule, deste modo:

$$R_* \cdot N_i = 0 \quad i = 1, nn \quad (3.44)$$

ou

$$\iiint_{D_3} R_* \cdot N_i \, dD_3 = 0 \quad i = 1, nn \quad (3.45)$$

Substituindo-se a equação (3.42) na equação (3.43) e em seguida, substituindo (3.45), tem-se que:

$$\iiint_{D_3} \rho \cdot c \left(u \frac{\partial N_j}{\partial x} + v \frac{\partial N_j}{\partial y} + w \frac{\partial N_j}{\partial z} \right) \cdot T_j - K \left(\frac{\partial^2 N_j}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N_j}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 N_j}{\partial z^2} \right) T_j - \phi \cdot N_i \, dD_3 = 0 \quad (3.46)$$

Aplicando-se o teorema de Green-Gauss tem-se que:

$$\iiint_{D_3} \rho.c \left(u \frac{\partial N_j}{\partial x} + v \frac{\partial N_j}{\partial y} + w \frac{\partial N_j}{\partial z} \right) N_i T_j + K \left(\frac{\partial N_i}{\partial x} \cdot \frac{\partial N_j}{\partial x} + \frac{\partial N_i}{\partial y} \cdot \frac{\partial N_j}{\partial y} \right. \quad (3.47)$$

$$\left. + \frac{\partial N_i}{\partial z} \cdot \frac{\partial N_j}{\partial z} \right) T_j dD_3 - \iint_{S_2} K N_i \left(\frac{\partial N_j}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial N_j}{\partial y} \hat{j} + \frac{\partial N_j}{\partial z} \hat{k} \right) \cdot \hat{n} dS_2 - \iiint_{D_3} \phi N_i dD_3 = 0$$

ou passando para a forma matricial:

$$[K_T] \{T\} = \{F_T\} \quad (3.48)$$

onde a matriz de Rigidez Térmica $[K_T]$ é dada por:

$$K_{Tij} = \iiint_{D_3} \rho.c.N_i \left(u \frac{\partial N_j}{\partial x} + v \frac{\partial N_j}{\partial y} + w \frac{\partial N_j}{\partial z} \right) + K \left(\frac{\partial N_i}{\partial x} \cdot \frac{\partial N_j}{\partial x} + \frac{\partial N_i}{\partial y} \cdot \frac{\partial N_j}{\partial y} \right. \quad (3.49)$$

$$\left. + \frac{\partial N_i}{\partial z} \cdot \frac{\partial N_j}{\partial z} \right) dD_3 - K \iint_{S_2} N_i \left(\frac{\partial N_j}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial N_j}{\partial y} \hat{j} + \frac{\partial N_j}{\partial z} \hat{k} \right) \cdot \hat{n} dS_2$$

e

$$F_{\Pi} = \iiint_{D_3} \phi N_i dD_3 \quad (3.50)$$

A integral de superfície da equação (3.49) só vai aparecer se o elemento for de contorno, caso contrário ela se anula.

Visto que a integral (3.49) contém somente derivadas de primeira ordem as funções de interpolação N_i necessitam preservar somente continuidade de valor e não de curvatura na interface dos elementos.

Assim, as equações (2.21 ou 2.22), (3.37), (3.38), (3.48), (3.49) e (3.50), com as respectivas condições de contorno, definem completamente o problema da lubrificação incompressível, tratada sob um aspecto termodinâmico através do método de elementos finitos.

Como foi visto no Capítulo II, as soluções para estas equações podem ser obtidas através de um processo iterativo, onde o problema da não linearidade da equação da Energia pode ser desviado, calculando-se o perfil de viscosidade (2.21) ou (2.22) em função do perfil de temperatura, obtido em um passo anterior do processo iterativo.

Deve-se atentar ao fato de que a equação da Energia é uma equação tridimensional, logo os elementos utilizados na discretização do filme são consequentemente tridimensionais, como é o caso do elemento prismático da Figura 3.7.

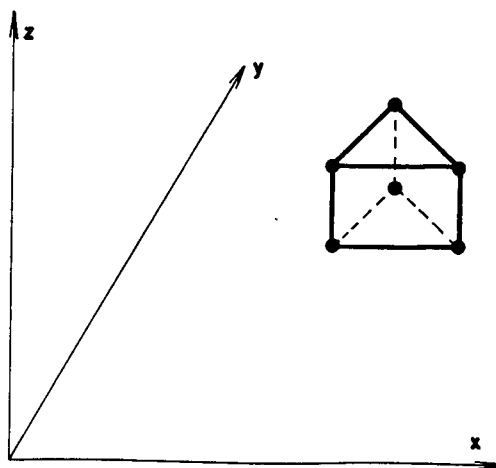
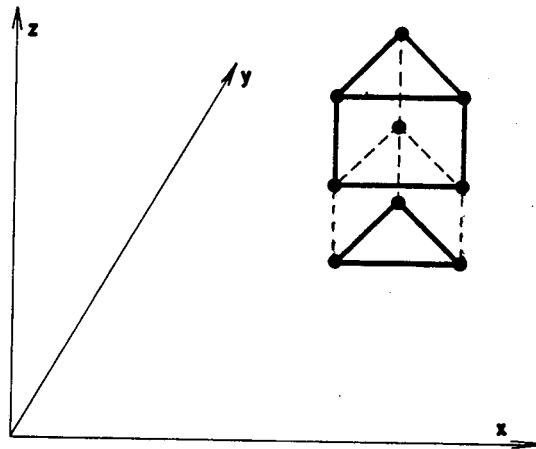


Fig. 3.7 - Elemento tridimensional prismático

Importante, também, é lembrar que para evitar interpolações desnecessárias deve-se fazer com que os lados dos elementos tridimensionais que estão no plano (x,y) coincidam com os elementos bidimensionais, referentes ao domínio de solução da equação de Reynolds (3.38), como pode-se ver esquematicamente na Figura 3.8.



**Fig. 3.8 - Lado do elemento prismático
coincidente com o elemento triângulo-linear**

No capítulo a seguir, é indicado o desenvolvimento de um programa computacional com base na equação de Reynolds (3.32), abordada anteriormente, visando, principalmente, mostrar a operacionalização do método de elementos finitos aos problemas da lubrificação.

C A P Í T U L O I V

"MANCAIS" - PROGRAMA PARA SIMULAÇÃO DE MANCAIS

Devido a certas características particulares do método de elementos finitos, tais como, a repetibilidade de procedimentos para o cálculo das matrizes de fluidez, a solução através de grandes sistemas algébricos, forma matricial e outras, as soluções dos problemas da lubrificação por este método são facilmente obtidas através de programas computacionais.

Neste capítulo é abordado a implementação do MEF. aos problemas de lubrificação através do programa computacional denominado "MANCAIS".

Este programa foi desenvolvido em linguagem FORTRAN, com o objetivo de simular o desempenho de mancais, hidrostáticos e hidrodinâmicos, operando em estado de regime.

O programa "MANCAIS" foi elaborado de forma bastante didática, sem uma preocupação maior com sua eficiência computacional, mas sim com a de proporcionar um fácil entendimento de sua estrutura.

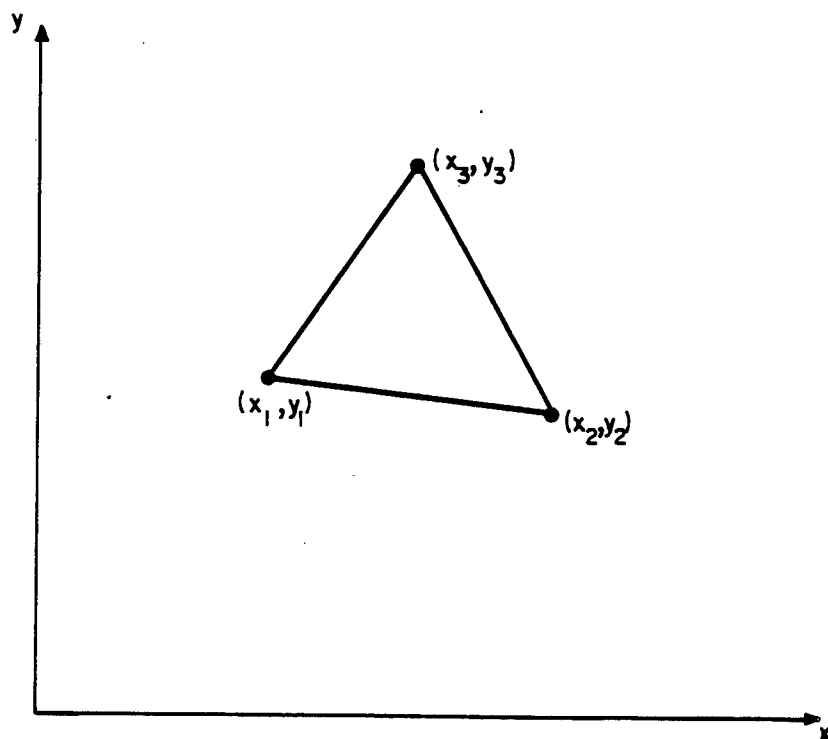
Este programa considera somente o caso de lubrificação através de fluidos considerados incompressíveis, tratada sob um aspecto isotérmico.

4.1 DESCRIÇÃO

O programa "MANCAIS" foi desenvolvido a partir da equação de Reynolds na forma da equação (3.32) e das condições de contorno (2.25), gerando como resultados o perfil de pressão no interior do filme lubrificante, os fluxos nos contornos, a capacidade

de carga do mancal e, para o caso de mancais hidrodinâmicos planos, o centro de pressão. Para o caso de mancais radiais o programa fornece, além da carga, o ângulo de atuação da mesma.

O elemento escolhido na construção do programa foi o elemento triângulo-linear, visto esquematicamente na Figura 4.1.



**Fig. 4.1 - Elemento triângulo-linear utilizado
no programa "MANCAIS"**

Este elemento foi escolhido devido a sua versatilidade, bem como, devido à facilidade de integração de suas funções de interpolação, como pode ser visto no Apêndice VI, embora seja mais trabalhoso na modelagem e interpolação dos resultados.

A estrutura do programa pode ser melhor entendida através de um acompanhamento de sua listagem, Apêndice VIII, bem como, do diagrama de blocos mostrado na Figura 4.2 e descrito a seguir.

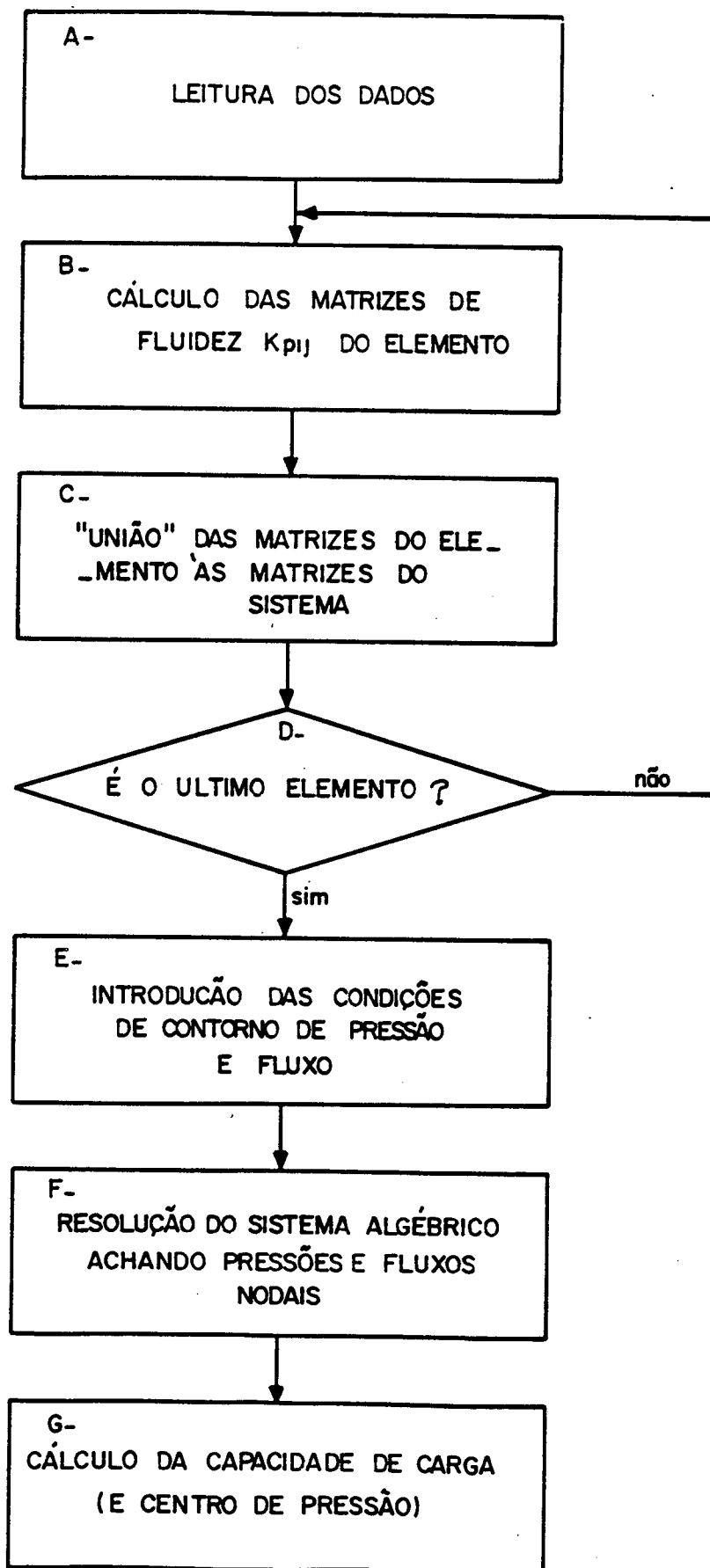


Fig. 4.2 - DIAGRAMA DE BLOCOS DO PROGRAMA "MANCAIS".

A. LEITURA DOS DADOS

O primeiro passo realizado pelo programa é a leitura dos dados, os quais devem ser fornecidos como a seguir:

1. TIPO DE PROBLEMA

O primeiro registro lido pelo programa refere-se ao tipo de problema a ser analisado.

No manual do usuário, Apêndice IX, são detalhadas todas as opções possíveis de analisar através do programa.

2. DEFINIÇÃO DA MALHA

Após a leitura do tipo de problema, são lidos os registros referentes à geometria do mancal e ao "refinamento" da malha escolhida.

Pode-se dizer que o grau de "refinamento" da malha é definido através do número de nós e elementos, das coordenadas nodais e topologia do sistema.

A geometria é introduzida por meio das coordenadas de todos os nós, bem como da definição da topologia do sistema.

Topologia do sistema vem a ser a relação existente entre a numeração local e global dos nós e está detalhadamente explicada no Apêndice V.

3. CONDIÇÕES DE CONTORNO

Para uma definição completa da malha, devem, ainda, ser fornecidos ao programa os nós situados no contorno, onde pressões são especificadas, e os nós onde os fluxos globais são especificados, bem como, os respectivos valores de pressões e fluxos nodais.

Deve-se lembrar neste ponto, que em todos os nós do sistema são conhecidas pressões ou fluxos globais,

mas em nenhum nó são conhecidos, previamente, pressões e fluxos simultaneamente.

4. CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO

Como o programa foi desenvolvido para simular o desempenho de mancais operando sob determinadas condições, estas condições devem ser fornecidas ao programa.

Entendem-se como condições de operação as velocidades relativas das superfícies, existência ou não de esmagamento de filme (squeezing), velocidades de difusão (mancais com superfícies porosas) e forças de corpo, caso sejam consideradas.

Deve-se fornecer, ainda, a distribuição de altura de película do fluido lubrificante dentro do domínio discretizado.

5. VISCOSIDADE

Como o programa "MANCAIS" aborda a lubrificação sob um aspecto isotérmico, deve-se fornecer o valor da viscosidade do fluido considerado, valor este obtido de experiências prévias ou, então, a "viscosidade equivalente", ou seja, a viscosidade na "temperatura equivalente de trabalho".

B. CÁLCULO DAS MATRIZES DE FLUIDEZ

Após a leitura de todos os registros de entrada, o programa inicia o cálculo das matrizes de fluidez dos elementos.

Este cálculo é realizado através das subrotinas MAFLUA e MAFLUB utilizando a subrotina CTAREA.

As subrotinas acima citadas foram construídas com base nas equações (3.29) e também nas funções de interpolação do elemento triângulo-linear e suas integrais características, apresentadas no Apêndice VI.

A subrotina **MAFLUA** é utilizada quando a altura do filme é considerada constante dentro de um elemento, como é o caso de mancais com sapatas em degrau. Já a subrotina **MAFLUB** considera a altura do filme fluido, dentro de um elemento, como sendo uma combinação linear dos valores das alturas nos nós multiplicada, pelas correspondentes funções de interpolações locais, ou seja:

$$h^{(e)} = \sum_{i=1}^{nn} h_i \cdot N_i \quad (4.1)$$

A subrotina **CTAREA** calcula as constantes das funções de interpolação locais e a área do elemento considerado.

C. UNIÃO DAS MATRIZES DOS ELEMENTOS ÀS MATRIZES GLOBAIS DO SISTEMA

Após o cálculo das matrizes de fluidez de cada elemento, o programa superpõe as matrizes locais à matriz de fluidez global do sistema.

Este processo de união já foi abordado e está detalhado no Apêndice III.

D. REPETIÇÃO DO PROCESSO PARA TODOS OS ELEMENTOS

O processo de cálculo das matrizes de fluidez dos elementos e superpõe às matrizes de fluidez do sistema é cíclico e só é encerrado quando o último elemento for considerado, resultando em um conjunto de equações algébricas, cujo número de incógnitas é igual ao número de nós do sistema.

E. INTRODUÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONTORNO

Antes das considerações referentes às condições de contorno, o sistema algébrico possui infinitas soluções, ou seja, a matriz de fluidez $[Kp]$ é singular.

Para que o sistema possua somente uma solução, é necessária a introdução das condições de contorno de pressão e fluxo.

O método empregado pelo programa é uma das proposições de Huebner [3] e está desenvolvido no Apêndice VII.

Vale a pena ressaltar aqui que, para o caso de mancais radiais, o estabelecimento das condições de contorno seguiu um dos procedimentos apresentados por Pinkus [5], descrito a seguir.

A Figura 4.3 mostra três formas de se estabelecer condições de contorno aos problemas de mancais radiais.

1. $p = 0$ no contorno físico da superfície, para mancais inteiros $\theta_T = \theta_1 + 2\pi$ e para mancais parciais $\theta_T = \theta_3$.

onde:

- θ_3 . ângulo do mancal parcial
- θ_T . ângulo que contem a região a ser discretizada
- θ_1 . ângulo da posição da entrada de lubrificante

2. Semelhante a 1 porém, a região de pressão negativa é desconsiderada e $p = 0$ é substituído nos pontos que geram pressões negativas.
3. $p = 0$ para $\theta = \theta_2$ e $\frac{\partial p}{\partial \theta} = 0$ em $\theta = \theta_2$, esta condição requer que a pressão e seu gradiente sejam nulos em $\theta = \theta_2$.

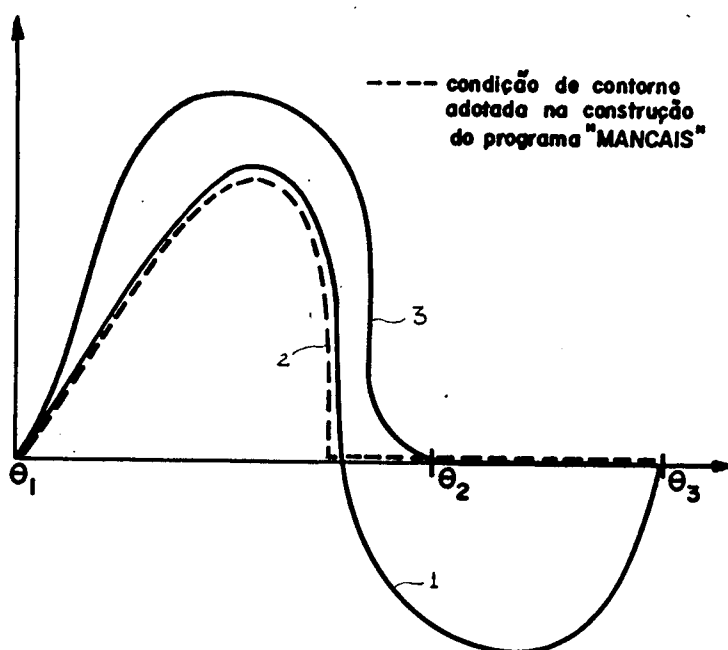


Fig. 4.3 - Condições de contorno em mancais radiais

Segundo o autor, a condição "3" é a que gera melhores resultados, entretanto, é necessário um processo iterativo, optou-se então, pela condição "2" que apesar de não ser tão precisa quanto "3", gera bons resultados.

F. RESOLUÇÃO DO SISTEMA ALGÉBRICO

Após a introdução das condições de contorno o sistema algébrico está pronto para ser resolvido.

A subrotina "RESOLVE" é responsável pela solução deste sistema. Utiliza para tal o método de Gauss e fornece como resultado as pressões em todos os nós da malha.

Se as condições de contorno não forem suficientes e a matriz $[Kp]$ não perder sua singularidade, é impressa uma mensagem de alerta e as pressões nodais são igualadas a zero, devendo-

se verificar os registros correspondentes às condições de contorno.

Após o cálculo das pressões nodais, o programa calcula os fluxos externos em cada nó. Os fluxos que entram na região discretizada são considerados negativos e os que saem positivos.

Os valores dos fluxos externos em cada nó do contorno, q_i , são interpretados como sendo o fluxo que entra (ou sai) através da região do contorno correspondente à soma das metades dos lados adjacentes ao nó em questão; como mostra a Figura 4.4.

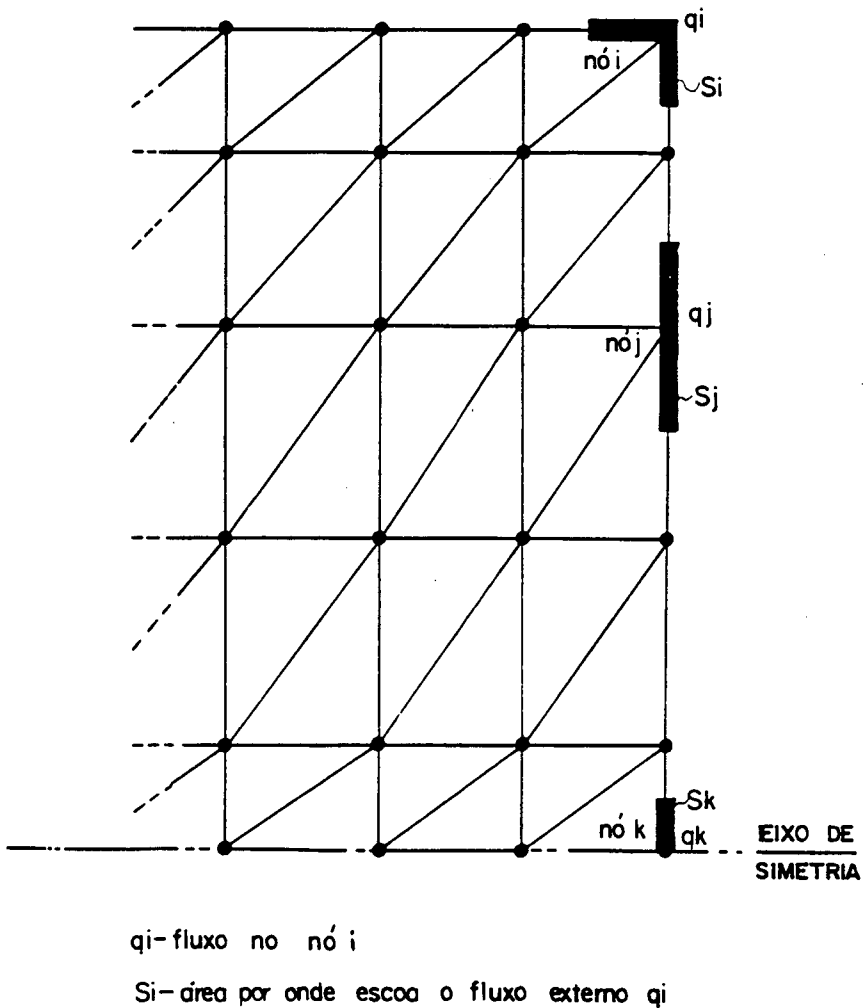


Fig. 4.4 - Interpretação do valor do fluxo externo nodal, q_i .

O fluxo volumétrico total através da região discretizada pode ser obtido através da soma dos fluxos dos nós do contorno de mesmo sinal, pois pelo princípio da conservação da massa, a soma de todos os fluxos positivos deve ser igual a soma de todos os fluxos negativos, o que pode ser comprovado nos exemplos desenvolvidos no capítulo a seguir.

G. CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA

A capacidade de carga é calculada através da integração do perfil de pressão sobre a área discretizada, equação 4.2.

$$W = \int_A P dx dy \quad (4.2)$$

ou

$$W = \sum_{e=1}^{ne} F(e)$$

onde: $F(e)$ é a capacidade de carga do elemento

Mas,

$$F(e) = \int_A [N] \cdot \{P\} dx dy \quad (4.3)$$

Particularizando para o elemento triângulo-linear chega-se a:

$$F(e) = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{3} \cdot A \quad (4.4)$$

Da equação (4.4), têm-se que a capacidade de carga de cada elemento é igual a pressão média multiplicada pela área do e

lemento, aplicada ao centro de pressão do mesmo.

As subrotinas **CARHI**, **CARGAS** e **CARRAD** são responsáveis pelo cálculo das capacidades de cargas dos vários tipos de mancais possíveis de analisar através do programa, bem como, pelo cálculo do centro de pressão, para o caso de mancais hidrodinâmicos planos.

A subrotina **CARGAS** calcula a capacidade de carga e posição do centro de pressão para o caso de mancais hidrodinâmicos planos com sapatas afuseladas, em degrau ou caso geral.

A subrotina **CARHI** calcula a capacidade de carga dos mancais hidrostáticos com controle de pressão e fluxo. Esta subrotina calcula, além da capacidade de carga da região discretizada, a capacidade de carga das bolsas de alimentação.

Já a subrotina **CARRAD** calcula a capacidade de carga e ângulo de atuação da mesma, para os mancais radiais. Para isto, são calculados, em cada elemento, a carga e centro de pressão. Este pode ser considerado, numa primeira aproximação, coincidente com o centróide do elemento. Com o valor do raio do eixo, das ordenadas do centróide e do valor da carga, em cada elemento, pode-se determinar através de 4.5 e 4.6 as componentes horizontal e vertical, W_v e W_h , da capacidade de carga.

$$W_v = \sum_{i=1}^{ne} F(e) \cdot \cos \left(\frac{X_C(e)}{R} \right) \quad (4.5)$$

$$W_h = \sum_{i=1}^{ne} F(e) \cdot \sen \left(\frac{X_C(e)}{R} \right) \quad (4.6)$$

onde:

ne . número total de elementos

$F(e)$. capacidade de carga do elemento

$Xc(e)$. ordenada do centróide

W_v . carga vertical

W_h . carga horizontal

A capacidade total de carga e ângulo de atuação da mesma podem ser determinadas através 4.7 e 4.8.

$$W = \sqrt{W_v^2 + W_h^2} \quad (4.7)$$

$$\alpha = \text{tang}^{-1} \left[\frac{W_h}{W_v} \right] \quad (4.8)$$

onde:

W . capacidade total de carga

α . ângulo de atuação da carga

As subrotinas **ESCRED** e **ESCREV** são responsáveis pela geração de relatórios contendo os dados de entrada e saída do programa.

O programa "**MANCAIS**" nesta primeira versão é bastante simples, facilitando seu entendimento. Entretanto, para torná-lo mais abrangente, são dadas a seguir algumas sugestões de modificações que podem ser implementadas ao programa, ampliando assim, seu potencial de aplicação.

4.2 SUGESTÕES

A. CÁLCULO DO FILME DE ÓLEO EM FUNÇÃO DA CARGA

O programa **MANCAIS** como apresentado neste trabalho necessita de um conhecimento prévio do perfil da película de lubrificante, ou seja, das alturas nodais (ou elementares) do filme fluido, para o cálculo de sua capacidade de carga.

Entretanto, em várias situações o problema é apresentado da maneira inversa, ou seja, conhecendo-se a carga atuante em um mancal deseja-se saber o perfil da película (altura mínima, etc.), para que se possa avaliar o comportamento de novos projetos.

A Figura 4.5 traz, na forma de fluxograma, como ficaria o programa após implementada tal sugestão.

A estrutura do programa não seria muito diferente da atual. A única alteração seria a introdução de um processo de convergência em relação a carga fornecida.

Assim, a partir de um perfil inicial de película e da carga que atua no mancal, seria possível obter-se o perfil real da película.

B. UTILIZAÇÃO DE UM ELEMENTO DE MAIOR GRAU

Apesar da utilização do elemento triângulo-linear facilitar o desenvolvimento do programa, resulta em uma manipulação excessiva de dados. Isto se deve à necessidade de um refinamento minucioso da malha nas regiões de grande gradiente de pressão.

Uma sugestão seria a utilização de elementos de maior grau, como os apresentados na Figura 4.6.

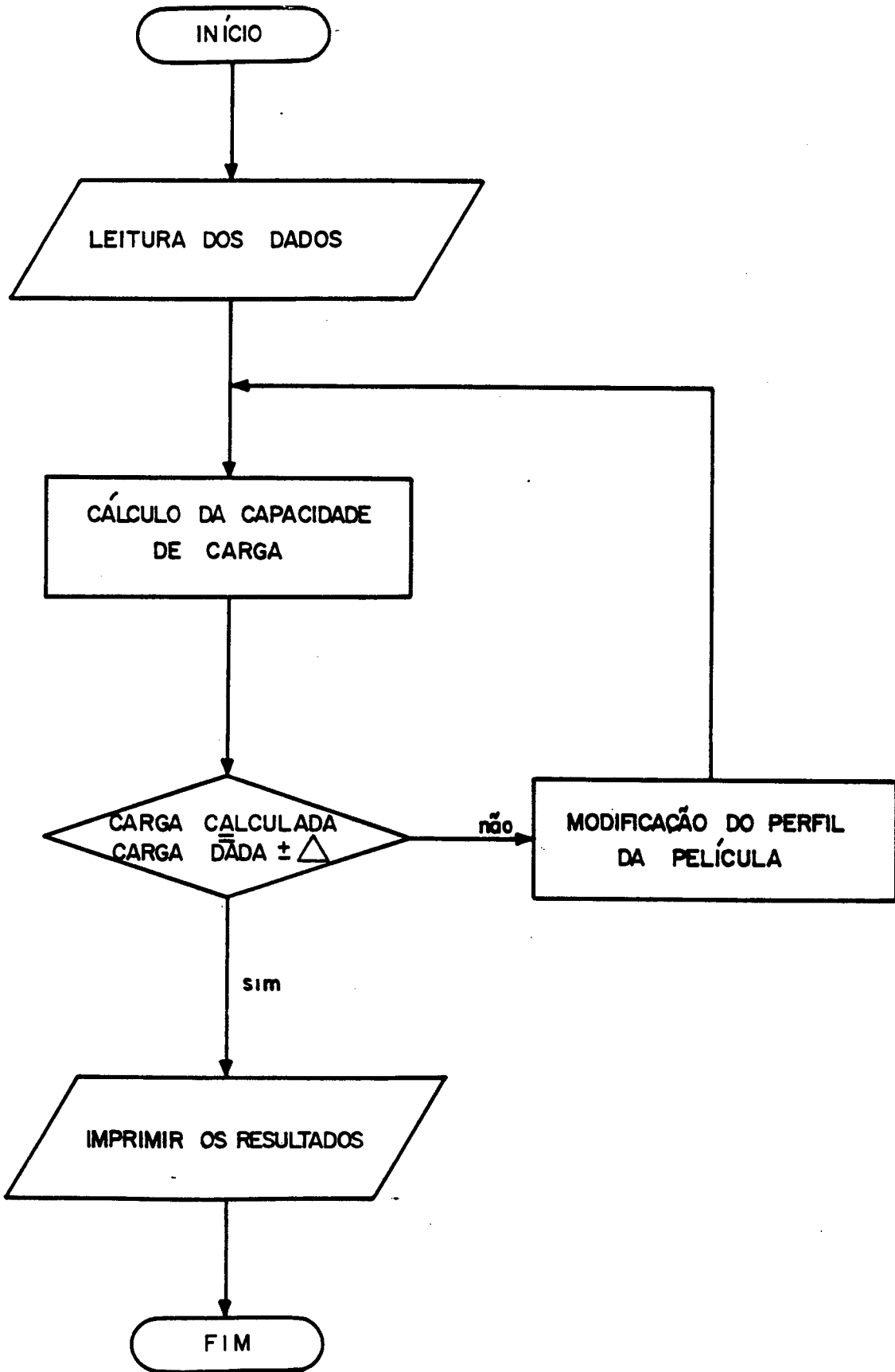


Fig. 4-5 — Fluxograma geral da modificação do programa "MANCAIS" sugerida em A.

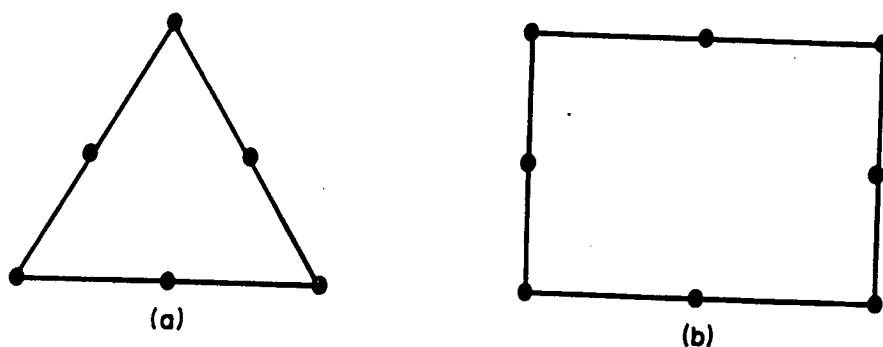


Fig. 4.6 - Elementos quadráticos

(a) triangular-quadrático com 6 nós

(b) quadrangular-quadrático (serendipity)

Com utilização deste tipo de elemento, o refino da malha não necessitaria ser tão pormenorizado e com poucos elementos já se poderia conseguir bons resultados.

C. CÁLCULO DO CENTRO DE PRESSÃO DOS ELEMENTOS

Para o cálculo do centro de pressão dos mancais planos, capacidade de carga e ângulo de aplicação nos mancais radiais, o programa **MANCAIS** considera que as coordenadas do centro de pressão de um elemento são coincidentes com os do seu centróide.

Para um cálculo exato das coordenadas do centro de pressão, utilizam-se as equações 4.9 e 4.10.

$$F^{(e)}.A.\bar{x} = \iint_A P.x \cdot dx \cdot dy \quad (4.9)$$

$$F^{(e)}.A.\bar{y} = \iint_A P.y \cdot dx \cdot dy \quad (4.10)$$

onde:

$F^{(e)}$. carga do elemento

A . área do elemento

\bar{x}, \bar{y} . coordenadas do centro de pressão

P . pressão

particularizando para o caso do elemento triângulo-linear, tem-se:

$$F^{(e)}.A.x = \iint_A x \cdot |x \ y| \cdot \begin{vmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{vmatrix}^{(e)} \cdot \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix}^{(e)} \cdot dx \ dy \quad (4.11)$$

onde:

P_i . pressões radiais

a_i, b_i, c_i . constantes das funções de interpolação

tomando-se a origem no centróide, Figura 4.7,

$$x_1 + x_2 + x_3 = y_1 + y_2 + y_3 = 0 \quad (4.12)$$

então as seguintes integrais são:

$$\iint_A x \cdot dx \cdot dy = 0$$

$$\iint_A x^2 \cdot dx \cdot dy = \frac{A}{12} (x_1^2 + x_2^2 + x_3^2)$$

$$\iint_A y^2 \cdot dx \cdot dy = \frac{A}{12} (y_1^2 + y_2^2 + y_3^2) \quad (4.13)$$

$$\iint_A x \cdot y \cdot dx \cdot dy = \frac{A}{12} (x_1 y_1 + x_2 y_2 + x_3 y_3)$$

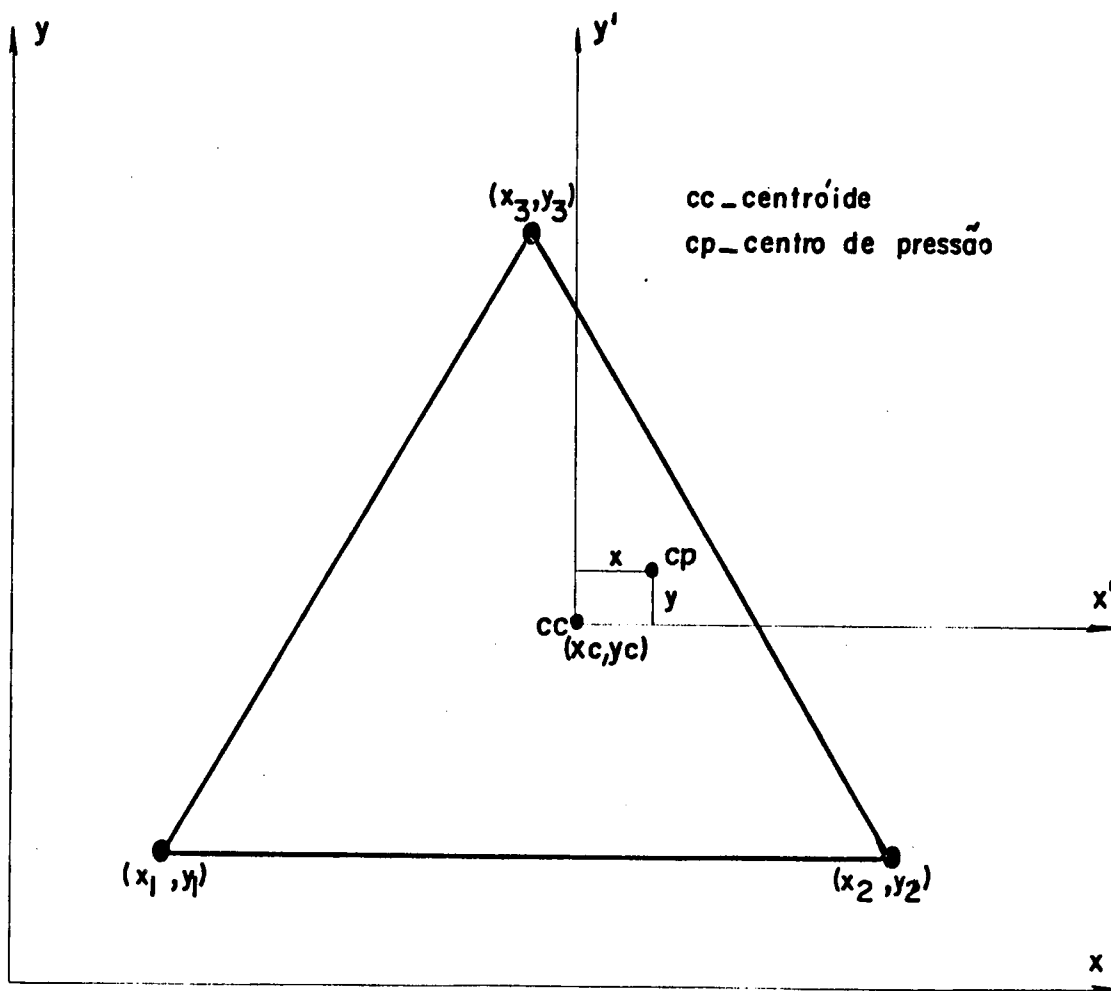


Fig. 4-7 — Centro de pressão do elemento triângulo-linear.

Através de 4.11 e 4.13, têm-se que as coordenadas do centro de pressão de um elemento, (\bar{x}, \bar{y}) , com relação a um sistema de referência cuja origem é o seu centróide, são dadas por 4.14 e 4.15.

$$\bar{x} = \frac{I}{24FA} \begin{vmatrix} x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 \\ x_1 y_1 + x_2 y_2 + x_3 y_3 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} T \\ C_1 \ C_2 \ C_3 \end{vmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

$$\bar{y} = \frac{I}{24FA} \begin{vmatrix} y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 \\ x_1 y_1 + x_2 y_2 + x_3 y_3 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} T \\ C_1 \ C_2 \ C_3 \end{vmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

Já as coordenadas do centro de pressão com relação ao sistema original de referência são dadas por:

$$x_{cp} = x_c + \bar{x} \quad (4.16)$$

$$y_{cp} = y_c + \bar{y} \quad (4.17)$$

onde: x_{cp}, y_{cp} . coordenadas do centro de pressão com relação ao sistema original de referência

x_c, y_c . coordenadas do centróide

\bar{x}, \bar{y} . coordenadas do centro de pressão considerando a origem no centróide

D. CÁLCULO DA FORÇA E COEFICIENTE DE ATRITO

A força de atrito, F_{at} , e do coeficiente de atrito, f , podem ser obtidos através das equações 4.18 e 4.19, respectivamente.

$$F_{at} = \int_0^h \mu \cdot \frac{\partial (u\hat{i} + v\hat{j})}{\partial z} \Big|_{z=0,h} dx dy \quad (4.18)$$

$$f = \frac{F_{at}}{W} \quad (4.19)$$

onde:

F_{at} . força de atrito

f . coeficiente de atrito

W . capacidade de carga

μ . viscosidade

u . velocidade na direção x

v . velocidade na direção y

A força de atrito, F_{at} , pode ser obtida através da soma das forças de atrito em cada elemento, $F_{at}(e)$, equação (4.20).

$$F_{at} = \sum_{e=1}^{n_e} F_{at}(e) \quad (4.20)$$

ou

$$Fat = \sum_{e=1}^{ne} (Fat_{(e)}^{(x)} \hat{i} + Fat_{(e)}^{(y)} \hat{j}) \quad (4.21)$$

Aplicando 4.18 em um elemento qualquer e , tem-se que:

$$Fat(e) = \int_{A(e)} \mu \cdot \frac{\partial}{\partial z} \cdot (u \hat{i} - v \hat{j}) \Big|_{z=0,h} dA(e) \quad (4.22)$$

Substituindo-se 2.10 e 2.11 em 4.22, chega-se a:

$$Fat(e) = (Fat(e)^{(x)} \hat{i} + Fat(e)^{(y)} \hat{j}) \quad (4.23)$$

onde:

$$Fat(e)^{(x)} = \frac{[P_i] \cdot [b_i] \cdot \bar{h}}{2} + \frac{\bar{U} \cdot \mu}{\bar{h}}$$

$$Fat(e)^{(y)} = \frac{[P_i] \cdot [c_i] \cdot \bar{h}}{2} + \frac{\bar{V} \cdot \mu}{\bar{h}}$$

$$\bar{V} = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3}$$

$$\bar{U} = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{3}$$

$$\bar{h} = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{3}$$

(4.24)

b_i, c_i coeficiente das funções de interpolação local.

Como pode-se notar, o cálculo do coeficiente e força de atrito são facilmente implementáveis ao programa através das equações (4.19), (4.21), (4.23) e (4.24).

E. CÁLCULO DA VISCOSIDADE EFETIVA DO LUBRIFICANTE

Para que o programa MANCAIS, nesta primeira versão, forneça resultados precisos é necessário que se conheça previamente o valor da viscosidade efetiva do lubrificante, o que na maioria dos casos não é fácil de se determinar.

O cálculo da viscosidade efetiva pode ser introduzido ao programa através da determinação da temperatura equivalente de trabalho.

A temperatura equivalente de trabalho é igual a temperatura de entrada somada com metade da variação da temperatura no interior do filme, calculada em função do trabalho realizado sobre o filme fluido.

F. CÁLCULO DA POTÊNCIA DE BOMBEAMENTO

No caso de mancais hidrostáticos uma das grandezas importantes para o projetista é a potência de bombeamento do óleo lubrificante, pois limita-se a potência mínima necessária da bomba de alimentação.

Através de uma implementação ao programa pode-se determinar a parcela da potência de bombeamento consumida no filme, que somada às demais parcelas (capilar, etc.) resulta na potência total de bombeamento.

Após a apresentação do programa em sua primeira versão e de sugestões para sua complementação, é apresentado no capítulo a seguir, um estudo sobre a convergência dos resultados obtidos, bem como, alguns exemplos de aplicação do programa a problemas possíveis de serem analisados através do mesmo.

C A P Í T U L O V

APLICAÇÕES

Para que seja possível uma melhor avaliação dos resultados obtidos em simulações de problemas de lubrificação com o auxílio do programa "MANCAIS", serão vistos neste capítulo estudos sobre a convergência dos resultados obtidos pelo programa, bem como, uma série de exemplos da aplicação do programa para alguns tipos de problemas possíveis de se analisar através do mesmo.

5.1 CONVERGÊNCIA DOS RESULTADOS

Para se avaliar a convergência dos resultados obtidos pelo programa "MANCAIS", foram analisados problemas com soluções analíticas conhecidas.

Para o caso de mancais hidrodinâmicos, foi utilizada a hipótese conhecida como "Hipótese do Mancais Semi-infinito", ou seja, considerou-se somente os fluxos de lubrificantes na direção principal de movimento, portanto, não levando em consideração os fluxos laterais.

Neste estudo, foram considerados 3 tipos diferentes de problemas: mancais hidrodinâmicos com sapatas afuseladas, mancais hidrodinâmicos com sapatas em degraus e mancais hidrostáticos com controle de pressão.

Estes três casos foram escolhidos por possuírem características distintas no que diz respeito à convergência dos resultados em função do refinamento das malhas, bem como, por utilizarem as duas subrotinas empregadas, no cálculo das matrizes de fluidez

(MAFLUA e MAFLUB), pelo programa.

A. MANCAIS HIDRODINÂMICOS COM SAPATAS AFUSELADAS

A Figura 5.1 mostra a sapata afuselada de um mancal hidrodinâmico com comprimento total $BT = 4$ e largura $L = 1$. Esta sapata se desloca na direção x com uma velocidade $U = 1$, sendo a altura mínima do filme $H_0 = 1$ e a máxima $H_1 = 2$. A viscosidade do fluido lubrificante, μ , é igual a 1 e nenhum sistema de unidades específico foi adotado; a única observação é que as unidades são consistentes.

Para estes dados, foram obtidos o perfil de pressão no interior do filme, bem como, a capacidade de carga da sapata quando operando nestas condições.

Os resultados analíticos para este problema foram obtidos por Fuller [25], sendo os resultados numéricos gerados através do programa "MANCAIS", utilizando as quatro malhas mostradas na Figura 5.2.

Partiu-se de uma malha grosseira com apenas 4 elementos até uma malha mais refinada com 26 elementos.

As condições de contorno empregadas são compatíveis com a "Hipótese do Mancal Semi-infinito", ou seja, os fluxos nos nós laterais foram igualados a zero e as pressões nos nós extremos longitudinais foram, também, igualadas a zero.

Os resultados obtidos estão mostrados na Tabela 5.1, onde se percebe que o valor da capacidade de carga obtido pelo programa tende ao valor exato obtido analiticamente por Fuller [25].

5.1	COMPARATIVO ENTRE RESULTADOS OBTIDOS POR FULLER (25) E DO PROGRAMA PARA O PROBLEMA A				
	SOLUÇÃO ANALÍTICA FULLER [25]	PROGRAMA MANCAIS MALHA1	PROGRAMA MANCAIS MALHA2	PROGRAMA MANCAIS MALHA3	PROGRAMA MANCAIS MALHA4
CAPACIDADE DE CARGA	2,54	1,60	2,27	2,47	2,52
ERRO (%)	—	37	10	3	0,8

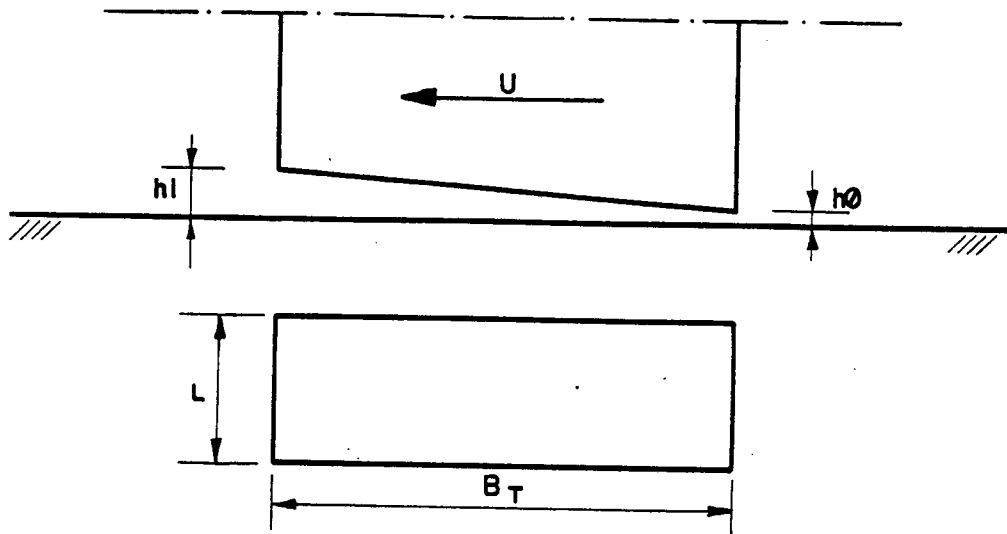
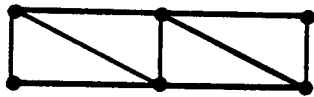
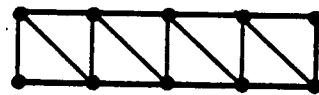


Fig. 5-1 — Sapata de um mancal hidrodinâmico de sapatas afuseladas.



A—Malha 1 (4 elementos)



B—Malha 2 (8 elementos)



C—Malha 3 (16 elementos)



D—Malha 4 (26 elementos)

Fig. 5-2 — Malhas utilizadas na simulação do problema da fig. 5-1.

A convergência pode ser melhor visualizada através de uma análise da Figura 5.3, onde nota-se que, a partir de um certo número de elementos, o ganho de precisão obtido pelo refinamento da malha tende a valores muito pequenos, não justificando o esforço gasto na preparação dos dados nem o tempo de computador dispendido na execução do programa.

Nota-se também que, para este caso em particular, a capacidade de carga tende ao valor exato por valores inferiores, ou seja, a capacidade de carga obtida pelo programa sempre é menor do que a obtida analiticamente.

Na Figura 5.4 tem-se o perfil de pressão obtido pelo programa utilizando a malha 4 da Figura 5.2. O resultado analítico não foi plotado pois é praticamente coincidente com o obtido pelo programa.

B. MANCAIS HIDRODINÂMICOS COM SAPATAS EM DEGRAUS

A Figura 5.5 mostra uma sapata em degrau de um mancal hidrodinâmico com comprimento total $BT = 4$, comprimento da região de entrada $B1 = 2,4$ e largura $L = 1$. Esta sapata se desloca na direção x com uma velocidade $U = 1$, sendo, ainda, a altura mínima do filme fluido $HO = 1$ (região de saída), a altura máxima $H1 = 2$ (região de entrada) e a viscosidade do lubrificante, μ , unitária.

A hipótese anterior, "Mancal Semi-infinito", também é válida para este caso, bem como as condições de contorno.

Pode-se perceber, através de uma análise detalhada do programa, Apêndice VIII, que as matrizes de fluidez para este caso não são calculadas pela mesma subrotina empregada para o cálculo das matrizes do problema anterior, já que para este caso a entrada das alturas é feita elemento a elemento e não nó a nó.

Igualmente, os resultados obtidos pelo programa são comparados com os resultados analíticos obtidos por Fuller [25].

Para este caso, em particular, com uma malha contendo somente quatro elementos já se consegue chegar a resultados bastante precisos, não necessitando um melhor refinamento, isto se deve à linearidade na forma do perfil de pressão ao longo das regiões

Fig. 5.3 Grafico de convergencia
(sapata afuselada)

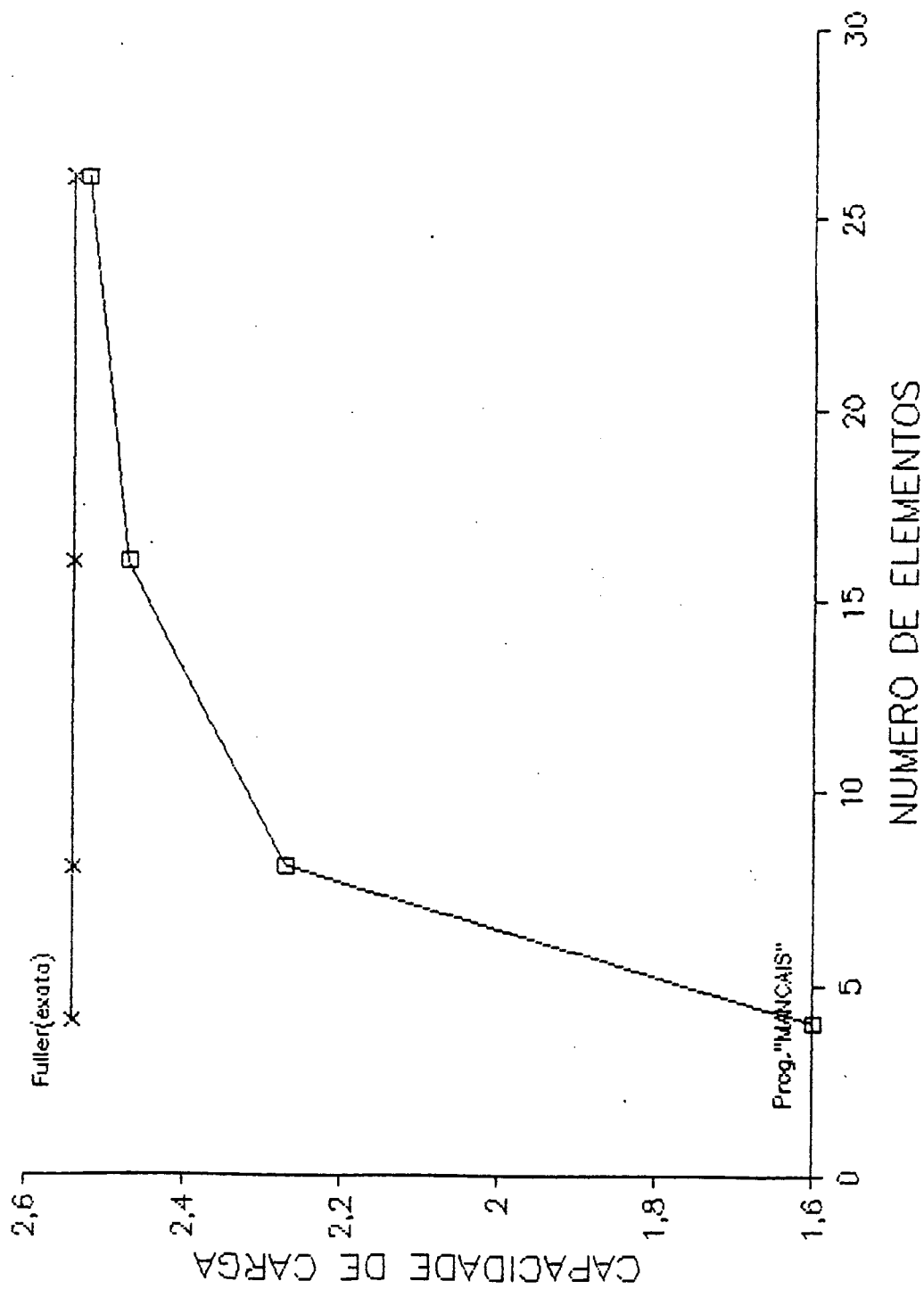
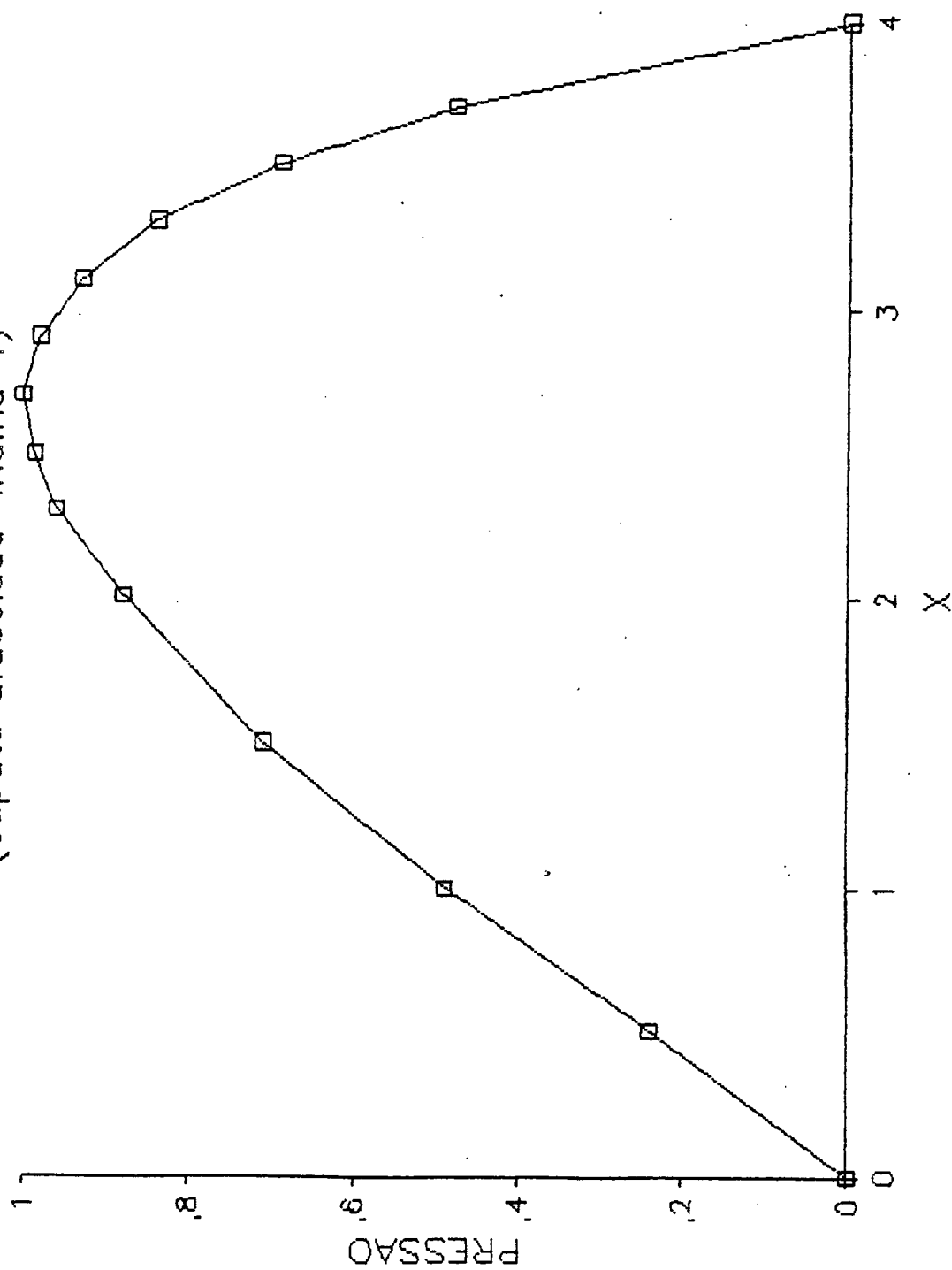


Fig.5.4 Perfil de pressao - prog. "MANCAIS"

(sapata afuselada - malha 4)



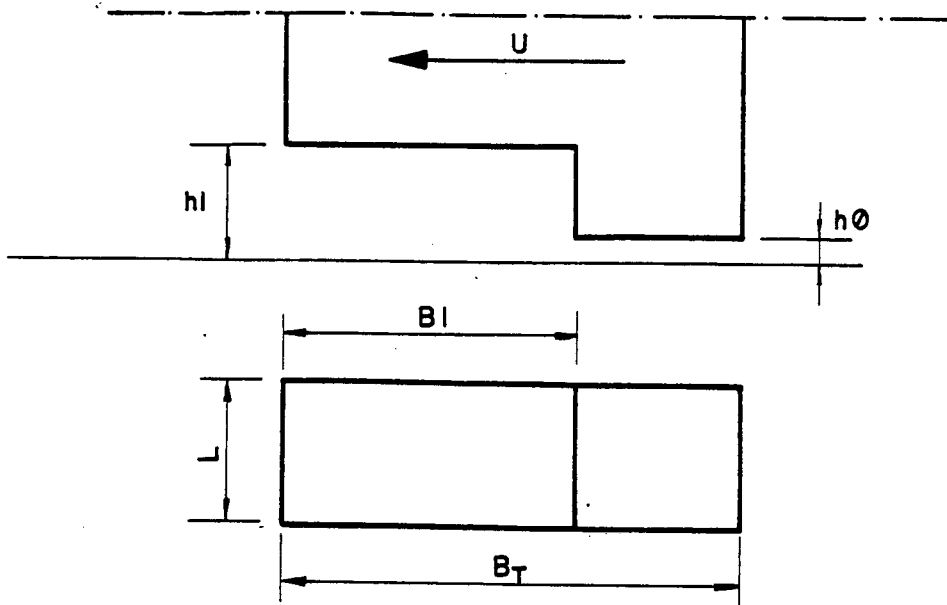
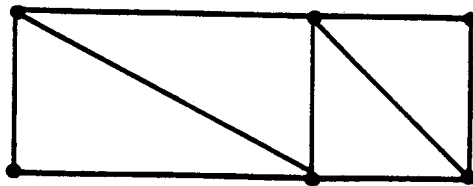
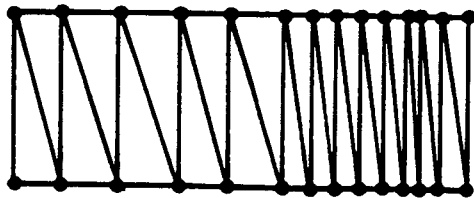


Fig. 5-5— Sapata de um mancal hidrodinâmico de sapatas em degrau.



A— Malha 1 (4 elementos)



B— Malha 2 (26 elementos)

Fig. 5-6— Malhas utilizadas na simulação do problema da fig. 5-5.

de entrada e saída de lubrificante.

Para comprovar este fato usou-se as duas malhas apresentadas na Figura 5.6, a primeira com 4 elementos e a segunda com 26.

A Tabela 5.2 mostra que os resultados da capacidade de carga obtidos para ambas as malhas são praticamente iguais entre si e ao valor obtido analiticamente por Fuller [25].

5.2	COMPARATIVO ENTRE RESULTADOS OBTIDOS POR FULLER (25) E DO PROGRAMA PARA O PROBLEMA B		
	SOLUÇÃO ANALÍTICA FULLER 25	PROGRAMA MANCAIS MALHA 2	PROGRAMA MANCAIS MALHA 3
CAPACIDADE DE CARGA	3,0315	3,0315	3,0316
ERRO (%)	—	—	0,003

Para uma melhor visualização, a Figura 5.7 mostra o perfil de pressão obtido pelo programa utilizando as malhas 1 e 2 da Figura 5.6. O resultado analítico não foi plotado pois, também neste caso, praticamente coincide com o obtido pelo programa.

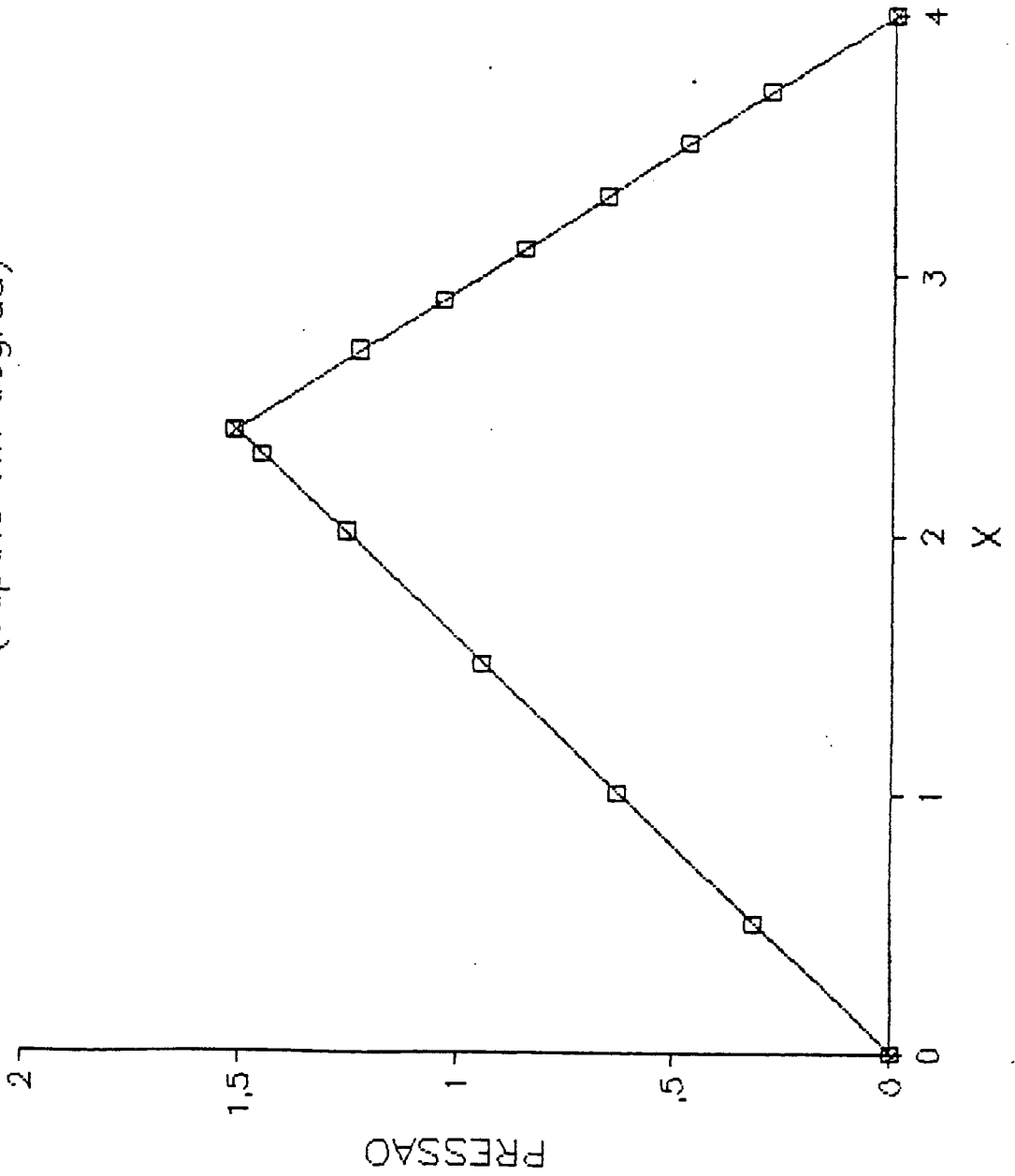
C. MANCAIS HIDROSTÁTICOS COM CONTROLE DE PRESSÃO

A Figura 5.8 mostra um mancal hidrostático circular plano com raio externo $R_e = 11$ e raio da bolsa de alimentação $R_i = 1$. A lubrificação é feita com um fluido de viscosidade unitária, pressão de alimentação $P_a = 1$ e a altura (h) da película é considerada constante e igual 1.

Como há uma simetria radial, não é necessário discretizar todo o contínuo. Neste caso, foi discretizado somente o trecho mostrado na Figura 5.9, correspondente a uma região contida em um ângulo de 5 graus.

Fig.5.7 Perfil de pressao-prog. "MANCAIS"
(sapata em degrau)

- (Malha 2)
- x— (Malha 1)



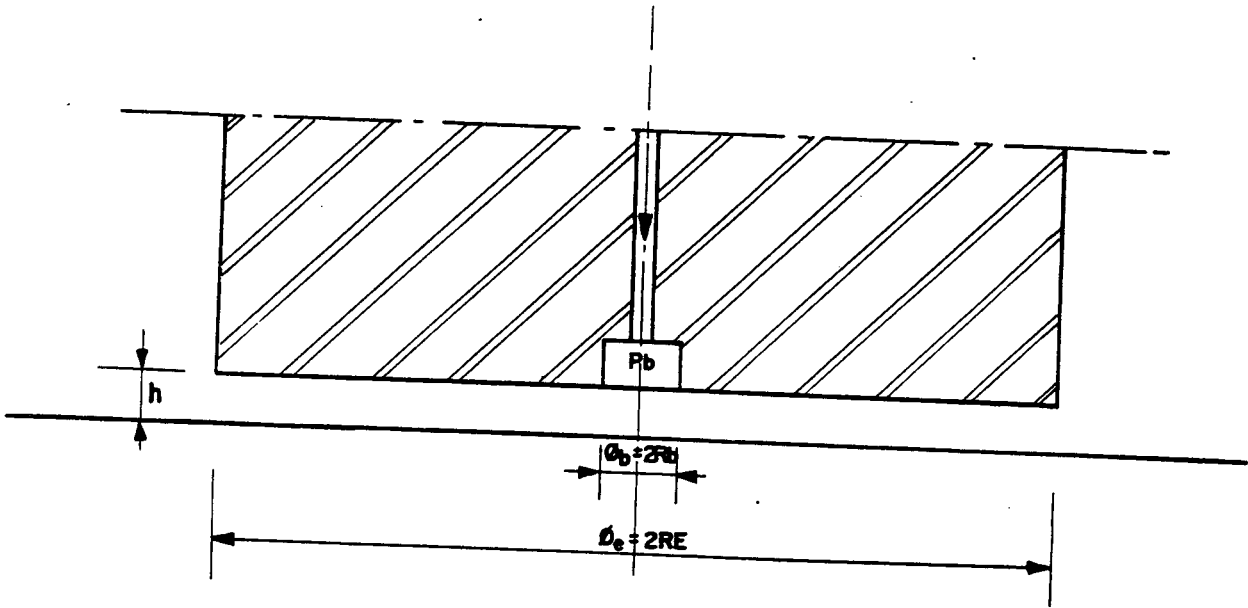


Fig. 5-8— Mancal hidrostático circular plano com controle de pressão

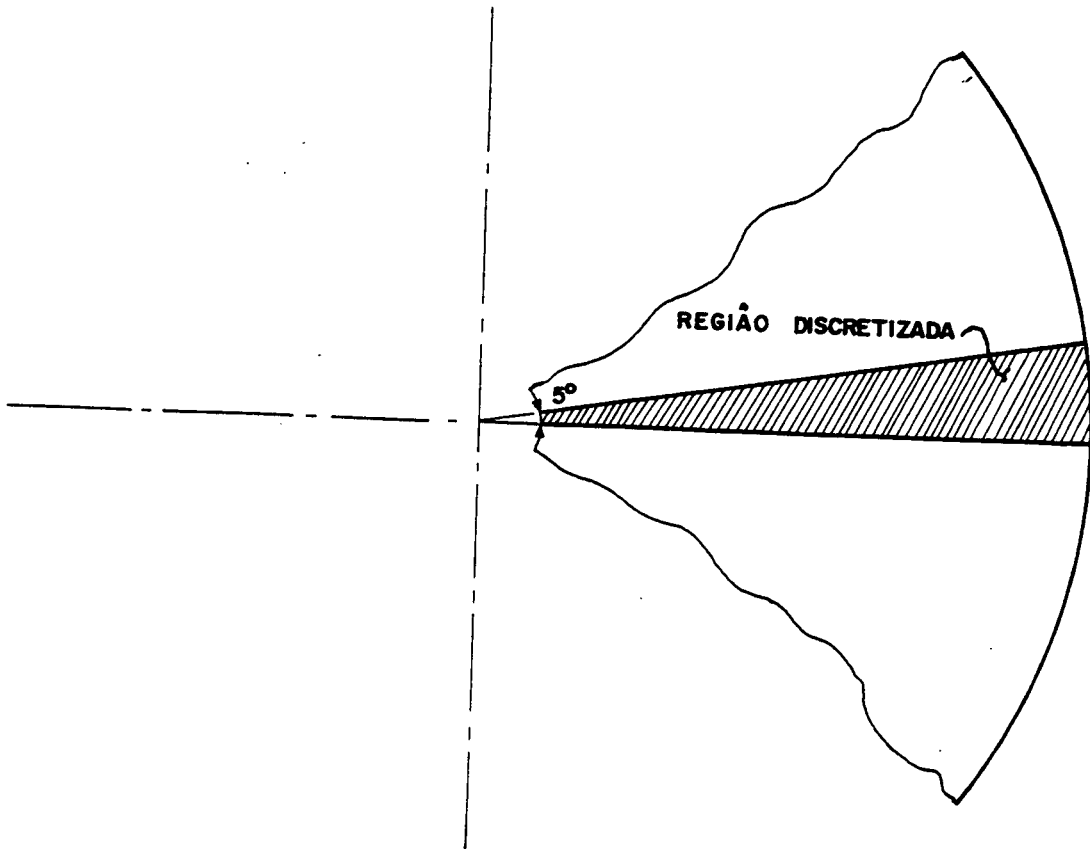


Fig. 5-9— Trecho da sapata discretizada para aplicação do programa.

As condições de contorno para este caso devem ser tais que a pressão nos nós pertencentes à bolsa sejam igualadas à pressão de alimentação e que o fluxo seja unicamente radial, ou seja, nulo nos nós não situados nos contornos da sapata.

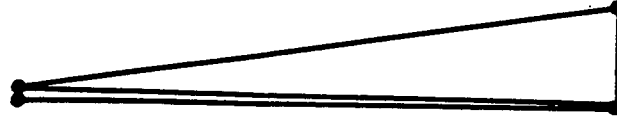
Foram utilizadas no processo de simulação as 5 malhas apresentadas na Figura 5.10 e o resultado está resumido na Tabela 5.3 onde se pode constatar, novamente, a precisão dos resultados.

5.3	COMPARATIVO ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS POR FULLER [25] E DO PROGRAMA PARA O PROBLEMA C					
	SOLUÇÃO EXATA FULLER (25)	PROGRAMA "MANCAIS" MALHA 1	PROGRAMA "MANCAIS" MALHA 2	PROGRAMA "MANCAIS" MALHA 3	PROGRAMA "MANCAIS" MALHA 4	PROGRAMA "MANCAIS" MALHA 5
CAPACIDADE DE CARGA	1,0482	1,8883	1,2945	1,1153	1,06586	1,0524
ERRO (%)	—	80	24	7	1,7	0,4

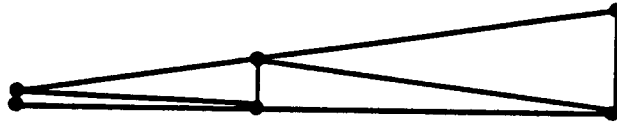
O resultado da Tabela 5.3 pode ser representado, graficamente, através da Figura 5.11, onde se percebe que nos casos de mancais hidrostáticos o resultado da capacidade de carga obtido pelo programa tende ao valor exato (analítico) por valores superiores e não por valores inferiores como é o caso dos mancais hidrodinâmicos com sapatas afuseladas, estudados anteriormente.

Na Figura 5.12 tem-se o perfil de pressão obtido pelo programa utilizando a malha 5 da Figura 5.10; este perfil é constante em todas secções radiais da sapata.

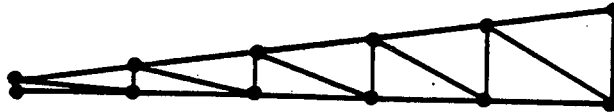
Com estes três exemplos, percebe-se que o método de elementos finitos, através do programa MANCAIS, oferece soluções bastante precisas, desde que o refinamento adotado seja adequado e que as condições de contorno sejam corretamente introduzidas.



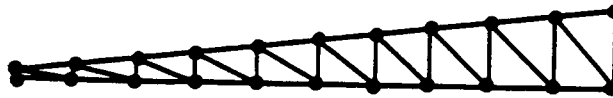
A- Malha 1 (2 elementos)



B- Malha 2 (4 elementos)



C- Malha 3 (10 elementos)



D- Malha 4 (20 elementos)



E- Malha 5 (30 elementos)

Fig. 5-10 Malhas utilizadas na simulação do problema da fig. 5-8.

Fig.5.11 Grafico de convergencia
(mancal hidrostático)

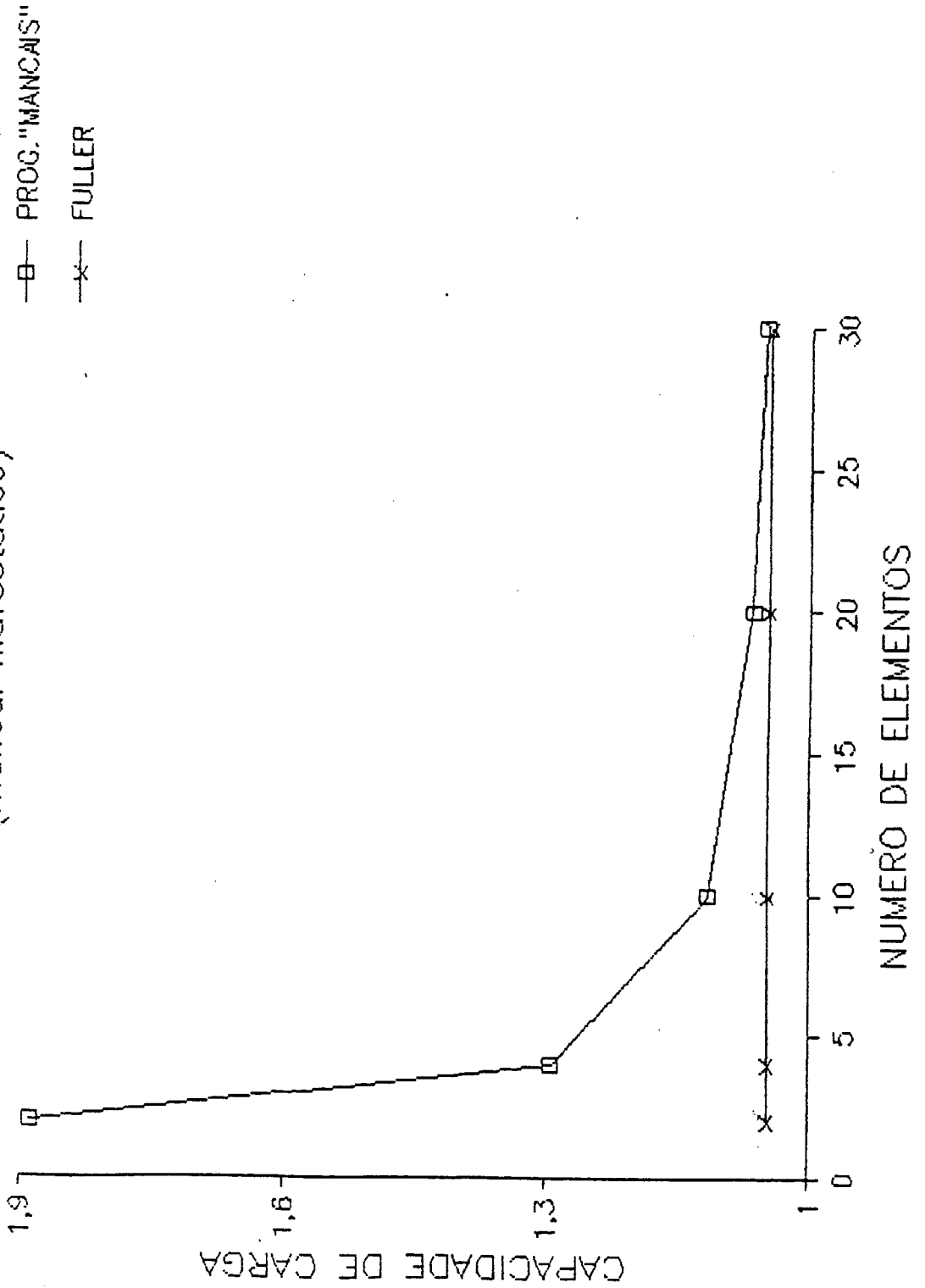
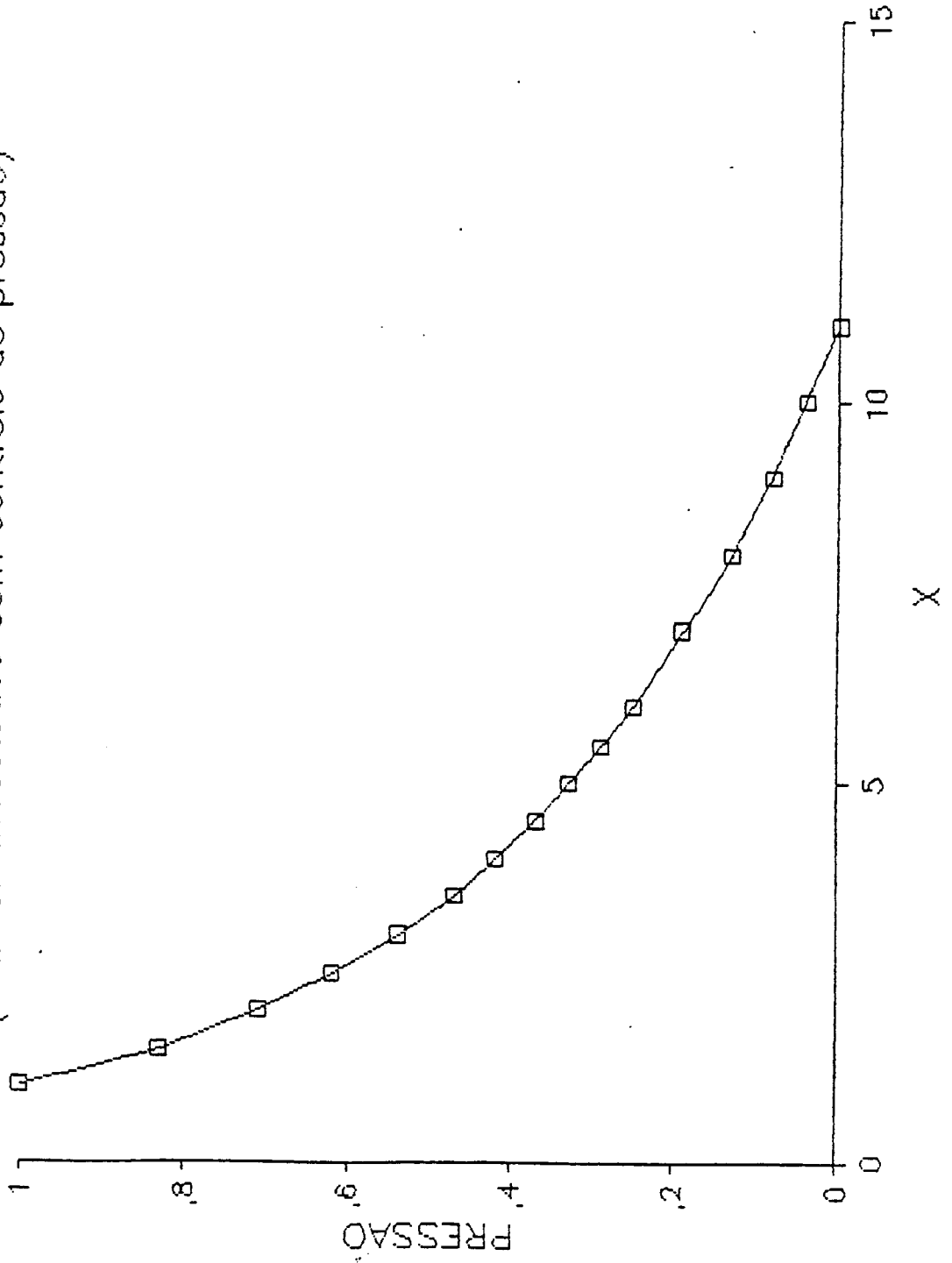


Fig.5.12 Perfil de pressao--prog. "MANCAIS"
(mancal hidrostático com controle de pressao)



Após o estudo da convergência dos resultados obtidos com o uso do programa "MANCAIS" aplicados a problemas considerando a "Hipótese do Mancal Semi-infinito", o que permitiu uma comparação com resultados analíticos obtidos por Fuller [25], serão vistos, a seguir, problemas onde esta hipótese simplificativa é desconsiderada.

Descartando tal hipótese, o perfil de pressão ao longo da largura da sapata de um mancal hidrodinâmico não é constante e são considerados os fluxos laterais de lubrificante. Com isto, o programa pode fornecer resultados mais precisos que os obtidos considerando tal hipótese simplificativa.

Nos exemplos a seguir, não foram detalhadas as fases do levantamento de dados e construção do arquivo de entrada para o programa, pois este procedimento está bem detalhado no Manual do Usuário, Apêndice IX, entretanto, foram listados os arquivos de entrada e saída, Apêndice X, que, em conjunto com o manual, podem tornar mais fácil o entendimento e a utilização do programa.

5.2 MANCAL HIDRODINÂMICO PLANO COM SAPATA AFUSELADA

A Figura 5.13 mostra esquematicamente uma sapata afuselada quadrada que se desloca na direção x com uma velocidade $U = 600$ (cm/s). Sabendo-se que a viscosidade, μ , do lubrificante é igual a $0,6 \times 10^{-5}$ (kg /cm.s), obteve-se o perfil de pressão através da sapata, a capacidade de carga e centro de pressão da região discretizada quando operando nestas condições.

O primeiro passo executado foi o levantamento dos dados necessários à construção do arquivo de entrada.

Fixando-se um sistema de referência, discretizou-se a sapata de modo que a malha ficou mais "refinada" nas regiões onde o gradiente de pressão é mais elevado, para isto, entretanto, foi necessário um conhecimento prévio do aspecto do perfil de pressão, o que com alguma experiência não é difícil.

Para este exemplo, devido à simetria, não foi necessária a discretização de toda a sapata e somente a metade da mesma foi discretizada, como pode ser visto nas Figuras 5.13 e 5.14.

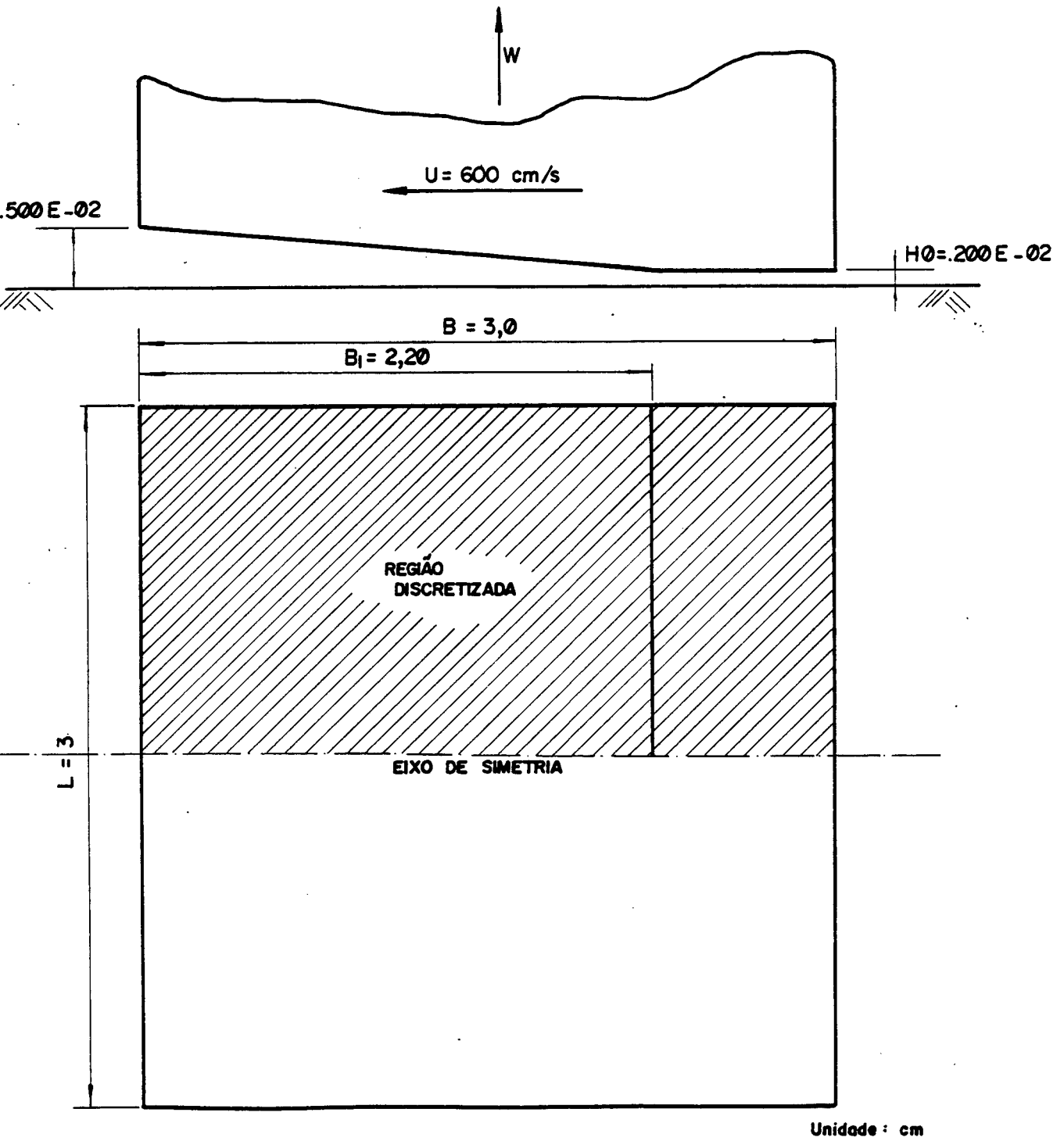


Fig. 5-13 - Sapata afuselada de um mancal hidrodinamico, mostrando a região discretizada.

Através do Manual do Usuário, Apêndice IX, pode-se obter a seqüência exata da entrada de dados, a qual foi rigorosamente obedecida na construção do arquivo de entrada.

Após a discretização, foi feito o levantamento das coordenadas nodais, bem como, da topologia do sistema, Figura 5.14.

As condições de contorno para este problema consideram que, nos nós do contorno externo da sapata e pressão é nula e em qualquer nó que não no contorno, os fluxos globais são nulos.

A condição de contorno de fluxo global nulo nos nós não situados no contorno se justifica pelo fato de que nestes nós não há alimentação nem saída de lubrificante para fora da sapata, ou seja, o fluxo que "entra" no nó é igual ao fluxo que "sai" do mesmo, resultando numa somatória nula.

A única ação nodal considerada neste caso foi a velocidade na direção x , sendo outros efeitos desconsiderados.

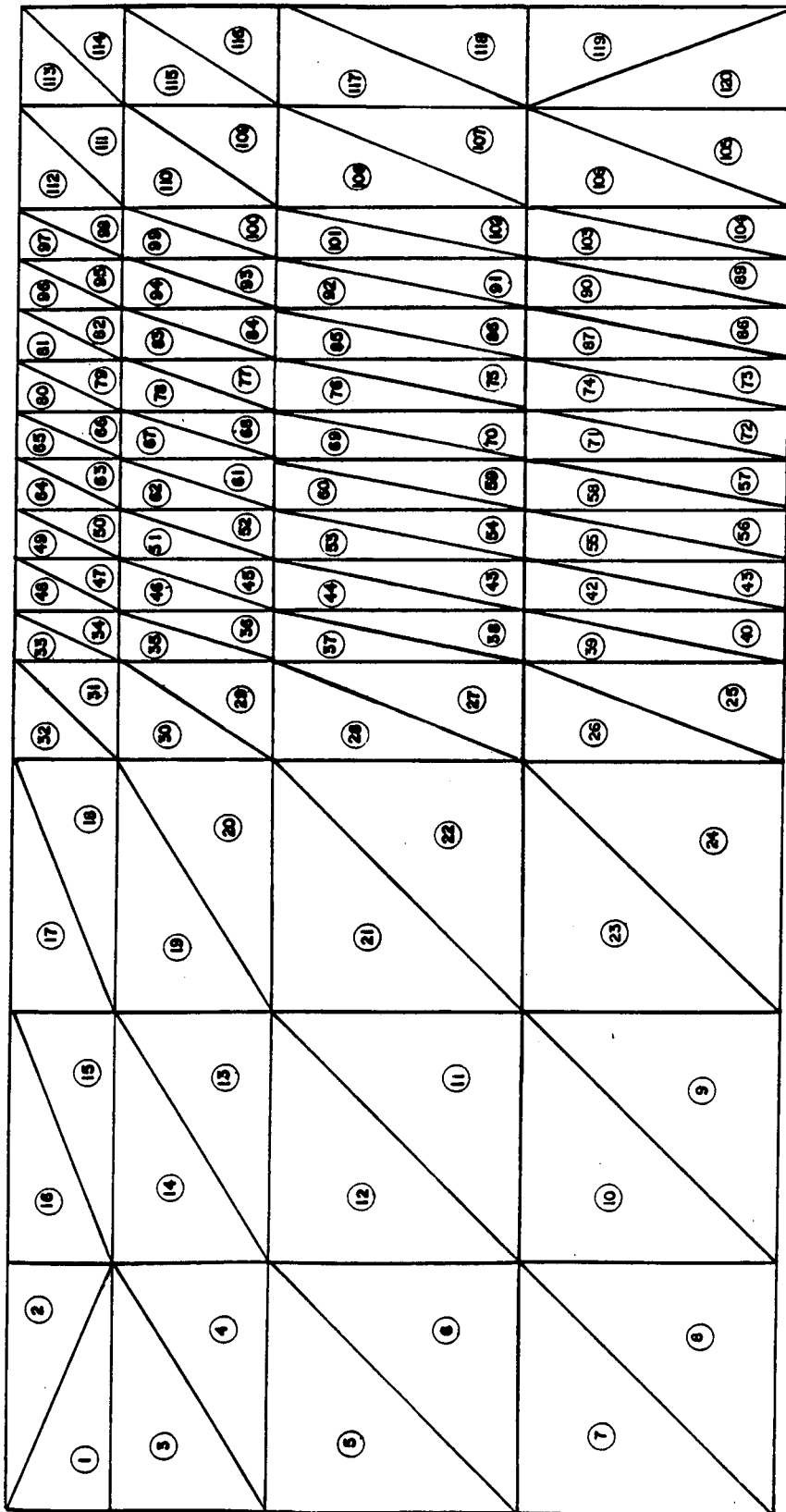
Executando-se o programa, obteve-se um arquivo de resultados, com o qual pode-se obter o perfil de pressão na região discretizada, mostrado na Figura 5.15, bem como, a capacidade de carga e centro de pressão desta região.

Como foi discretizado somente metade da sapata, a capacidade da carga total é igual ao dobro do valor obtido pelo programa.

Através de uma análise da Figura 5.15, percebe-se que o "refino" adotado nesta simulação foi suficiente para obter um perfil de pressão bem definido, assim, considerou-se desnecessárias novas rodadas do programa pois o ganho de precisão seria muito pequeno.

As Figuras 5.16 e 5.17 mostram ainda, para este exemplo, a variação da capacidade de carga em função da relação $B1/BT$ e da variação de velocidade, respectivamente, obtidos também através do programa.

NE = 120
 NN = 80



EIXO DE
 SIMETRIA

Fig. 5-14 — Malha adotada na discretização da sapata da fig. 5-13, devido à simetria discretizou-se somente metade da sapata.

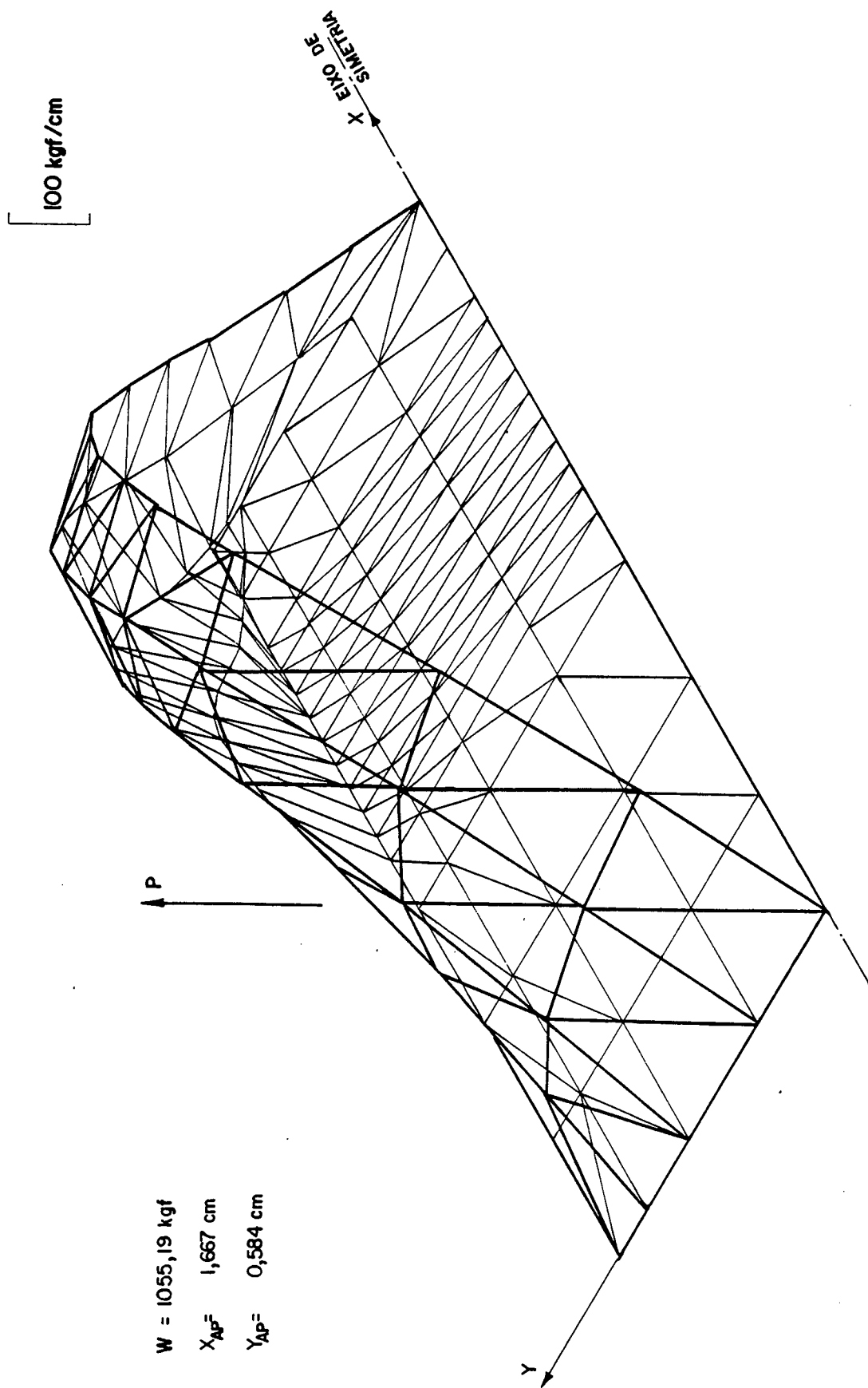


Fig. 5-15 — Perfil de pressão obtido pelo programa "MANCAIS" para o problema 5.2.

FIG.5.16 Variacao de W x B1/BT
(problema 5.2)

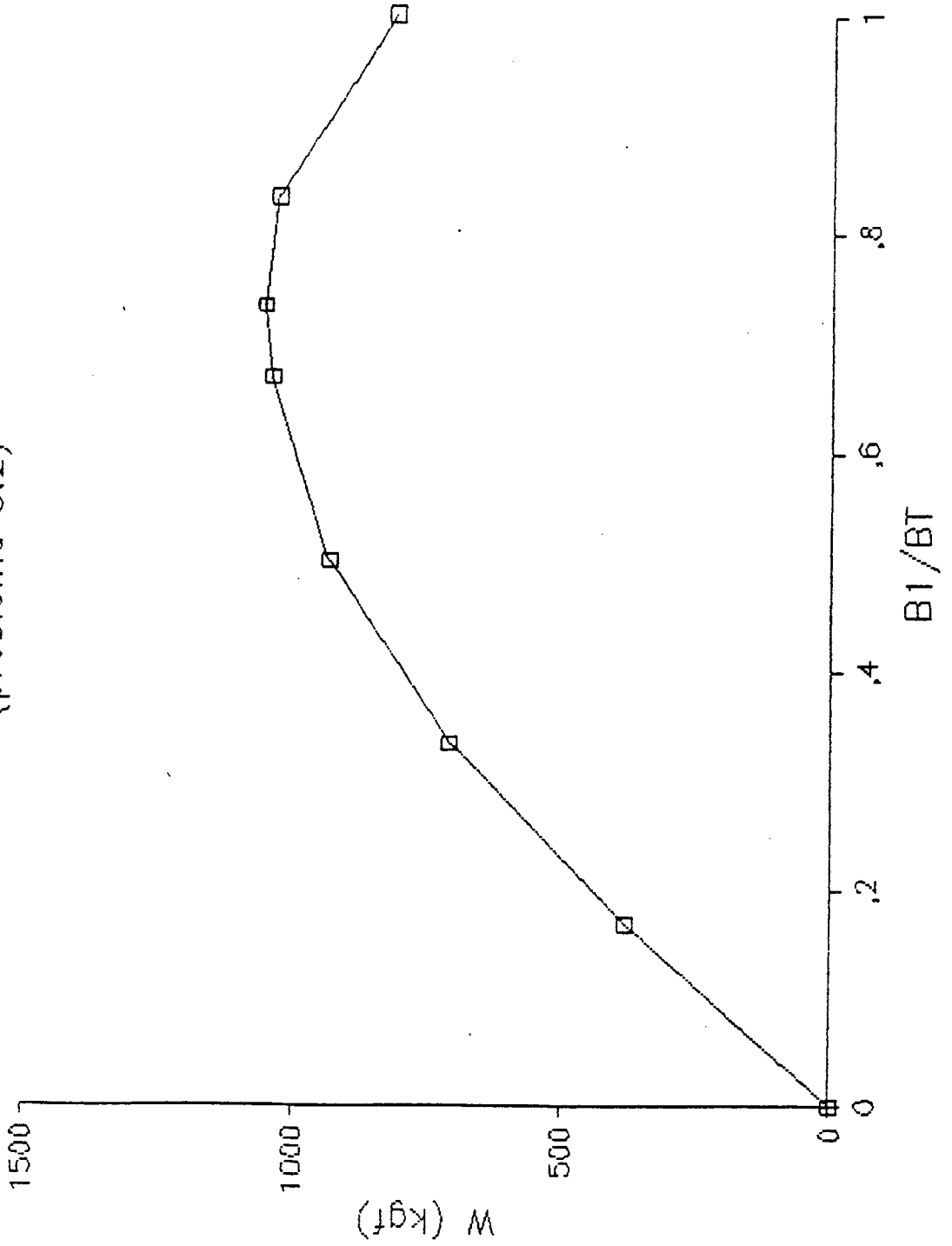
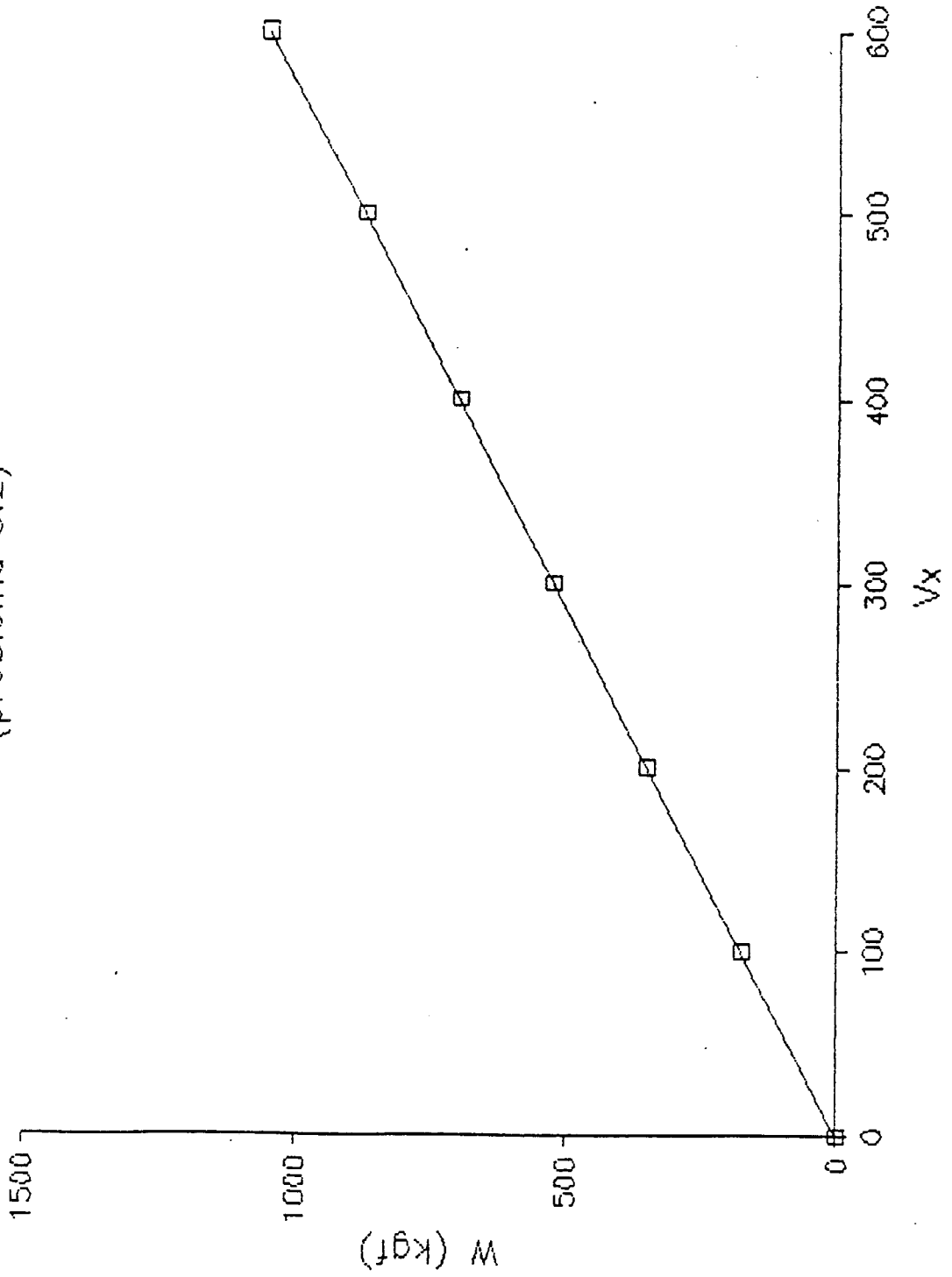


FIG.5.17 Variacao de $W \times V_x$
(problema 5.2)



5.3 MANCAL HIDRODINÂMICO PLANO COM SAPATAS EM DEGRAU

A Figura 5.18 mostra esquematicamente uma sapata em de grau de um mancal hidrodinâmico que se desloca na direção x com uma velocidade $U = 600$ (cm/s). Sabendo-se que a viscosidade do fluido lubrificante, μ , é igual a $0,6 \times 10^{-5}$ (kgf/cm.s) foi obtido o perfil de pressão através da sapata, a capacidade de carga e cen tro de pressão, quando operando nestas condições.

Os passos adotados para a utilização do programa são os mesmos do problema anterior, descritos no Manual do Usuário, A-pêndice IX, embora, neste caso, tenha-se tornado indispensável a en trada das alturas de filme, elemento a elemento.

No problema anterior, não foi necessário este procedi mento, pois para o caso de sapatas afuseladas planas o programa se encarrega de calcular as alturas nodais do filme em função das di mensões principais da sapata.

A malha adotada para este caso pode ser vista na Figu- ra 5.19 e as condições de contorno são as mesmas do problema ante rior, ou seja, a pressão é considerada nula para os nós situados no contorno da sapata e nos demais nós o fluxo global é nulo.

No Apêndice X estão listados os arquivos de entrada e de saída, onde através deste último pode-se obter o perfil de pres são no interior da região discretizada, Figura 5.20, a capacidade de carga e centro de pressão.

5.4 MANCAL DE ESCORA COM SAPATAS CIRCULARES AFUSELADAS

A Figura 5.21 mostra esquematicamente um mancal de es- cora com 9 sapatas afuseladas, simetricamente distribuidas. Cada sapata está contida em um ângulo de 30 graus e possui um raio in terno $R_i = 6$ (cm) e um raio externo $R_e = 10$ (cm), a altura máxima do filme lubrificante é $H_1 = 0,5 \times 10^{-2}$ (cm) e a altura mínima é $H_2 = 0,2 \times 10^{-2}$ (cm).

Sabendo-se que a rotação do eixo é $N = 1200$ rpm e que a viscosidade do lubrificante, é igual a $1,0 \times 10^{-4}$ (kgf/cm.s), foi

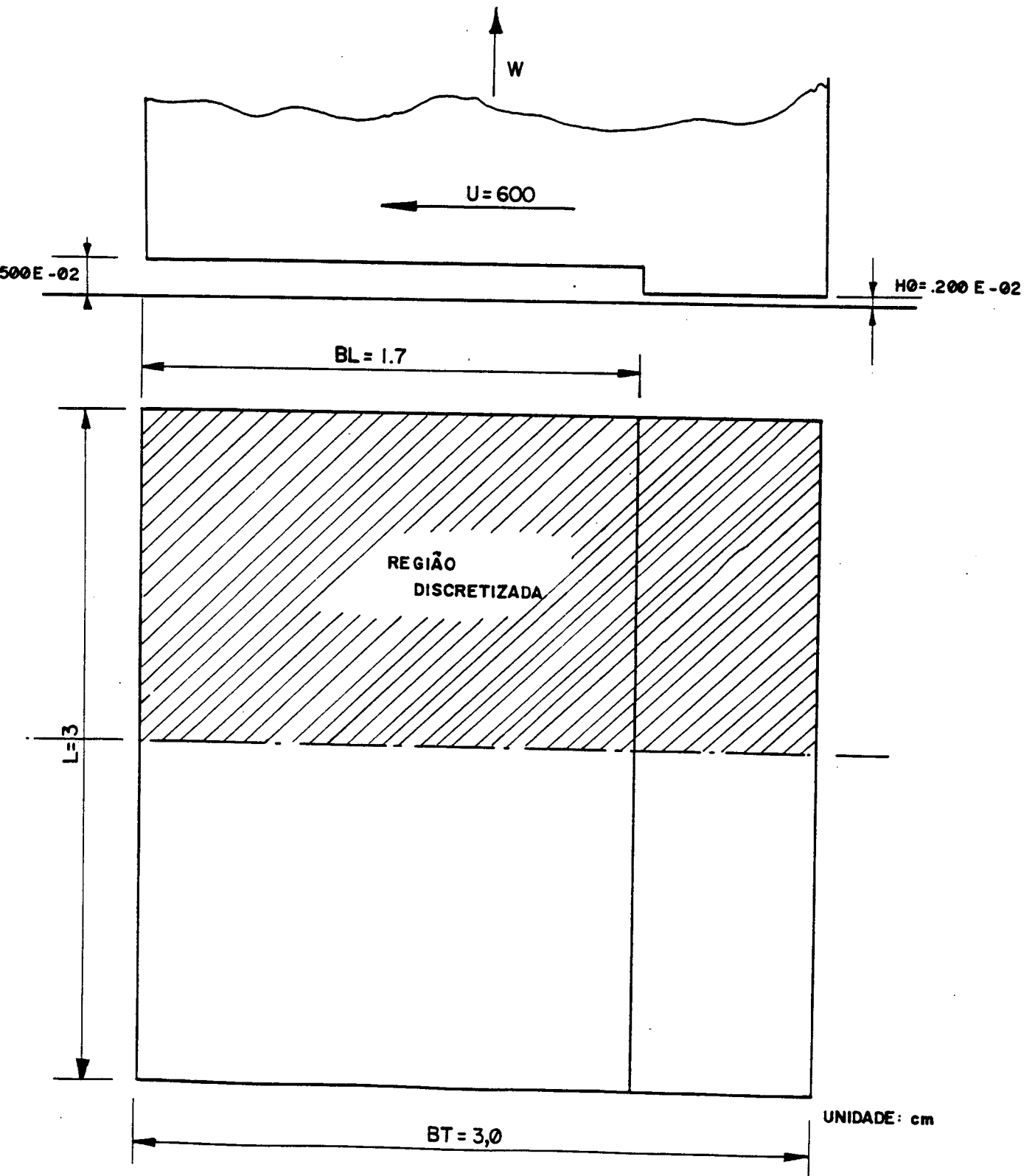


Fig. 5-18 - Sapata em degrau de um mancal hidrodinâmico, mostrando a região discretizada.

NN = 80
NE = 120

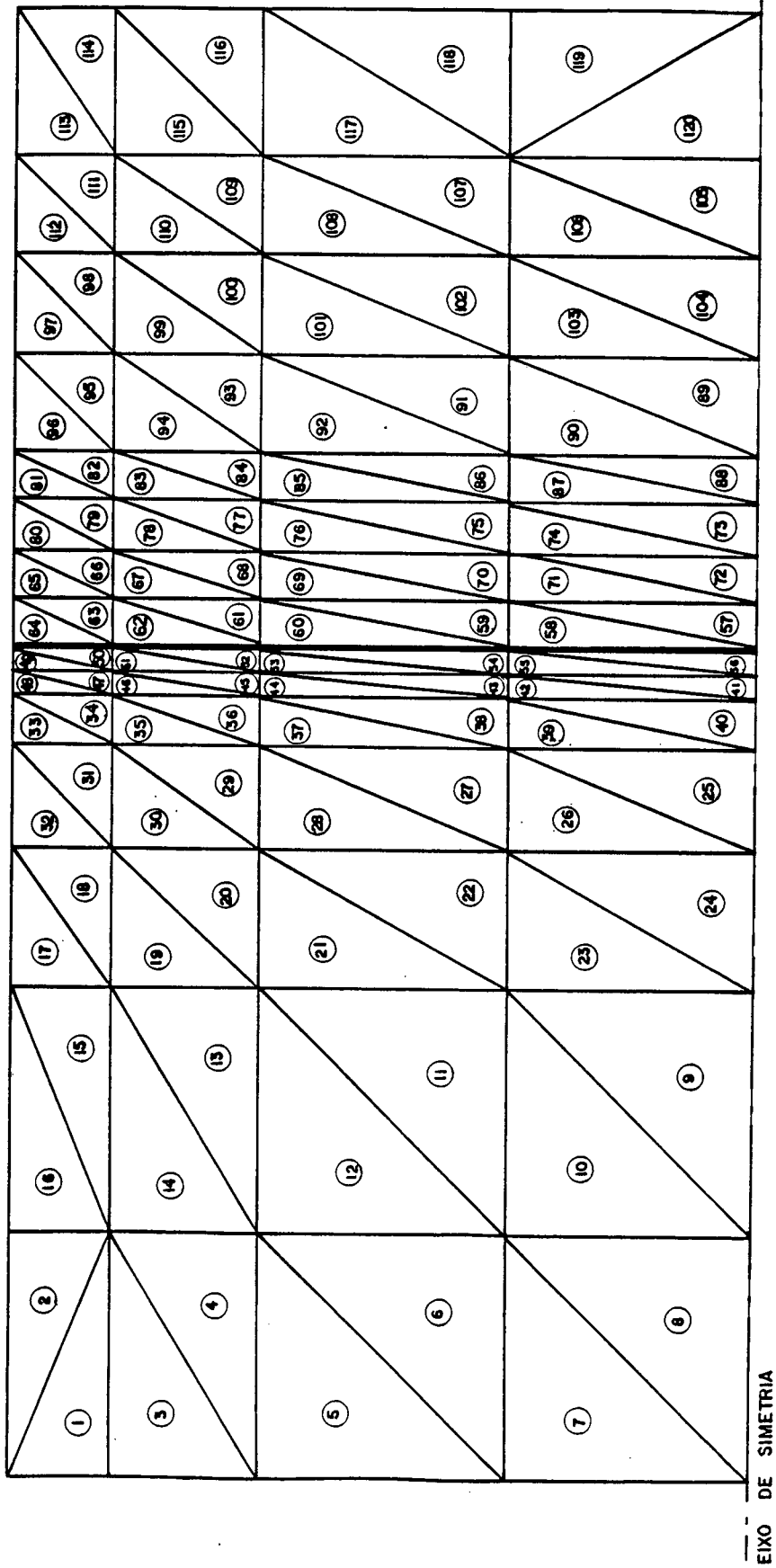


Fig. 5-19 -- Malha adotada na discretização da sapata da fig. 5-16, onde devido a simetria discretizou-se somente metade da mesma.

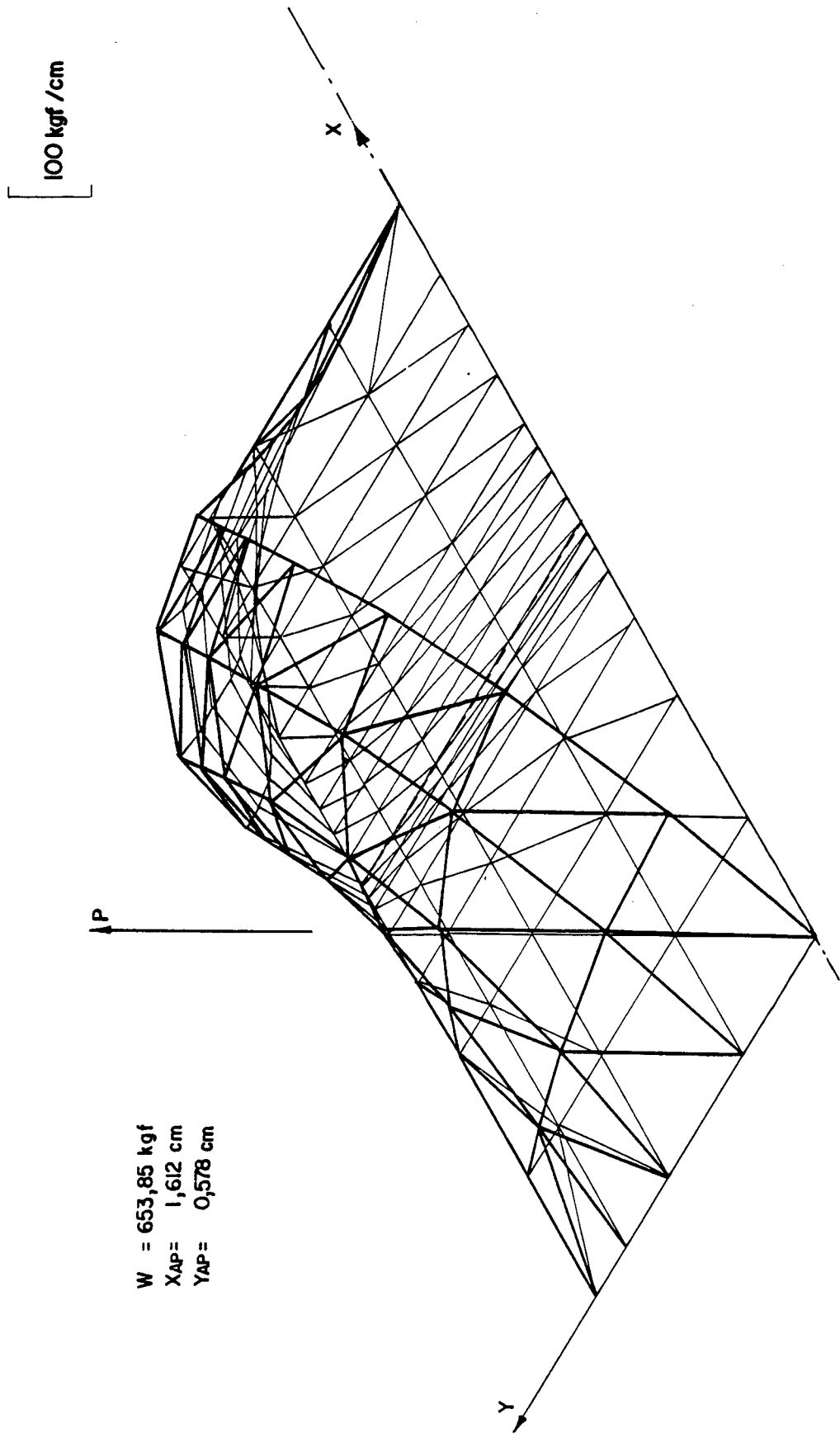


Fig. 5-20 — Perfil de pressão obtido pelo programa "MANCAIS" para o problema 5.3

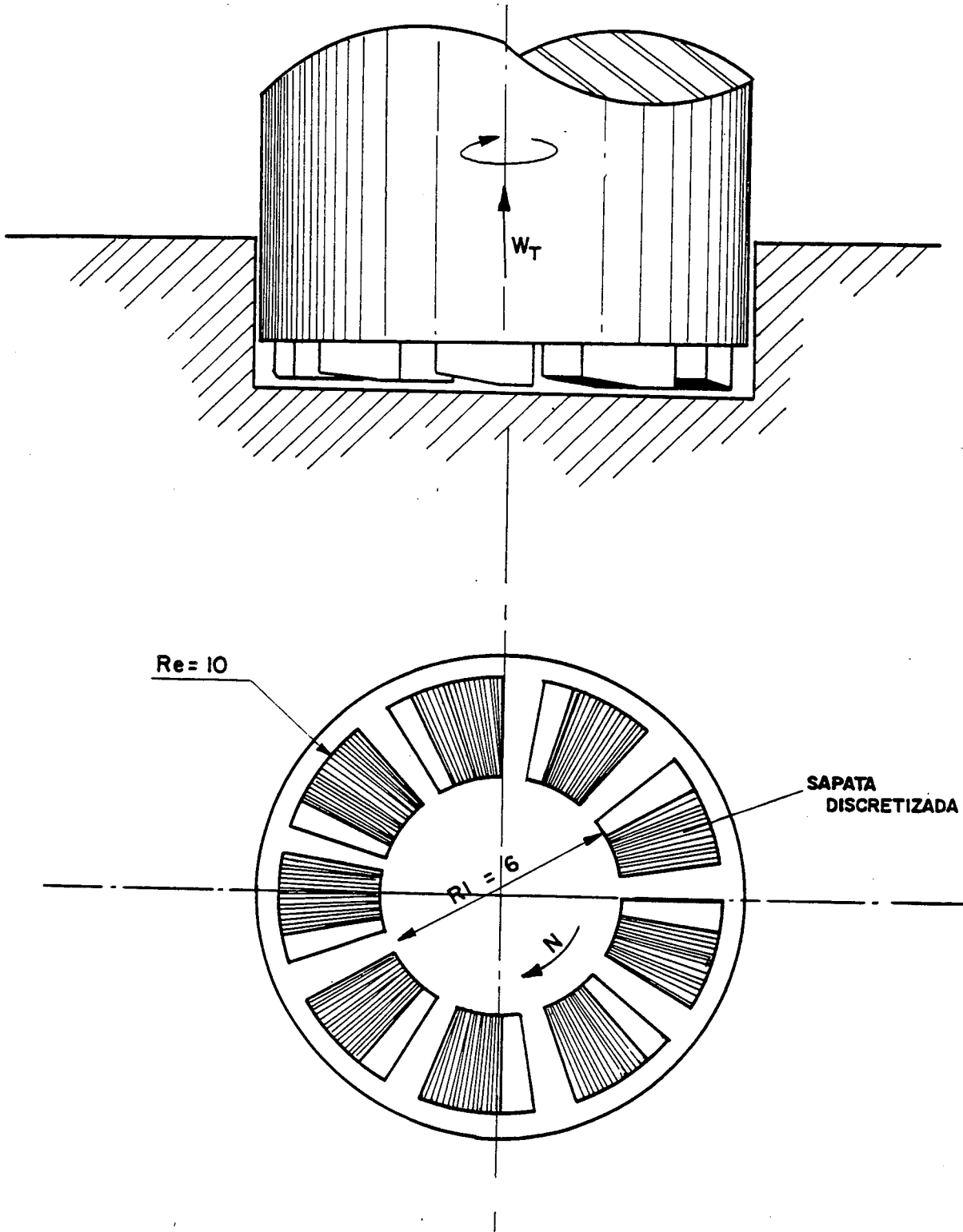


Fig. 5-21—Mancal axial com 9 sapatas afuseladas

obtido o perfil de pressão através da sapata, sua capacidade de carga e centro de pressão.

Na Figura 5.22 tem-se o detalhe de uma sapata isolada deste mancal onde, pode-se observar com mais detalhes o seu perfil, bem como, as principais dimensões.

Devido a não simetria, a sapata foi discretizada integralmente como pode-se perceber através da Figura 5.23, que mostra a malha adotada no processo de simulação.

Como o programa é baseado em um sistema cartesiano, todas as coordenadas e velocidades devem ser introduzidas segundo este sistema.

Entretanto, como para este caso o sistema polar de coordenadas é de mais fácil utilização, as coordenadas nodais e velocidades foram obtidas segundo o sistema polar e, através de um pequeno programa, levantaram-se as correspondentes coordenadas e velocidades no sistema cartesiano. A representação destes dois sistemas de coordenadas pode ser vista na Figura 5.23.

As condições de contorno adotadas neste caso são tais que, em todos os nós situados no contorno da sapata as pressões são nulas e nos nós internos os fluxos globais são nulos. Estas condições são idênticas às adotadas nos exemplos anteriores.

De posse do arquivo de saída, pode-se construir o perfil de pressão através da sapata visto na Figura 5.24.

Através deste exemplo pode-se perceber que problemas mais complexos podem ser simulados através do programa crescendo somente a dificuldade no levantamento e construção do arquivo de dados.

5.5 MANCAL HIDROSTÁTICO COM CONTROLE DE PRESSÃO

A Figura 5.25 mostra uma sapata hidrostática que trabalha com um óleo lubrificante cuja viscosidade é igual a $0,5 \times 10^{-5}$ (kgf/cm.s), uma pressão de alimentação de 50 (kgf/cm²) e cuja altura do filme foi considerada constante e igual a $0,3 \times 10^{-2}$ cm.

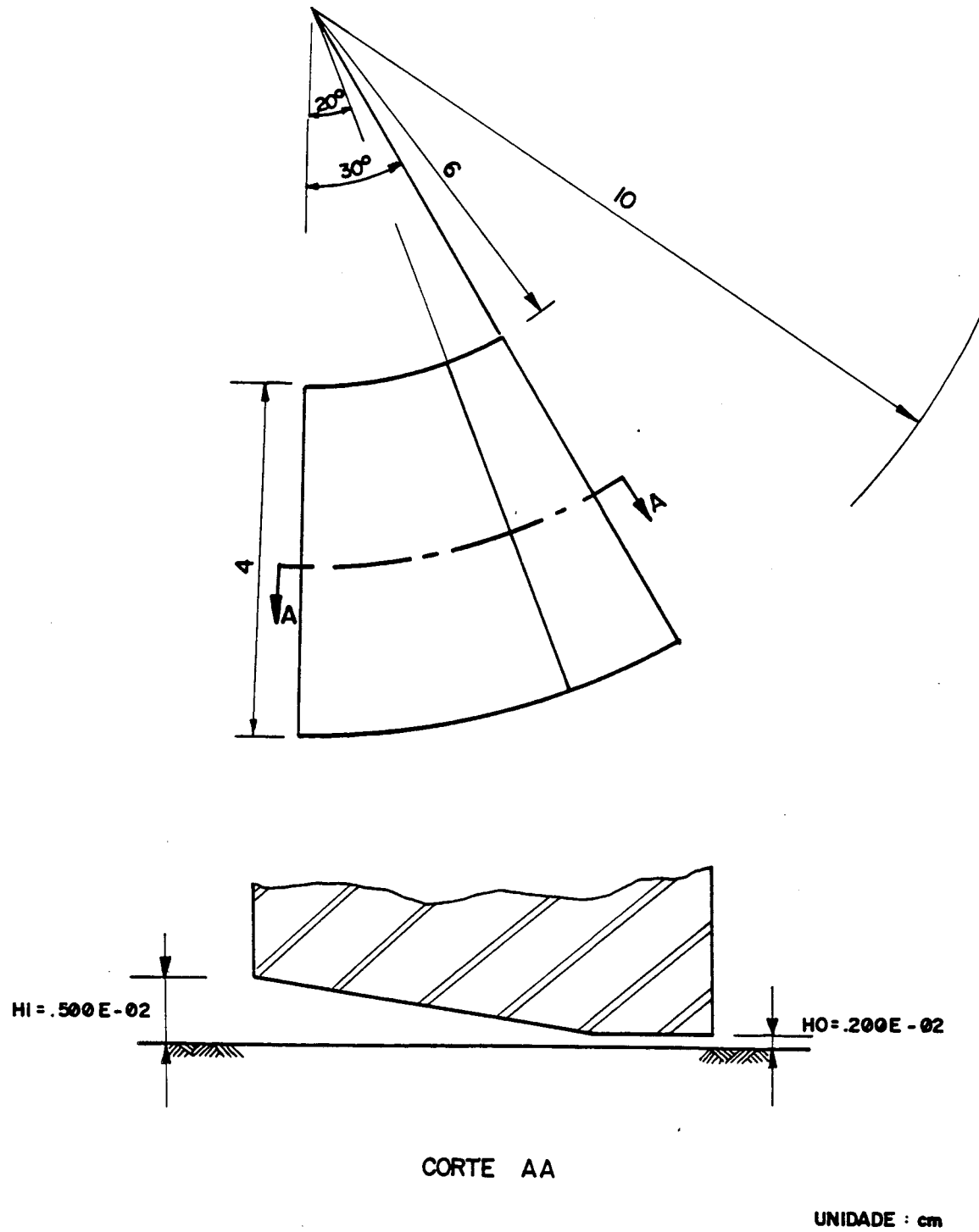


Fig. 5-22 - Detalhe de uma sapata do mancal da fig. 5-19

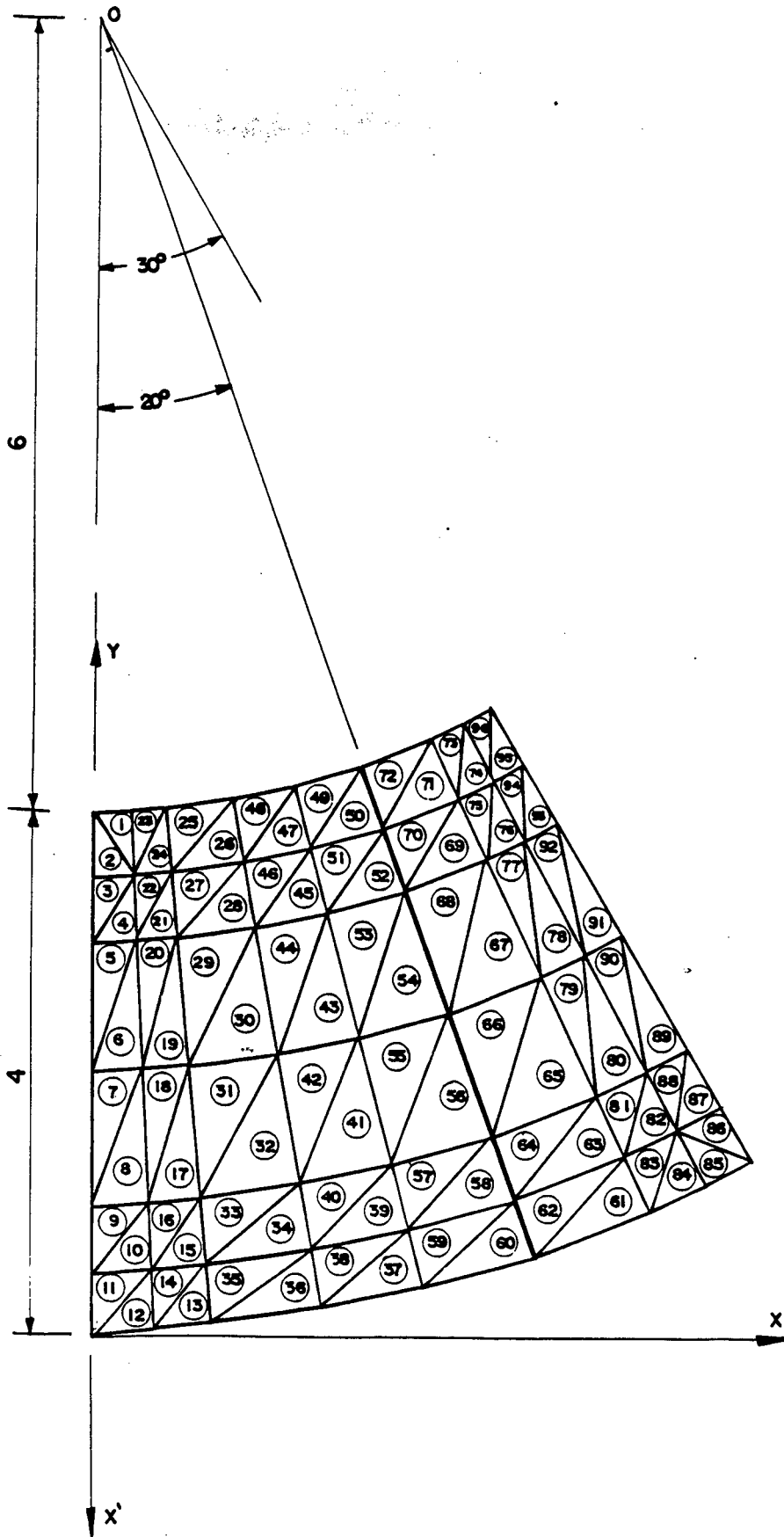
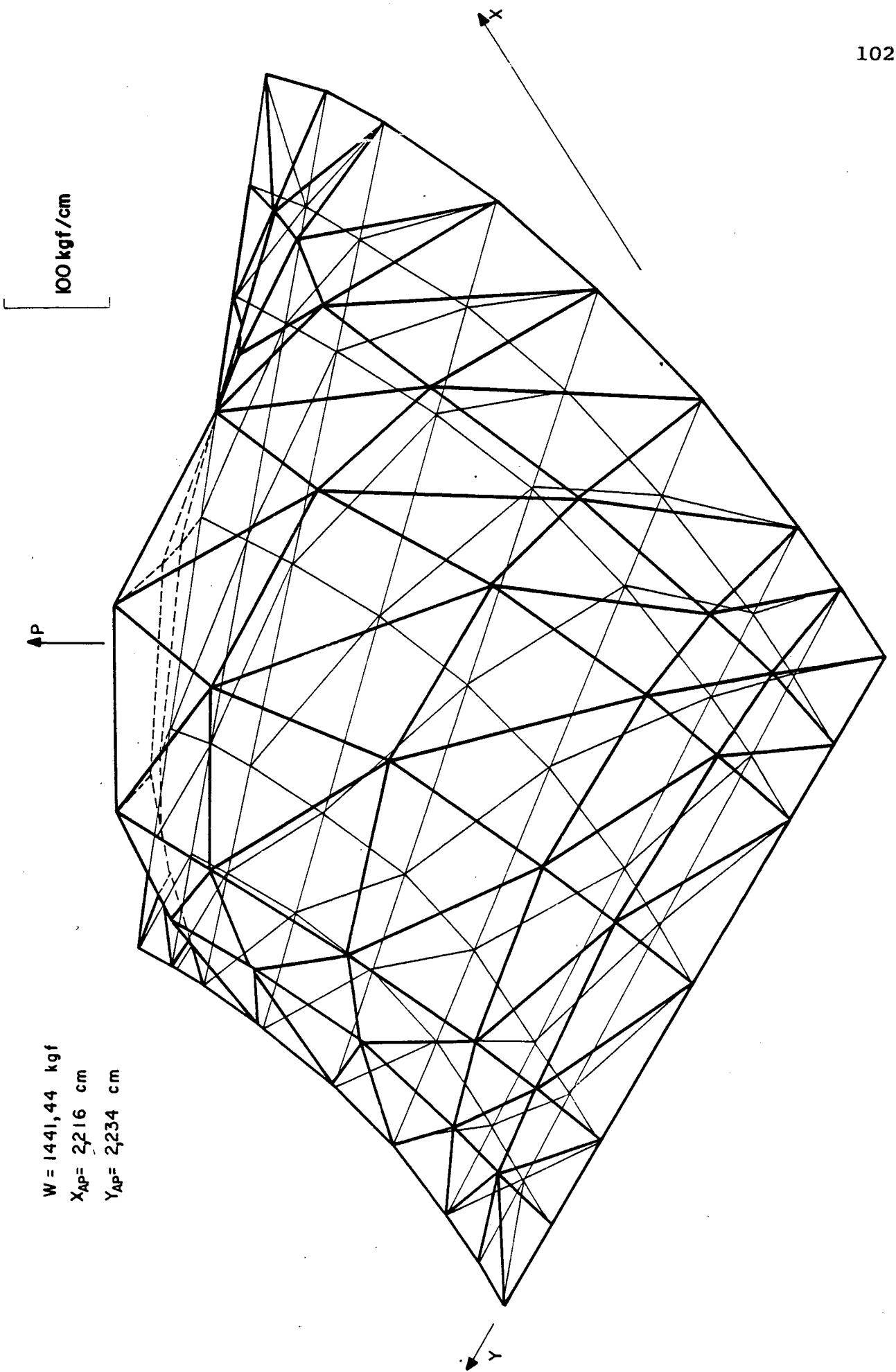


Fig. 5-23 — Malha adotada para a simulação através do programa "MANCAIS" do problema da fig. 5.19.



$W = 1441,44 \text{ kgf}$
 $X_{Ap} = 2216 \text{ cm}$
 $Y_{Ap} = 2234 \text{ cm}$

Fig. 5-24 — Perfil de pressão obtido pelo programa "MANCAIS" para o problema 5.4

Por questões de simetria modelou-se somente um oitavo da sapata, como pode ser visto nas Figuras 5.25 e 5.26.

Para este caso as condições de contorno especificadas foram tais que as pressões nos nós situados no contorno foram igua ladas a zero, as pressões nos nós situados no contorno da bolsa de alimentação foram igua lados à pressão de alimentação, 50 kgf/cm^2 , e os fluxos nos nós restantes foram igua lados a zero.

Através do arquivo de saída, Apêndice X, pode-se plo tar o perfil de pressão na região discretizada, como pode ser vis to na figura 5.27.

Neste caso, a capacidade de carga total da sapata é igual a oito vezes a fornecida pelo programa.

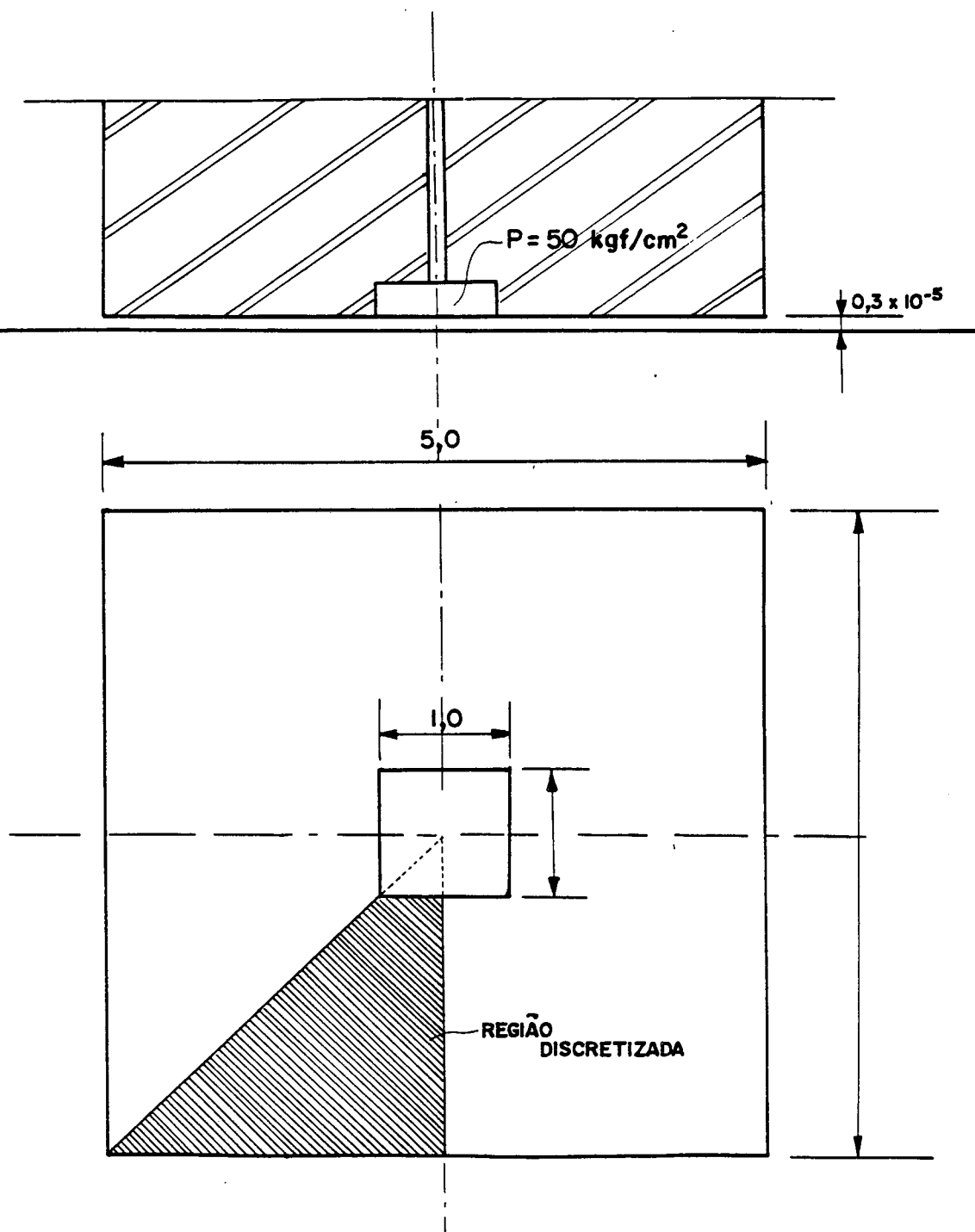
5.6 MANCAL RADIAL

A Figura 5.28 mostra esquematicamente um mancal ra dial, finito, cujo raio, RE , é igual a $5,05 \text{ (cm)}$. Neste mancal des liza um eixo cujo raio, RI , é igual a $5,00 \text{ (cm)}$, o que resulta em uma folga radial, C , igual a $0,05 \text{ (cm)}$.

Este mancal possui uma largura, L , igual a 10 (cm) e opera com um lubrificante cuja viscosidade, μ , é igual $0,5 \times 10^{-5} \text{ (kgf/cm.s)}$.

Através do programa "MANCAIS", determinou-se a capacida de de carga, o ângulo de atuação da mesma e o perfil de pressão no interior da região discretizada, considerando-se que o eixo gira a uma velocidade, N , igual a 1750 (rpm) e permanece com uma excen tricidade, E , em relação ao mancal, igual a $0,015 \text{ (cm)}$.

Como para o caso de mancais radiais as condições de contorno não são muito fáceis de serem determinadas, para o presen te problema considerou-se que o perfil positivo de pressões se de senolveria em um ângulo de 200° , a partir da origem dos ângulos, considerada na posição de altura de filme máxima, como pode ser vis to na Figura 5.29.



UNIDADE : cm

Fig. 5-25 — Mancal hidrostático com controle de pressão

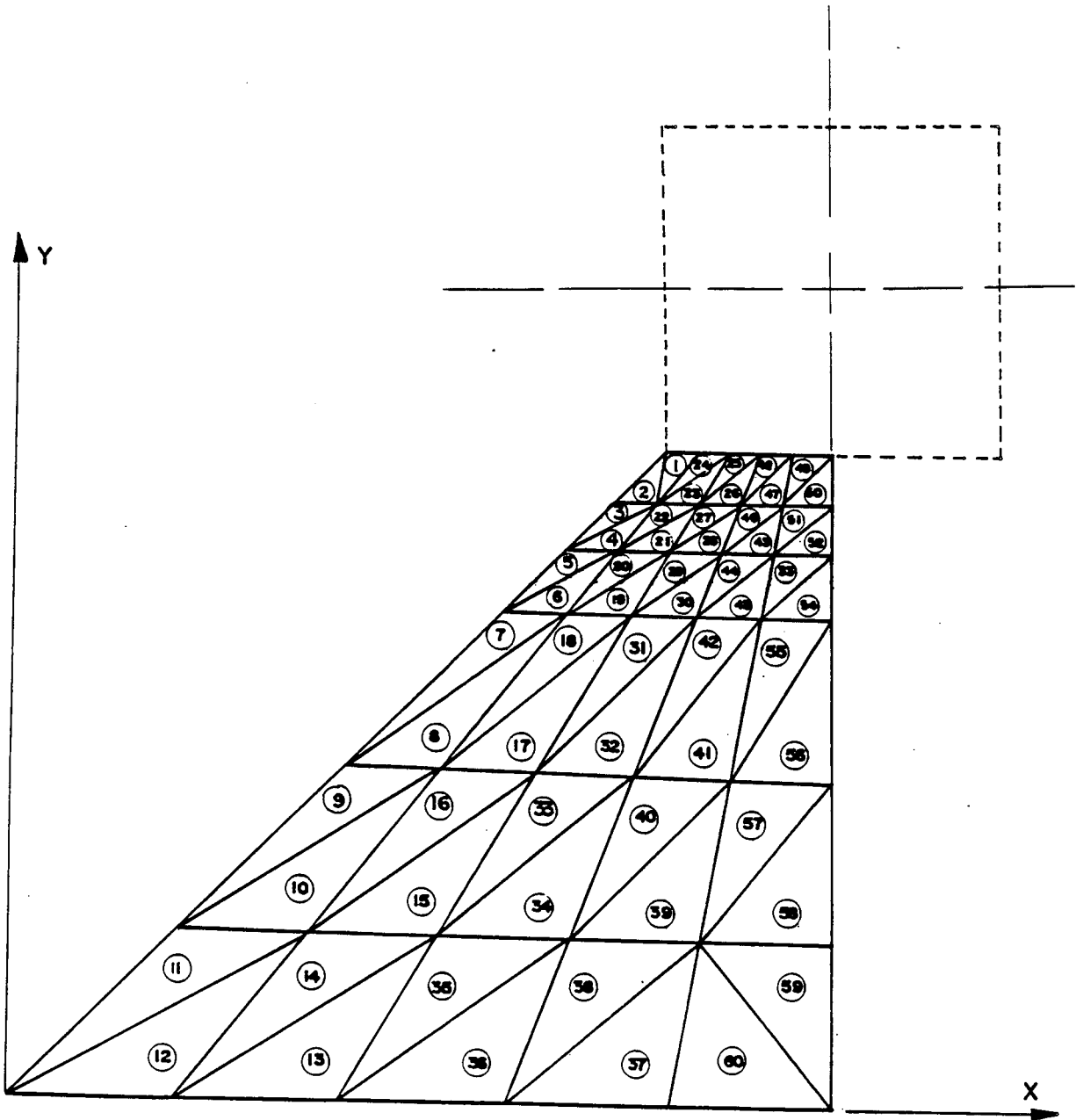


Fig. 5-26 — Malha adotada para o problema 5.5 .

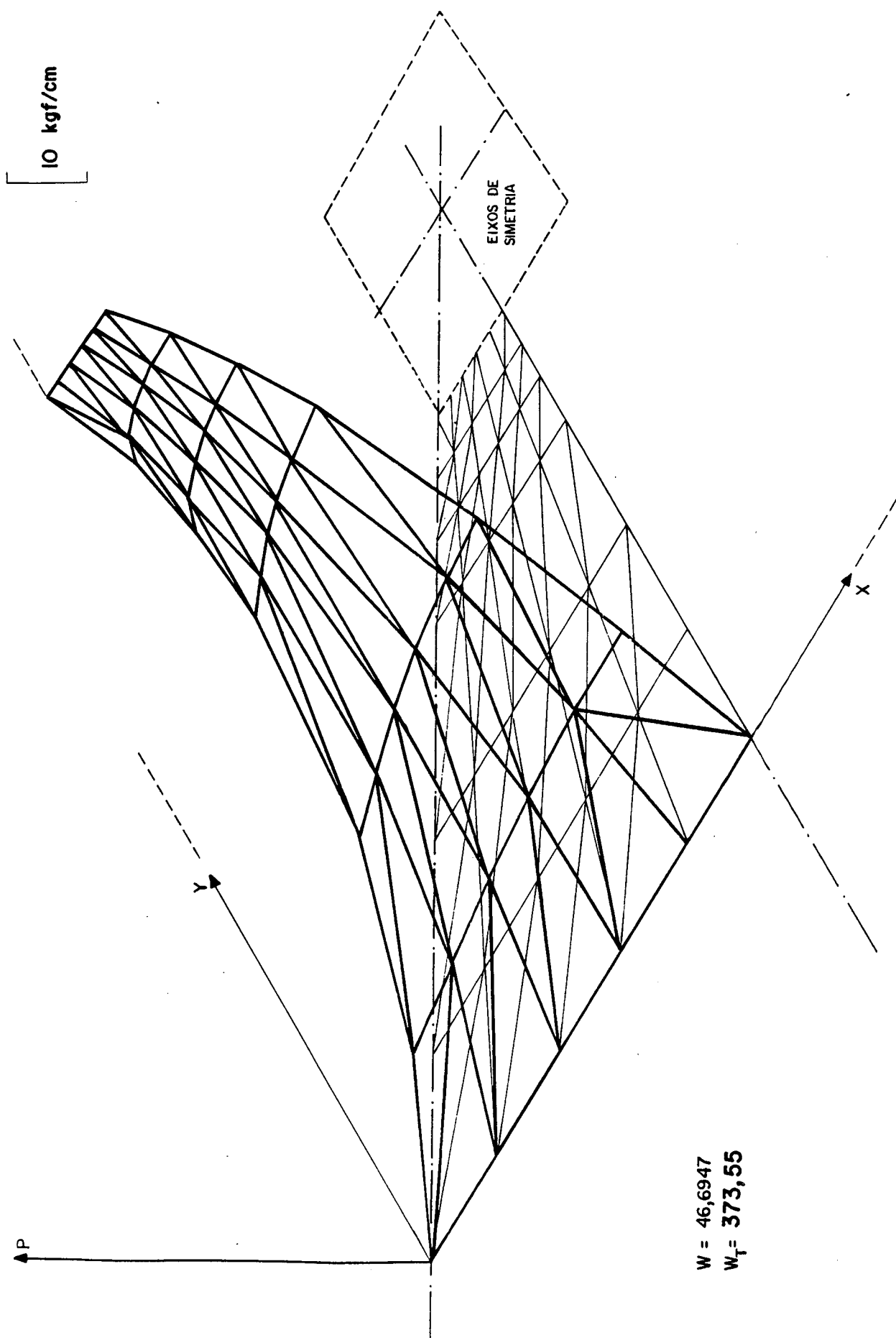


Fig. 5-27 — Perfil de pressão obtido pelo programa "MANCAIS" para o problema 5.5

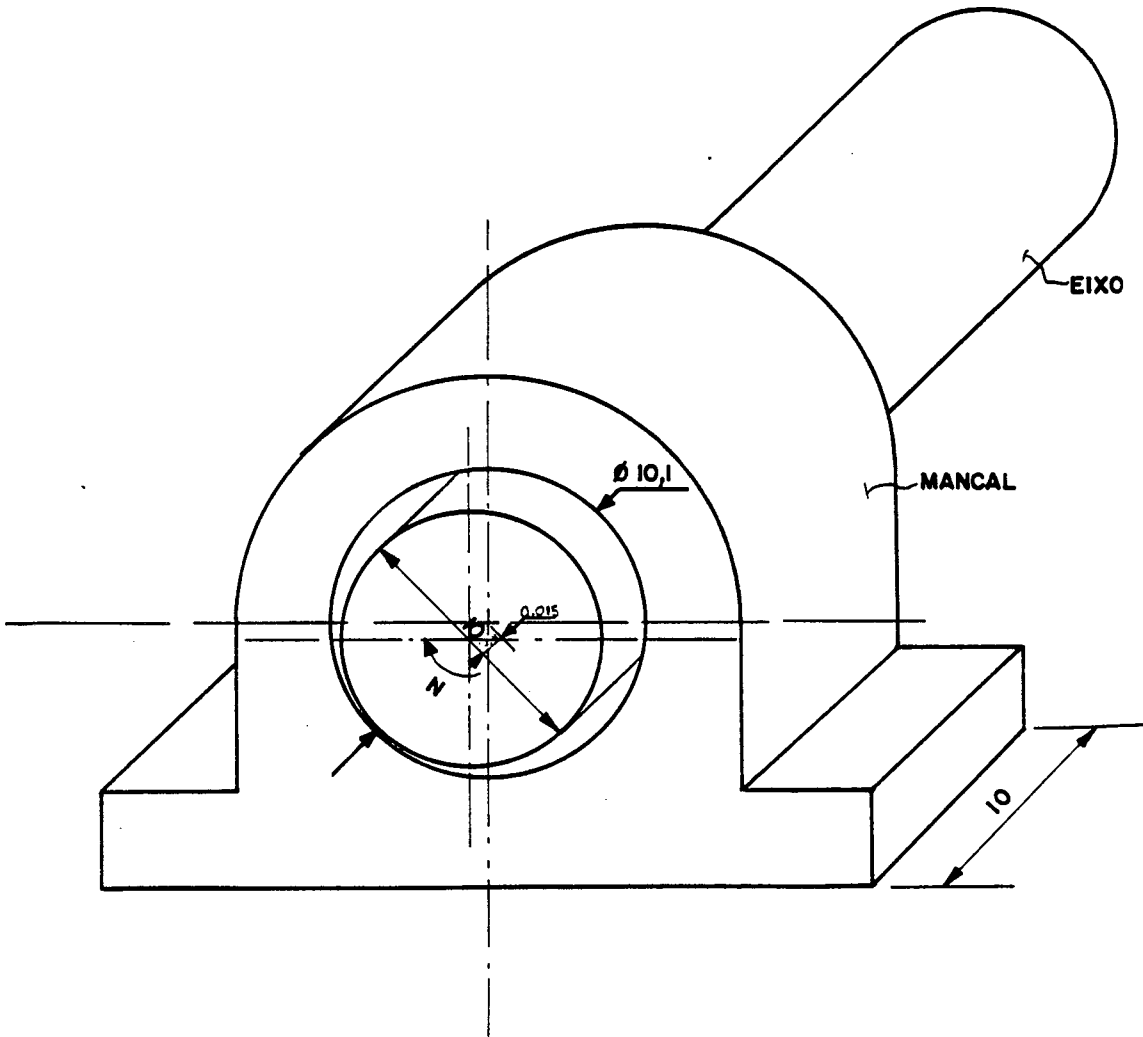


Fig.5-28— Representação esquemática do mancal radial abordado em 5.6 .

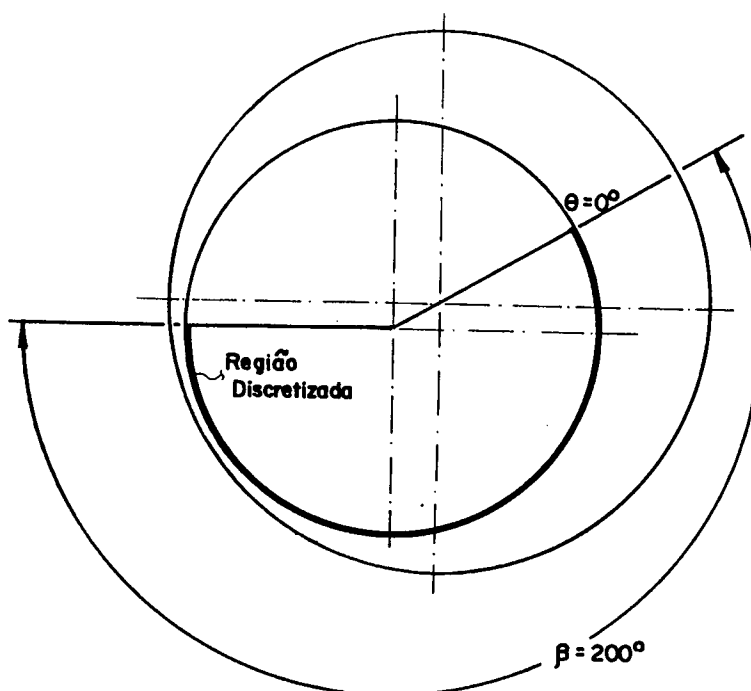


Fig. 5.29 - Ângulo considerado na discretização do problema

Esta escolha se justifica, pois a partir de um ângulo de aproximadamente 180° a variação da capacidade de carga calculada é mínima, observação esta também confirmada por Pinkus [5].

Isto se deve ao fato de que, para um ângulo pouco superior a 180° , o perfil de pressão tende a valores negativos. Mas, como as condições de contorno adotadas na construção do programa desprezam tais valores, não teria sentido estender-se a região discretizada.

Considerou-se ainda que a pressão nas bordas do mancal e nos limites da região discretizada é nula.

A Figura 5.30 mostra a malha adotada, contendo 96 elementos e 65 nós.

Da listagem de respostas, Apêndice X, pode-se obter o valor da capacidade de carga e posição de atuação da mesma.

Estes valores estão apresentados na Tabela 5.4, onde são comparados com valores obtidos por Pinkus [5], utilizando o número de Sommerfeld.

5.4 COMPARATIVO ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS POR PINKUS [5] E DO PROGRAMA PARA O PROBLEMA 5.6		
	CAPACIDADE DE CARGA	ÂNGULO DE ATUAÇÃO
PINKUS [5]	kgf 59,0	Grus 68
PROGRAMA MANCAIS	56,8	68
DIFERENÇA (%)	3,7	—

A pequena diferença existente entre os resultados obtidos pelo programa e utilizando a referência [5] se deve principalmente às diferentes condições de contorno adotadas.

Enquanto o programa utiliza a alternativa "2" desenvolvida no Capítulo IV deste trabalho, o autor utiliza a alternativa "3". Entretanto, a diferença de resultados é tão pequena que pode, para efeito prático, ser desconsiderada.

A Figura 5.31 mostra o perfil de pressão na seção central do mancal, comprovando as condições de contorno adotadas na solução do problema, já a Figura 5.32 mostra o perfil de pressão em toda a região discretizada.

A Figura 5.33 e 5.34 mostram as variações da capacidade de carga e ângulo de atuação da mesma em função do ângulo considerado na discretização, confirmando que a variação deste ângulo na faixa de 180° não afeta, significativamente, os valores obtidos.

NE = 96 elementos
 NN = 65 nós
 NNPE = 21 nós

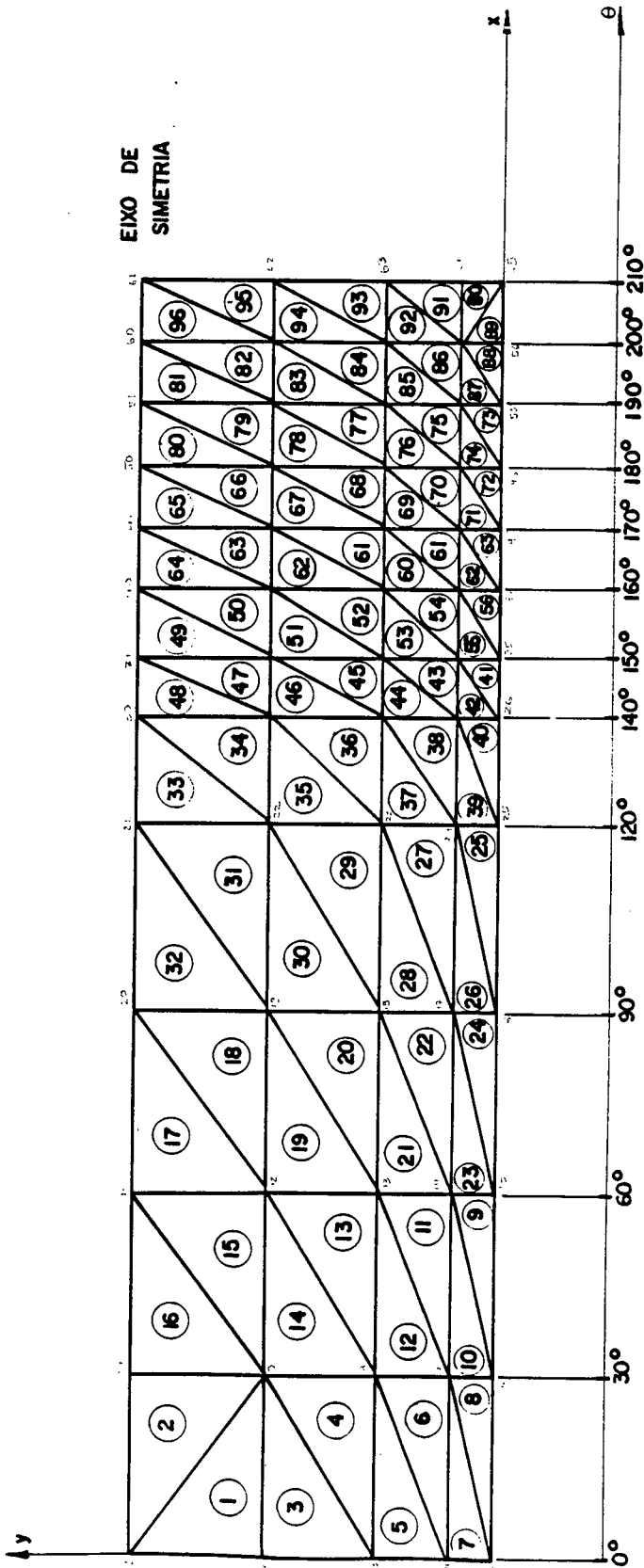


Fig. 5-30 — Malha adotada na simulação do problema 5.6.

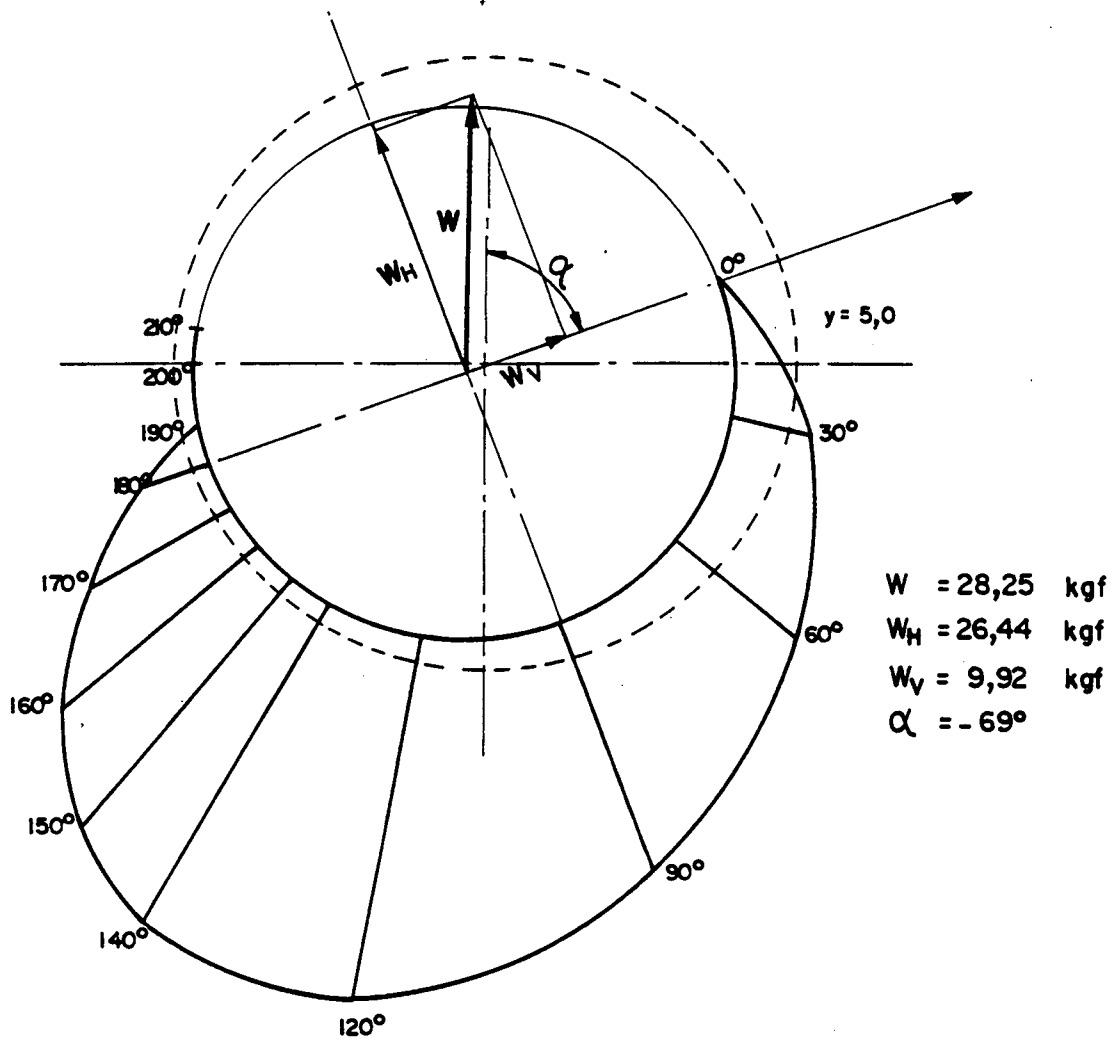


Fig. 5-31—Perfil de pressão na região central do mancal.

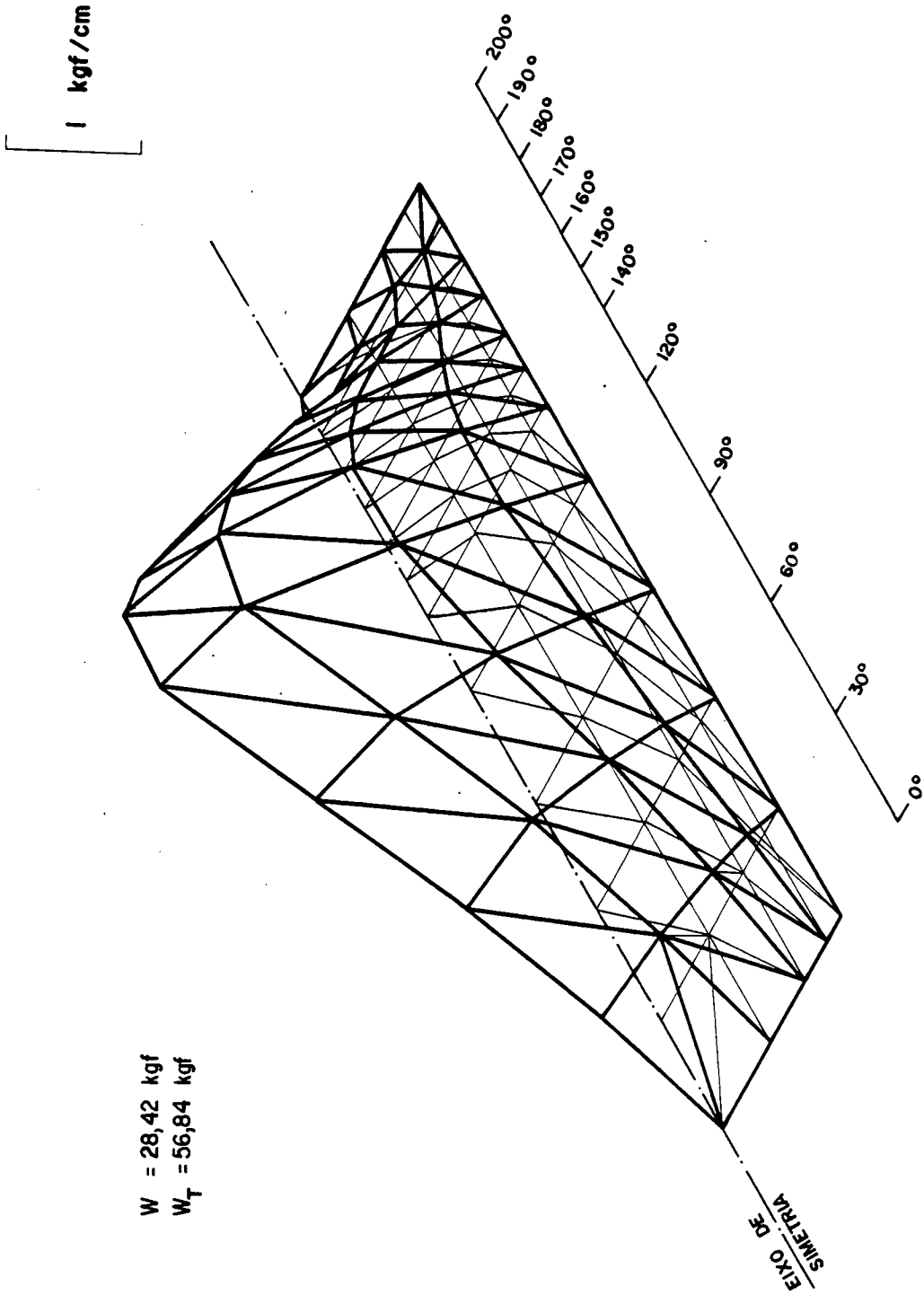


Fig. 5-32 — Perfil de pressão obtido pelo programa "MANCAIS" para o problema 5.6.

Fig 5.33— Variacao de $W \times \text{Beta}$
(problema 5.6)

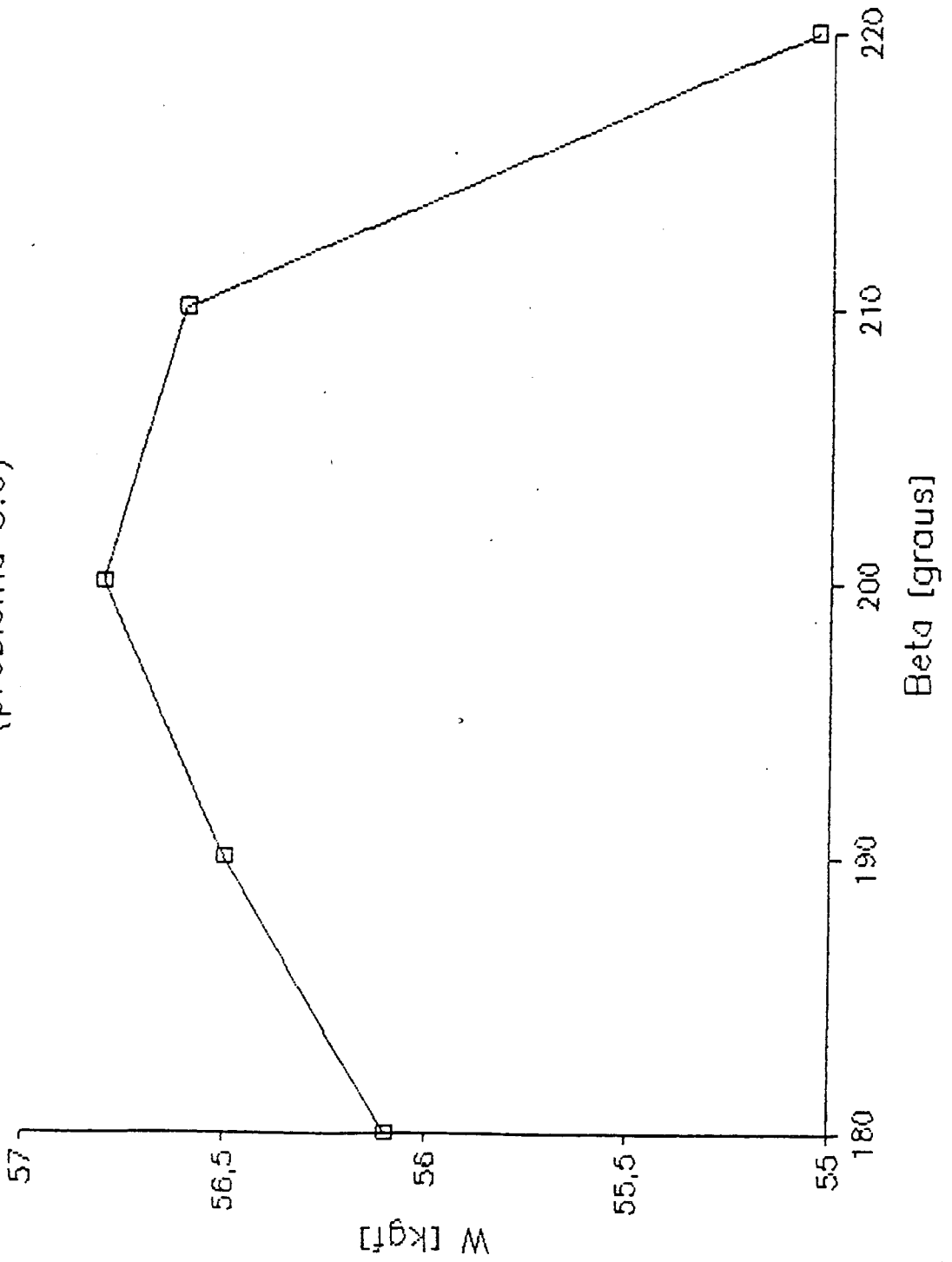
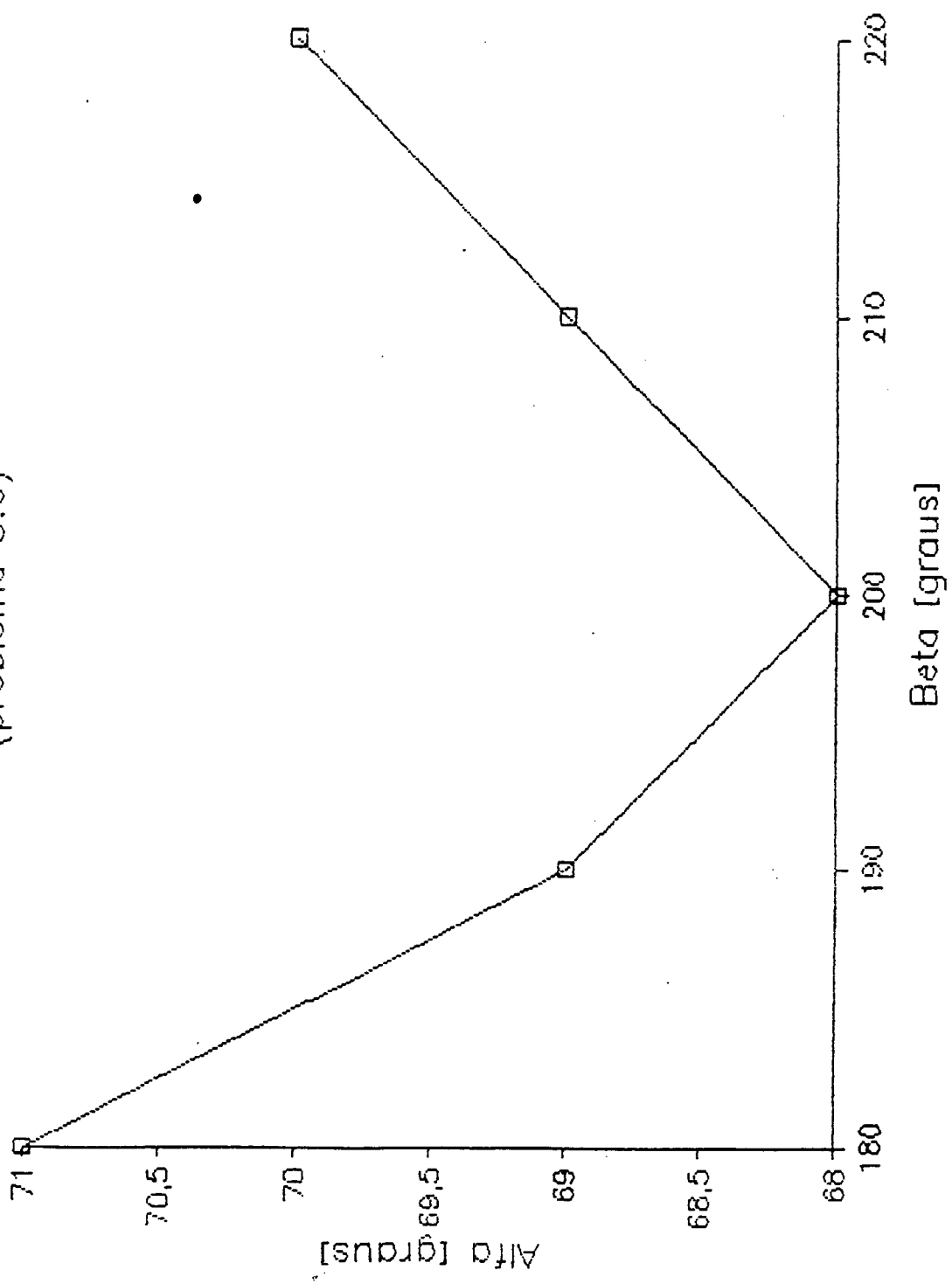


Fig 5.34-- Variacao de Alfa x Beta
(problema 5.6)



C A P Í T U L O V I

CONCLUSÕES

Pode-se constatar através do presente trabalho que:

- . O método de elementos finitos é uma ferramenta bastante poderosa na análise dos problemas da lubrificação hidrostática e hidrodinâmica, simulando de forma bastante satisfatória este tipo de elemento de máquina.
- . Apesar da ênfase dada ao estudo da lubrificação abordada sob um aspecto isotérmico, foi indicado que o método também pode vir a ser estendido à lubrificação termodinâmica, levando-se em conta a variação da viscosidade no interior do filme lubrificante.
- . O programa **MANCAIS** nesta primeira versão mostra como implementar a aplicação do M.E.F. ao fenômeno da lubrificação. Entretanto, modificações e implementações podem ser feitas ao mesmo visando um aumento de seu potencial de aplicação, bem como uma melhora de sua eficiência computacional.
- . O usuário do programa deve refinar com mais intensidade as regiões onde o gradiente de pressão é maior, ou seja, nas regiões onde haja variação acentuada de altura de película lubrificante.
- . A partir de um certo grau de refinamento da malha, o

ganho de precisão obtido não justifica discretizações mais acentuadas da mesma.

- . A maior dificuldade no uso do programa está na manipulação excessiva de dados, o que provoca uma demanda razoável de tempo na preparação dos mesmos. Uma solução para este problema seria o acoplamento de um programa gerador de malha e um programa de auxílio ao desenho.
- . Apesar dos bons resultados obtidos no **Capítulo V** com as malhas apresentadas, um bom procedimento na discretização do filme é evitar a ocorrência do fenômeno da anisotropia numérica, originada quando a orientação dos elementos é constante, como mostra a Figura 7.1.

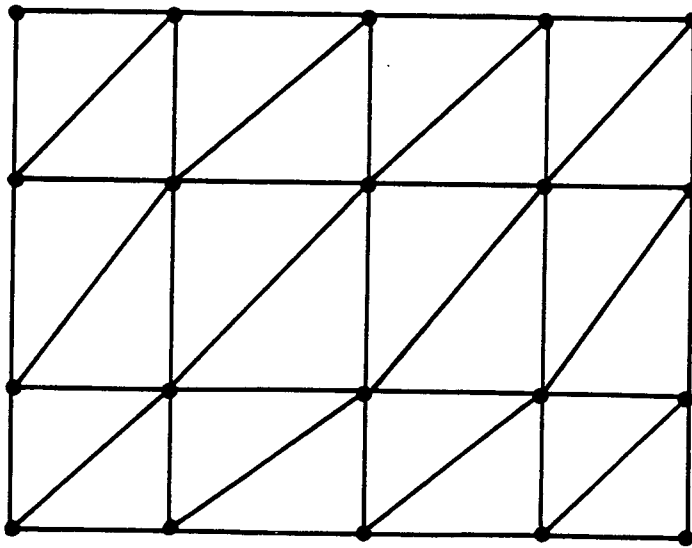


Fig. 7.1 - Malha com problema de anisotropia numérica

Já a malha da Figura 7.2 não apresenta tal problema

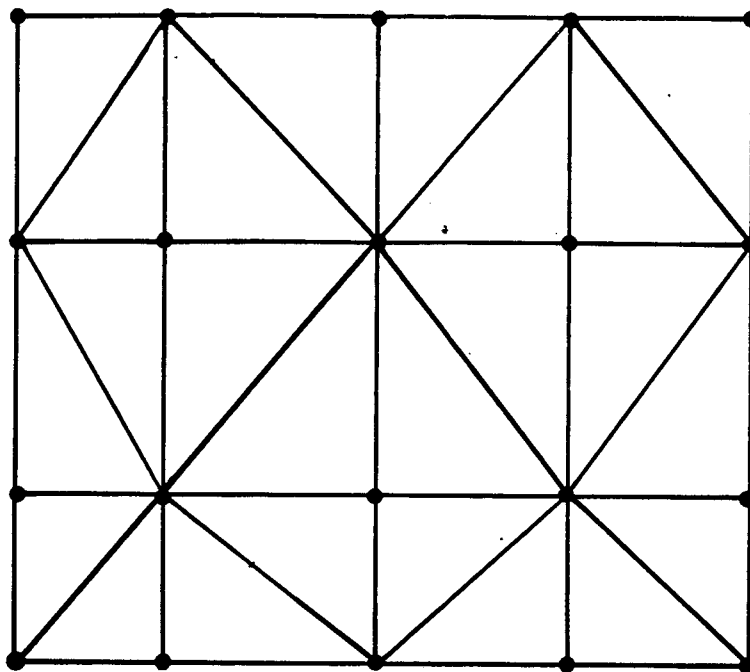


Fig. 7.2 - Malha sem problema de anisotropia numérica

- . No caso de mancais radiais plenos a maior dificuldade está na definição dos contornos, pois, apesar dos bons resultados apresentados no **Capítulo V**, a abordagem do problema de fronteira livre deve ser melhor estudada.
- . Os resultados obtidos através do programa **MANCAIS** são bastante incentivadores, justificando assim a continuação deste trabalho, seja através de um aprimoramento do programa adaptando-o à microcomputação, seja através de novas dissertações abordando esta área de aplicação do método.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**1. REYNOLDS, O.**

"On the Theory of Lubrication and As Application to Mr. Beauchamp Tower's Experiments-Including an Experimental Determination of the viscosity of olive oil".
Phil-Trans. Vol. 177(i), 1886 p. 157.

2. CHUNG, T. J.

"Finite Element Analyses in Fluid Dynamics".
McGraw-Hill Inc., 1978.

3. HUEBNER, K. H.

"The Finite Element Method for Engineers".
John Wiley & Sons. Inc., 1975.

4. DOWSON, D.

"A Generalized Reynolds Equation for Fluid-film Lubrication".
Int. J. Mech, Sei. Pergamon Press LTD, Vol. 4, p. 159-176.

5. PINKUS & STERNLIGHT

"Theory of Hidrodynamic Lubrication".
McGraw-Hill, 1961.

6. McCALLIAN, H.; YOUSIF, F. and LOYD, T.

"The analysis of thermal effects in a Full Journal Bearing".
Transaction of the ASME, 1970, pag. 578.

7. RAIMONDI, A. & BOYD, J.

"A Solution for Finite Journal Bearing and its Application to Analyses and Design".
Transaction of ASLE, April 1956, 159-209.

8. CAMERON, A.

"Principles of Lubrication".
Longmans Green and Co. LTD, 1966.

9. HUEBNER, K. H.

"Application of Finite Element Methods to Thermohydrodynamic Lubrication".

International Journal for Numerical Methods in Engineering Vol.8, 1974, p. 139-165.

10. BOOKER, J. F. & HUEBNER, K. H.

"Application of Finite Element Methods to Lubrication: An Engineering Approach".

Transaction of the ASME, october 1972, p. 313-323.

11. TIEU, A. K.

"Oil-Film Temperature Distribution in a Infinitely Wide Slider Bearing An Application of the Finite Element Method".

Journal Mechanical Engineering Science, Vol. 15, N° 4, 1973, p. 311-320.

12. REDDI, M. M.

"Finite Element Solution of the Incompressible Lubrication Problem".

Transaction of the ASME, july 1969, p. 524-533.

13. REDDI, M. M. & CHU, T. Y.

"Finite Element Solution of the Steady-State Compressible lubrication Problem".

Transaction of the ASME, July 1970, p. 495-503.

14. ALLAN, T.

"The Application of Finite Element Analysis to Hydrodynamic on Externally Pressurised Pocket Bearings".

Wear. 19 (1972), p. 169-206.

15. HUEBNER, K..H.

"A three-dimensional thermohydrodynamic analysis of Setor thrust bearings".

Transaction of the ASLE 1973.

16. **FERRAZ, D. P.**
"Método de Simulação de Mancais Hidrodinâmicos de Sapatas Pivotadas".
Dissertação de Mestrado, UFSC, 1980.
17. **STERNLICHT, B. & MAGINNIS, F. J.**
"Application of Digital Computers to Bearing Design".
Transaction of the ASME, october 1957, p. 1483-1494.
18. **OH, K. P. & HUEBNER, K. H.**
"Solution of Elastohydrodynamic Finite Journal Bearing Problem".
Transactions of the ASME, july 1973, p. 342-352.
19. **GUNTER, E. J., NICHOLAS, J. C. & ALLAIRE, P. E.**
"Systems of Finite Elements for Finite Bearings".
Transaction of the ASME, April 1971, p. 187-196.
20. **BOOKER, J. F. & EIDELBERG, B. E.**
"Application of Finite Element Methods to Lubrication: Squeeze Films Between Parous Surfaces".
Transactions of the ASME, January 1976, p. 175-180.
21. **CARL, T. E.**
"The Experimental Investigation of a Cylindrical Journal Bearing Under Constant and Sinusoidal Loading".
Proceedings, 2nd Conviction on Lubrication and Wear
Institution of Mechanical Engineers, Paper 19, 1964, p. 100.
22. **OCONNOR & BOYD**
"Standard Handbook of Lubrication Engineering".
McGraw-Hill, 1968.
23. **ENGEL, G. I.**
"Estrutura e Redação de dissertação e Tese".
Edição Autor/SCD-Ac, 1982.

24. BACK, N.

"Teoria da Lubrificação"

U.F.S.C. 1975.

25. FULLER, D. D.

"Theory and Practice of Lubrication for Engineers"

Wiley, London, 1956, p. 166.

A P Ê N D I C E I

A - FORMA GERAL DA EQUAÇÃO DE CONSERVAÇÃO DA MASSA:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \cdot u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho \cdot v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho \cdot w)}{\partial z} = 0 \quad (\text{A.1.1})$$

B - FORMA GERAL DAS EQUAÇÕES DAS QUANTIDADES DE MOVIMENTOS
(EQUAÇÕES DE NAVIER-STOKES):

Considerando um volume diferencial de fluido, fazendo-se um balanço das forças atuando na partícula (volume diferencial) resultam as seguintes equações:

$$\rho \frac{DU}{Dt} = \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \rho \cdot B_x + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z}$$

$$\rho \frac{DV}{Dt} = \rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \rho \cdot B_y + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \quad (\text{A.1.2})$$

$$\rho \frac{DW}{Dt} = \rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = \rho \cdot B_z + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z}$$

onde B_x, B_y, B_z , são os componentes da força de corpo por unidade de volume.

A P Ê N D I C E I I

FORMA GERAL DA EQUAÇÃO DA ENERGIA

$$\rho c_b \frac{DT}{Dt} + \rho V \cdot V + \nabla \cdot q_r - \frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{K \partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{K \partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{K \partial T}{\partial z} \right) + \mu \bar{\phi}(x, y, z, t) \quad (\text{A.2.1})$$

- Onde:
- c_b = calor específico a volume constante
 - K = condutividade térmica
 - T = temperatura
 - q_r = fluxo do calor de radiação
 - Q = calor gerado internamente
 - $V = u\hat{i} + v\hat{j} + w\hat{k}$
- e
- $\bar{\phi}$ = função dissipação viscosa

Onde:

$$\begin{aligned} \bar{\phi} = & \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \\ & + 2 \left(\frac{\partial u}{\partial y} \cdot \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial z} \cdot \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial x} \cdot \frac{\partial u}{\partial z} \right) \\ & + \frac{4}{3} \left[\frac{\partial u}{\partial x} \left(\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial v}{\partial y} \left(\frac{\partial v}{\partial y} - \frac{\partial w}{\partial z} \right) + \frac{\partial w}{\partial z} \left(\frac{\partial w}{\partial z} - \frac{\partial u}{\partial x} \right) \right] \end{aligned}$$

A P Ê N D I C E I I I

Processo de superposição das matrizes dos elementos para formar a matriz do sistema:

1. Estabelecer uma matriz nxn , nula para matriz de fluidez $[K]$, e um vetor $(nx1)$, nulo para os fluxos, onde n é o número total de elementos.
2. Iniciar com o primeiro elemento e transformar as equações dos elementos do sistema de coordenadas local para o sistema global, caso estes dois sistemas não sejam coincidentes.
3. Usando a correspondência entre a numeração local e global, topologia, substituir a indexação local pela global, tanto na matriz de fluidez $[K]$ como no vetor de fluxo $\{F\}$.
4. Inserir os termos das matrizes do elemento nos correspondentes locais nas matrizes nulas estabelecidas no item 1.
5. Retornar ao passo 2 repetindo o procedimento, elemento por elemento, até que todos os elementos sejam adicionados nas posições onde mais de um elemento possui termos. Os termos oriundos de cada elemento devem ser somados, o resultado deste processo de união é uma matriz de fluidez $[K]nxn$ e um de fluxos $\{F\}nx1$.

A P Ê N D I C E I V

TEOREMA DE GREEN-GAUSS

O teorema de Green-Gauss afirma que:

$$\iint_S \mathbf{V} \cdot \hat{\mathbf{n}} ds = \iiint_D \nabla \cdot \mathbf{V} dD \quad (\text{A.4.1})$$

onde: \mathbf{V} . é um vetor representando fluxo, velocidade, etc.

\mathbf{n} . é um vetor normal à superfície S

ds . área infinitesimal

dD . volume infinitesimal

Substituindo-se $\mathbf{V} = V_{(i)} \cdot \mathbf{i}_{(i)}$ e $\mathbf{n} = n_{(i)} \cdot \mathbf{i}_{(i)}$ em (A.4.1), tem-se que:

$$\iint_S V_i \cdot n_i \cdot ds = \iiint_D \nabla_i \cdot V_i \cdot dD \quad (\text{A.4.2})$$

onde a vírgula na equação (A.4.2) representa derivação.

Se o vetor é multiplicado por um escalar α , tem-se que

$$\iint_S \alpha \cdot \mathbf{V} \cdot \mathbf{n} ds = \iiint_D \nabla \cdot (\alpha \mathbf{V}) dD = \iiint_D \alpha \nabla \cdot \mathbf{V} dD + \iiint_D \mathbf{V} \cdot \nabla \alpha dD \quad (\text{A.4.3})$$

ou

$$\int_S \alpha V_i n_i ds = \int_D (\alpha V_i)_{,i} dD = \int_D \alpha V_{i,i} dD + \int_D V_i \alpha_{,i} dD \quad (\text{A.4.4})$$

finalmente:

$$\int_D \alpha V_{i,i} dD = \int_S \alpha V_i n_i ds - \int_D V_i \alpha_{,i} dD \quad (\text{A.4.5})$$

A P Ê N D I C E V

TOPOLOGIA DO SISTEMA

Quando se discretiza o contínuo, que no caso da equação de Reynolds (3-32) é a película do lubrificante, divide-se o mesmo em sub-domínios ou elementos.

Estes elementos, por sua vez, possuem pontos característicos, denominados nós.

Todas as considerações a respeito dos nós podem ser feitas levando-se em consideração dois sistemas de indexação distintos, que são: sistema de indexação local e sistema de indexação global.

O sistema de indexação local varia de 1 até o número de nós do elemento, que no caso do elemento triângulo-linear A.5.1, varia de 1 à 3.

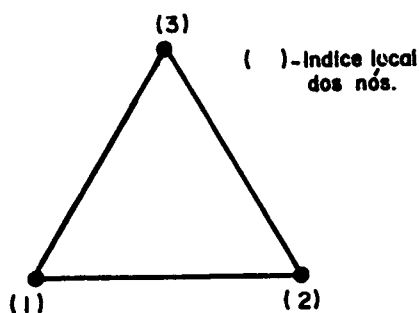


Fig. A.5.1 - Sistema de Indexação Local de Nós

Já no sistema de indexação global os índices dos nós podem variar de 1 até o número de nós total do sistema. A Figura A.5.2 mostra um contínuo dividido em 8 elementos, possuindo ao todo 9 nós, mostrando sua indexação global.

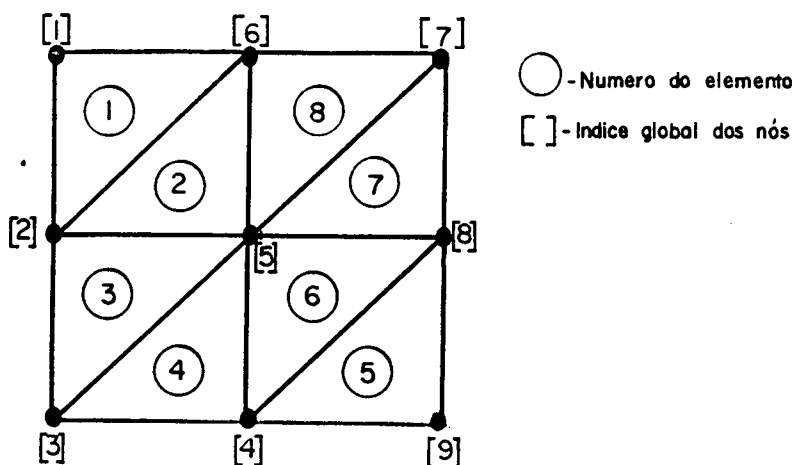


Fig. A.5.2 - Exemplo de um Sistema de Indexação Global de Nós

Para cada nó do sistema existe um índice local e um índice global, por exemplo, o elemento 6 da figura A.5.2 está definido globalmente pelos índices 4, 5 e 8 e localmente pelos índices 1, 2 e 3. A correspondência entre a indexação global e local de cada elemento chama-se de "Topologia do Sistema".

Superpondo-se a indexação local e global para o exemplo da figura A.5.2 tem-se a figura A.5.3 que define completamente a Topologia do Sistema.

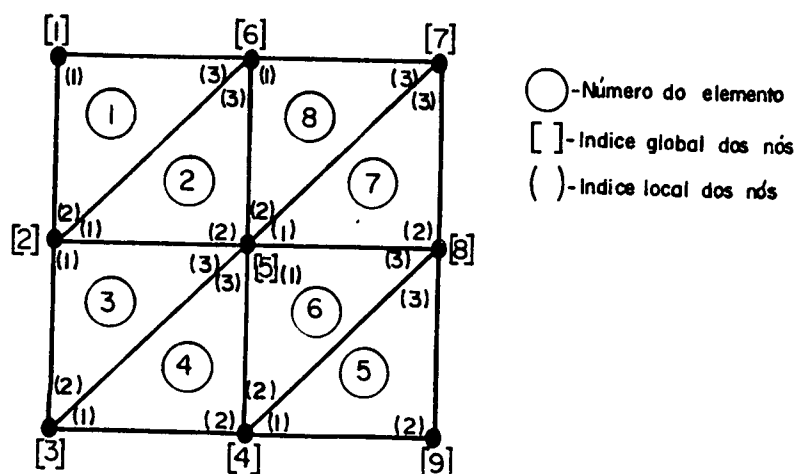


Fig. A.5.3 - Superposição de Indexação Local e Global (Topologia)

A Figura A.5.3 pode ser resumida na Tabela A.5.1, abaixo:

A.5.1		TOPOLOGIA DO SISTEMA			
Elemento	Indice local	Indice global	Elemento	Indice local	Indice global
1	1 2 3	1 2 6	5	1 2 3	4 9 8
2	1 2 3	2 5 6	6	1 2 3	5 4 8
3	1 2 3	2 3 5	7	1 2 3	5 8 7
4	1 2 3	3 4 5	8	1 2 3	6 5 7

A topologia deve ser definida para que se possa estabelecer a interdependência entre os elementos do sistema.

A P Ê N D I C E V I

FUNÇÕES DE INTERPOLAÇÃO E INTEGRAIS CARACTERÍSTICAS
(ELEMENTO TRIÂNGULO-LINEAR)

Pode-se usar para o desenvolvimento das funções de interpolação do elemento triângulo-linear o conceito de "coordenadas naturais".

As coordenadas naturais L_1 , L_2 , L_3 , de um ponto qualquer no interior de um elemento triângulo-linear, figura A.6.1, são tais que, as coordenadas cartesianas deste ponto podem ser linearmente relacionadas com este novo sistema de coordenadas pelas seguintes equações:

$$x = L_1 x_1 + L_2 x_2 + L_3 x_3$$

(A.6.1)

$$y = L_1 y_1 + L_2 y_2 + L_3 y_3$$

e as coordenadas L_1 , L_2 , L_3 devem, ainda, obedecer a seguinte relação

$$L_1 + L_2 + L_3 = 1$$

(A.6.2)

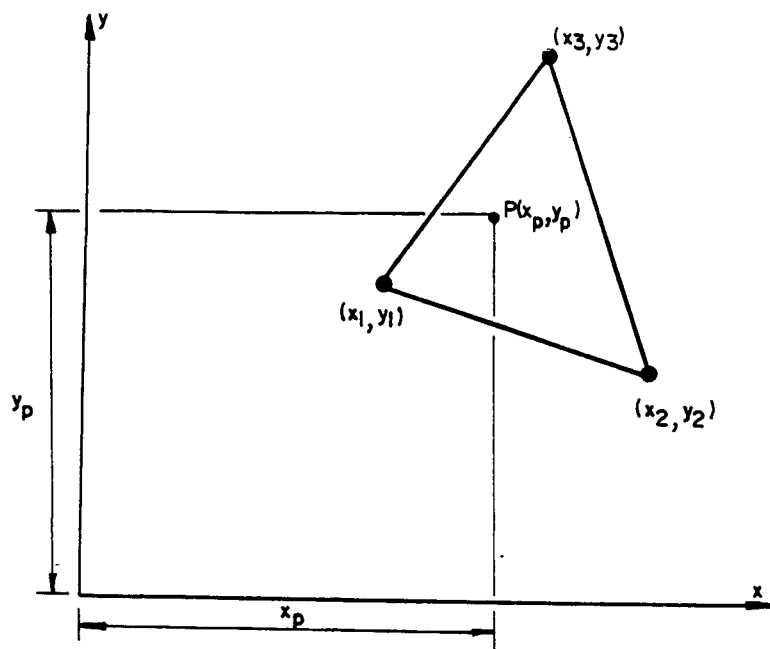


Fig. A.6.1 - Ponto qualquer $P(x, y)$ no interior de um elemento triângulo-linear

Pode-se notar pela equação A.6.2 que somente duas coordenadas são linearmente independentes, assim como no sistema cartesiano original.

Isolando os termos L_1, L_2, L_3 das equações A.6.1 e A.6.2 tem-se que:

$$L_1 = \frac{1}{2A} \cdot (a_1 + b_1x + c_1y)$$

$$L_2 = \frac{1}{2A} \cdot (a_2 + b_2x + c_2y)$$

$$L_3 = \frac{1}{2A} \cdot (a_3 + b_3x + c_3y)$$

(A.6.3)

onde :

$$A = \begin{vmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{vmatrix} = \text{área do elemento triangular}$$

e

$$\begin{aligned} a_1 &= x_2 y_3 - x_3 y_2 & b_1 &= y_2 - y_3 & c_1 &= x_3 - x_2 \\ a_2 &= x_3 y_1 - x_1 y_3 & b_2 &= y_3 - y_1 & c_2 &= x_1 - x_3 \\ a_3 &= x_1 y_2 - x_2 y_1 & b_3 &= y_1 - y_2 & c_3 &= x_2 - x_1 \end{aligned}$$

As coordenadas naturais L_1 , L_2 , L_3 , são funções de interpolação do elemento considerado, pois no nó 1 tem-se que $L_2=0$, $L_3=0$ e $L_1=1$; no nó 2 tem-se que $L_1=0$, $L_3=0$ e $L_2=1$ e no nó 3 $L_1=0$, $L_2=0$ e $L_3=1$.

Interpretando-se uma função ϕ , como função L_1 , L_2 e L_3 , ao invés de x , y , a diferenciação desta função é tal que:

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{\partial \phi}{\partial L_1} \frac{\partial L_1}{\partial x} + \frac{\partial \phi}{\partial L_2} \frac{\partial L_2}{\partial x} + \frac{\partial \phi}{\partial L_3} \frac{\partial L_3}{\partial x} \quad (\text{A.6.4})$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial y} = \frac{\partial \phi}{\partial L_1} \frac{\partial L_1}{\partial y} + \frac{\partial \phi}{\partial L_2} \frac{\partial L_2}{\partial y} + \frac{\partial \phi}{\partial L_3} \frac{\partial L_3}{\partial y}$$

onde,

$$\frac{\partial L_i}{\partial x} = \frac{b_i}{2A} \quad \text{e} \quad \frac{\partial L_i}{\partial y} = \frac{c_i}{2A} \quad i = 1, 2, 3 \quad (\text{A.6.5})$$

Há também uma fórmula bastante conveniente para integração das coordenadas de área sobre o domínio do elemento triângulo-linear, que é:

$$\int_A L_1^{(\alpha)} \cdot L_2^{(\beta)} \cdot L_3^{(\delta)} \cdot dA = \frac{\alpha! \cdot \beta! \cdot \delta! \cdot 2A}{(\alpha + \beta + \delta + 2)!} \quad (\text{A.6.6})$$

que pode ser colocada na forma da tabela A.6.1

A.6.1					
$\frac{1}{A} \cdot \int_A L_1^{(\alpha)} \cdot L_2^{(\beta)} \cdot L_3^{(\delta)} \cdot dA = \frac{A_*}{B_*}$					
$\alpha + \beta + \delta$	α	β	δ	A_*	B_*
0	0	0	0	1	1
1	1	0	0	1	3
2	2	0	0	2	12
2	1	1	0	1	12
3	3	0	0	6	60
3	2	1	0	2	60
3	1	1	1	1	60
4	4	0	0	12	180
4	3	1	0	3	180
4	2	2	0	2	180
4	2	1	1	1	180
5	5	0	0	60	1260
5	4	1	0	12	1260
5	3	2	0	6	1260
5	3	1	1	3	1260
5	2	2	1	2	1260

Uma das grandes vantagens do uso do elemento triângulo-linear na discretização dos domínios é exatamente devida ao fato de não haver necessidade do uso de métodos numéricos para cálculo das integrais, que aparecem no cálculo das matrizes de Fluidez dos elementos.

Como desvantagens, o elemento triângulo-linear faz com que a malha utilizada possua um refinamento muito grande, quando comparado com um elemento de maior grau, para a mesma precisão; como consequência disso a manipulação de dados é muito maior, possibilitando uma maior ocorrência de erros, por parte do usuário.

A P Ê N D I C E V I I

INTRODUÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONTORNO

Após o processo de obtenção da matriz de fluidez dos elementos e sua superposição, para a obtenção de matrizes de fluidez globais do sistema, a equação resultante toma a seguinte forma:

$$[K]^{nn.nn} \cdot \{P\}^m = \{Q\}^m \quad (A.7.1)$$

onde

- $[K]^{nn.nn}$. Matriz de Fluidez do Sistema
- $\{P\}^m$. Vetor das Pressões nos nós do Sistema
- $\{Q\}^m$. Vetor dos Fluxos dos dois Sistemas

A matriz $[K]^{nn.nn}$ obtida é uma matriz do tipo banda, simétrica e "singular". Para se eliminar esta singularidade se faz necessária a introdução das condições de contorno de pressão e fluxo.

Um meio de modificar a equação A.7.1, de maneira a introduzir estas condições, pode ser efetuado modificando alguns termos da diagonal da matriz $[K]^{nn.nn}$ e do vetor $\{Q\}^m$, método este sugerido por Payne e Irons [3].

Para um entendimento mais fácil do método, será considerado o número total de nós da malha igual a 5, logo a equação A.7.1 assume a seguinte forma:

$$\begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & K_{14} & K_{15} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & K_{24} & K_{25} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} & K_{34} & K_{35} \\ K_{41} & K_{42} & K_{43} & K_{44} & K_{45} \\ K_{51} & K_{52} & K_{53} & K_{54} & K_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \end{bmatrix} \quad (A.7.2)$$

Considerou-se ainda que as pressões nos nós 1 e 3 são conhecidas, assim:

$$P_1 = P_1^* \quad \text{e} \quad P_3 = P_3^* \quad (\text{A.7.3})$$

De acordo com o método, os elementos da diagonal da matriz $[K]$, associados com as pressões nodais especificadas (1 e 3), devem ser multiplicados por um número bastante grande, por exemplo 1×10^{15} , e mais, os termos associados do vetor $\{Q\}$ devem ser substituídos pelo produto da pressão especificada, por K_{ii} associado e o mesmo número bastante grande escolhido, assim, a equação A.7.2 para as condições de contorno A.7.3 fica:

$$\begin{bmatrix} K_{11} \cdot 10^{15} & K_{12} & K_{13} & K_{14} & K_{15} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & K_{24} & K_{25} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \cdot 10^{15} & K_{34} & K_{35} \\ K_{41} & K_{42} & K_{43} & K_{44} & K_{45} \\ K_{51} & K_{52} & K_{53} & K_{54} & K_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_1^* \cdot K_{11} \cdot 10^{15} \\ Q_2 \\ P_3^* \cdot K_{33} \cdot 10^{15} \\ Q_4 \\ Q_5 \end{bmatrix} \quad (\text{A.7.4})$$

Para provar que este procedimento dá os resultados esperados considera-se a primeira equação:

$$K_{11} \cdot 10^{15} \cdot P_1 + K_{12} \cdot P_2 + K_{13} \cdot P_3 + K_{14} \cdot P_4 = P_1^* \cdot K_{11} \cdot 10^{15} \quad (\text{A.7.5})$$

como $K_{11} \cdot 10^{15} \gg K_{ij}$ para $j = 2, 3, 4$, logo para todos os propósitos práticos tem-se que:

$$P_1 = P_1^* \quad (\text{A.7.6})$$

confirmando a condição imposta em A.7.3.

Através do sistema modificado A.7.4 obtêm-se as pressões des conhecidas. Para o cálculo dos fluxos deve-se voltar às equações o riginais A.7.1.

O método descrito acima, apesar de não ser o único, traz bons resultados, e é facilmente implementado em um programa computacional e por isso foi o escolhido para a introdução das condi ções de contorno no programa "Mancais", apesar de trazer embutido uma pequena imprecisão.

APÊNDICE-VIII

```

*****MAN
*                M A N C A I S                VERSAO 1.0 *MAN
*****MAN
*
*   PROGRAMA PARA SIMULAÇÃO DE MANCAIS HIDROSTÁTICOS E HIDRODINÂMICOS *MAN
*
*           ATRAVÉS DO METODO DE ELEMENTOS FINITOS *MAN
*
*   ELABORADO POR : SÉRGIO LUIZ SABEDOTTI *MAN
*
*****MAN
* OBJETIVO: *MAN
*
*   ESTUDO DA LUBRIFICAÇÃO COM FLUIDOS CONSIDERADOS INCOMPRESSÍVEIS *MAN
*
*   TRATADA SOBRE UM ASPECTO ISOTÉRMICO ATRAVÉS DO M.E.F *MAN
*
*****MAN
*
*   ELEMENTO UTILIZADO: ELEMENTO TRIANGULO-LINEAR *MAN
*
*****MAN
*
*   LISTA DAS PRINCIPAIS VARIÁVEIS DE ENTRADA *MAN
*
*****MAN
*
*   TCASO > *MAN
*   ICASO > *MAN
*   SCASO > *MAN
*   ACASO > *MAN
*   XCASO > VARIÁVEIS DE DEFINIÇÃO DO TIPO DE PROBLEMA *MAN
*   YCASO > *MAN
*   BCASO > *MAN
*   HCASO > *MAN
*   VCASO > *MAN
*
*
*   NE - NUMERO DE ELEMENTOS DO SISTEMA *MAN
*   NN - NUMERO DE NOS DO SISTEMA *MAN
*   NNPE - NUMERO DE NOS ONDE A PRESSAO E ESPECIFICADA *MAN
*   MI - VISCOSIDADE DO LUBRIFICANTE *MAN
*   XG - COORDENADA NA DIREÇÃO X DO NO CONSIDERADO *MAN
*   YG - COORDENADA NA DIREÇÃO Y DO NO CONSIDERADO *MAN
*   NP - NO ONDE A PRESSÃO E CONHECIDA *MAN
*   PNP - PRESSAO CONHECIDA NO NO NP *MAN
*   NF - NO ONDE O FLUXO E CONHECIDO *MAN
*   FNF - FLUXO CONHECIDO NO NO NF *MAN
*   NO(I,J) - NO J DO ELEMENTO I *MAN
*   H(I) - ALTURA DO FILME PARA O NO I *MAN
*   HE(I) - ALTURA DO FILME PARA O ELEMENTO I *MAN
*   UX(I) - VELOCIDADE NA DIREÇÃO X (NO I) *MAN
*   UY(I) - VELOCIDADE NA DIREÇÃO X (NO I) *MAN
*   BX(I) - FORÇA DE CORPO NA DIREÇÃO X (NO I) ! AÇÕES *MAN

```

```

* BY(I) - FORÇA DE CORPO NA DIREÇÃO Y (NO I) ! NODAIS *MAN
* HP(I) - ESMAGAMENTO DO FILME FLUIDO (NO I) ! *MAN
* VD(I) - VELOCIDADE DE DIFUSÃO DO FLUXO (NO I) !_! *MAN

```

```

*****MAN

```

PARA MANCAIS HIDRODINAMICOS COM SAPATAS AFUSELADAS

```

*****MAN
* H0 - ALTURA MINIMA DO FILME *MAN
* H1 - ALTURA MAXIMA DO FILME *MAN
* B1 - COMPRIMENTO DA REGIÃO AFUSELADA *MAN
* BT - COMPRIMENTO TOTAL DA SAPATA *MAN

```

```

*****MAN

```

PARA MANCAIS RADIAIS

```

*****MAN
* R1 - RAI0 DO EIXO *MAN
* R2 - RAI0 DO MANCAL *MAN
* EX - EXCENTRICIDADE DO EIXO EM RELAÇÃO AO MANCAL *MAN
* NER - NUMERO DE NOS QUE ESTAO EM REBAIXOS *MAN
* NROT - ROTAÇÃO DO EIXO *MAN

```

```

*****MAN

```

PARA MANCAIS HIDROSTATICO CONTROLE DE PRESSÃO

```

*****MAN
* AB - AREA DA BOLSA *MAN
* PB - PRESSAO DE ALIMENTAÇÃO *MAN

```

```

*****MAN

```

PARA MANCAIS HIDROSTATICOS COM CONTROLE DE FLUXO

```

*****MAN
* NNBF - NUMERO DE NOS SITUADOS NA BOLSA DE LUBRIFICANTE *MAN
* AB - AREA DA BOLSA DE LUBRIFICANTE *MAN
* FAL - FLUXO CONHECIDO *MAN
* NOF - NO ONDE O FLUXO E CONHECIDO *MAN

```

```

*****MAN

```

PROGRAMA PRINCIPAL

```

*****MAN

```

```

COMMON /CASO/TCASO, ICASO, SCASO, ACASO, XCASO, YCASO, BCASO, HCASO, VCASO
COMMON /NUM/NE, NN, NNPE, NNFE, NER, NNBF
COMMON /S1/ XG, YG, HE, HR, R1, R2, EX, AB, BETA, MI, FAL, PB, NECR, NFE, NO, NPEMAN
COMMON /S2/ CARGA, CARGB, CARM, TCARGA, WH, WV, WT, XAP, YAP
COMMON /S3/ H, FE, P, NROT
COMMON /S4/ BX, BY, HP, UX, UY, VD, H0, H1, B1, BT
INTEGER TCASO, XCASO, YCASO, BCASO, HCASO, VCASO, SCASO, ACASO
REAL*4 MI, XAP, YAP, NROT
REAL*4 KP(3,3), KUX(3,3), KUY(3,3), KBX(3,3), KBY(3,3), KHP(3,3)
REAL*4 KVD(3,3), KPS(120,120), P(120), TCARGA, FT(120), FD(120)
REAL*4 H(120), FDUX(3), FDUY(3), FDBX(3), FDBY(3), FDHP(3), FDVD(3)

```



```

REAL*4 FTDA(3), HL(3), A(3), B(3), C(3), FE(120), FAS(120)
REAL*4 CARGA,CARGB,CARME,WH,WV,WT,KPS1(120,120)
DIMENSION NPE(120), NFE(120), NECR(120), HR(120), NOF(120)
DIMENSION UX(120), UY(120), BX(120), BY(120), HP(120), VD(120)
DIMENSION NO(120,3), HE(120), XG(120), YG(120), XCL(3), YCL(3), N(3)
***** LEITURA DOS DADOS *****
READ(1,1000)TCASO,ICASO,SCASO,ACASO,XCASO,YCASO,BCASO,HCASO,UCASO
READ(1,1009)NE,NN,NNPE
NNFE=NN-NNPE
DO 6666 III = 1,NN
FAS(III) = 0.
FD(III) = 0.
DO 6666 JIJ = 1,NN
6666 KPS(III,JIJ) = 0.
READ(1,1001)MI
READ(1,1002)(I,XG(I),YG(I),II=1,NN)
READ(1,1003)(I,NO(I,1),NO(I,2),NO(I,3),II=1,NE)
DO 1 I=1,NNPE
READ(1,1004)NP,PNP
NPE(I)=NP
1 P(NPE(I))=PNP
DO 2 I=1,NNFE
READ(1,1004)NF,FNF
NFE(I) = NF
2 FE(NFE(I))=FNF
IF(TCASO-1)3,4,3
4 READ(1,1005)R1,R2,EX,NER,NROT
IF(NER-1)5,6,6
6 READ(1,1006)(I,NECR(I),HR(NECR(I)),II=1,NER)
5 DO 3000 I=1,NN
UX(I)=6.283185*R1*NROT
3000 H(I)=R2-R1+EX*COS(XG(I)/R1)
IF(NER-1)3010,3050,3050
3050 DO 3010 I=1,NN
HER1=0
DO 3020 J=1,NER
3020 IF(I.EQ.NECR(J))HER1=HR(NECR(J))
H(I)=H(I)+HER1
3010 CONTINUE
GO TO 18
3 IF(ICASO-1)8,9,10
8 IF(SCASO-1)11,12,12
11 READ(1,1002)NNBF,AB,FAL
READ(1,1006)(I,NOF(I),II=1,NNBF)
GO TO 9
12 READ(1,1005)AB,PB
9 READ(1,1007)(K,HE(K),KK=1,NE)
GO TO 7
10 IF(ACASO-1)13,14,14
13 READ(1,1008)H0,H1,B1,BT
DO 15 I=1,NN
IF(XG(I)-B1)16,17,17
16 H(I)=H0+((B1-XG(I))*(H1-H0))/B1
GO TO 15
17 H(I)=H0

```

```

15 CONTINUE
   GO TO 7
14 READ(1,1007)(I,H(I),II=1,NN)
   7 IF(XCASO-1)18,19,19
19 READ(1,1004)(I,UX(I),II=1,NN)
18 IF(YCASO-1)20,21,21
21 READ(1,1004)(I,UY(I),II=1,NN)
20 IF(BCASO-1)22,23,23
23 READ(1,1002)(I,BX(I),BY(I),II=1,NN)
22 IF(HCASO-1)24,25,25
25 READ(1,1004)(I,HP(I),II=1,NN)
24 IF(VCASO-1) 26,27,27
27 READ(1,1004)(I,VD(I),II=1,NN)
***** IMPRIMIR DADOS DE ENTRADA *****
26 CALL ESCRED
***** CALCULO DAS MATRIZES DE FLUIDEZ *****
   DO 28 K=1,NE
   DO 29 I=1,3
   FDUX(I) = 0.
   FDUY(I) = 0.
   FDBX(I) = 0.
   FDBY(I) = 0.
   FDHP(I) = 0.
   FDVD(I) = 0.
   XCL(I)=XG(NO(K,I))
29 YCL(I)=YG(NO(K,I))
   IF(TCASO-1)30,36,30
30 IF(ICASO-1)35,35,36
35 CALL MAFLUA(XCL,YCL,HE(K),MI,KP,KUX,KUY,KBX,KBY,KHP,KVD)
   GO TO 37
36 DO 38 I=1,3
38 HL(I)=H(NO(K,I))
34 CALL MAFLUB(XCL,YCL,HL,MI,KP,KUX,KUY,KBX,KBY,KHP,KVD)
***** CALCULO DOS FLUXOS LOCAIS *****
   IF(TCASO-1)37,40,37
37 IF(XCASO-1)39,40,40
40 DO 41 I=1,3
41 UX(I)=UX(NO(K,I))
   DO 42 I=1,3
   DO 42 J=1,3
42 FDUX(I)=FDUX(I)+KUX(I,J)*UX(J)
39 IF(YCASO-1)43,44,44
44 DO 45 I=1,3
45 UY(I)=UY(NO(K,I))
   DO 46 I=1,3
   DO 46 J=1,3
46 FDUY(I)=FDUY(I)+KUY(I,J)*UY(J)
43 IF(BCASO-1)47,48,48
48 DO 49 I=1,3
   BX(I)=BX(NO(K,I))
49 BY(I)=BY(NO(K,I))
   DO 50 I=1,3
   DO 50 J=1,3
   FDBX(I)=FDBX(I)+KBX(I,J)*BX(J)
50 FDBY(I)=FDBY(I)+KBY(I,J)*BY(J)

```

```

47 IF(HCASO-1)51,52,52
52 DO 53 I=1,3
53 HP(I)=HP(NO(K,I))
   DO 54 I=1,3
   DO 54 J=1,3
54 FDHP(I)=FDHP(I)+KHP(I,J)*HP(J)
51 IF(VCASO-1)55,56,56
56 DO 57 I=1,3
57 VD(I)=VD(NO(K,I))
   DO 58 I=1,3
   DO 58 J=1,3
58 FDVD(I)=FDVD(I)+KVD(I,J)*VD(J)
55 DO 59 I=1,3
   FTDA(I)=FDUX(I)+FDUY(I)+FDBX(I)+FDBY(I)+FDHP(I)+FDVD(I)
59 N(I)=NO(K,I)
   DO 60 IL=1,3
   I=N(IL)
   FAS(I)=FAS(I)+FTDA(IL)
***** CALCULO DA MATRIZ DE FLUIDEZ GLOBAL *****
   DO 60 JL=1,3
   J=N(JL)
   KPS(I,J)=KPS(I,J)+KP(IL,JL)
60 KPS1(I,J)=KPS(I,J)
28 CONTINUE
***** ESTABELECIMENTO DAS CONDICÕES DE CONTORNO *****
   DO 61 I=1,NNPE
   KPS1(NPE(I),NPE(I))=KPS(NPE(I),NPE(I))*1E15
61 FT(NPE(I)) = P(NPE(I)) * KPS1(NPE(I),NPE(I))
   DO 62 I=1,NNFE
62 FT(NFE(I))=FE(NFE(I))-FAS(NFE(I))
***** RESOLUCAO DO SISTEMA DE EQUACOES PARA PRESSOES *****
   CALL RESOLV(NN,KPS1,FT,P)
***** CALCULO DOS FLUXOS GLOBAIS *****
   DO 64 I=1,NN
   DO 64 J=1,NN
64 FD(I)=FD(I)+KPS(I,J)*P(J)
   DO 65 I=1,NNPE
65 FE(NPE(I))=FD(NPE(I))+FAS(NPE(I))
***** CALCULO DAS CAPACIDADES DE CARGA *****
   IF(TCASO-1)66,67,67
66 IF(ICASO-1)68,69,69
68 CALL CARHI(XG,YG,NO,P,PB,AB,CARGA,CARGB,CARME,SCASO,NOF)
   GO TO 1111
69 CALL CARGAS(NE,NN,XG,YG,NO,P,TCARGA,XAP,YAP)
   GO TO 1111
67 CALL CARRAD(NE,NN,XG,YG,NO,P,WH,WV,WT,BETA,R1)
***** IMPRESSAO DOS RESULTADOS *****
1111 CALL ESCREV
1000 FORMAT(9I1)
1001 FORMAT(E10.3)
1002 FORMAT(I5,2F10.3)
1003 FORMAT(4I5)
1004 FORMAT(I5,F10.3)
1005 FORMAT(2F10.3,E10.3,I5,F10.3)
1006 FORMAT(2I5,E10.3)

```

1007 FORMAT(I5,E10.3)
1008 FORMAT(2E10.3,2F10.3)
1009 FORMAT(3I5)
END

MAN
MAN
MAN
MAN

```

*****
*   ESCRED - SUBROTINA PARA IMPRIMIR OS DADOS DE ENTRADA
*   DO PROBLEMA
*
*****
SUBROUTINE ESCRED
COMMON /CAS0/TCAS0, ICAS0, SCAS0, ACAS0, XCAS0, YCAS0, BCAS0, HCAS0, VCAS0
COMMON /NUM/NE, NN, NNPE, NNFE, NER, NNBF
COMMON /S1/ XG, YG, HE, HR, R1, R2, EX, AB, BETA, MI, FAL, PB, NECR, NFE, NO, NPE
COMMON /S3/ H, FE, P, NR0T
COMMON /S4/ BX, BY, HP, UX, UY, VD, H0, H1, B1, BT
INTEGER TCAS0, XCAS0, YCAS0, BCAS0, HCAS0, VCAS0, SCAS0, ACAS0
REAL*4 MI, NR0T
REAL*4 H(120), FE(120), P(120)
DIMENSION NPE(120), NFE(120), NECR(120), HR(120), NO(120,3)
DIMENSION XG(120), YG(120), BX(120), BY(120), UX(120), UY(120)
DIMENSION VD(120), HP(120), HE(120)
WRITE(2,2000)
IF(TCAS0-1)70,71,71
70 IF(ICAS0-1)72,73,74
72 IF(SCAS0-1)75,76,76
75 WRITE(2,2001)
GO TO 1112
76 WRITE(2,2002)
GO TO 1112
73 WRITE(2,2003)
GO TO 1112
74 IF(ACAS0-1)77,78,78
77 WRITE(2,2004)
GO TO 1112
78 WRITE(2,2005)
GO TO 1112
71 WRITE(2,2006)
1112 WRITE(2,2007)MI
WRITE(2,2008)NE, NN, NNPE, NNFE
WRITE(2,2009)
WRITE(2,2010)(II, XG(II), YG(II), II=1, NN)
WRITE(2,2011)
WRITE(2,2012)(II, NO(II,1), NO(II,2), NO(II,3), II=1, NE)
WRITE(2,2013)
WRITE(2,2014)(II, NPE(II), P(NPE(II)), II=1, NNPE)
WRITE(2,2015)
WRITE(2,2014)(II, NFE(II), FE(NFE(II)), II=1, NNFE)
IF(TCAS0 - 1)60,4000,60
60 IF(XCAS0 - 1)61,4000,61
4000 WRITE(2,2028)
WRITE(2,2029)(II, UX(II), II=1, NN)
61 IF(YCAS0 - 1)63,62,62
62 WRITE(2,2030)
WRITE(2,2029)(II, UY(II), II=1, NN)
63 IF(BCAS0 - 1)65,64,64
64 WRITE(2,2031)
WRITE(2,2020)(II, BX(II), BY(II), II=1, NN)
65 IF(HCAS0 - 1)67,66,66
66 WRITE(2,2032)

```

```

WRITE(2,2029)(II,HP(II),II=1,NN)
67 IF(VCASO - 1)69,68,68
68 WRITE(2,2033)
WRITE(2,2029)(II,VD(II),II=1,NN)
69 IF(TCASO-1)79,80,80
80 WRITE(2,2016)R1,R2,EX,NER,NROT
IF(NER - 1)81,82,82
82 WRITE(2,2017)
WRITE(2,2018)(II,NECR(II),HR(NECR(II)),II=1,NER)
81 GO TO 86
79 IF(ICASO-1)83,83,84
83 WRITE(2,2022)
WRITE(2,2023)(II,HE(II),II=1,NE)
RETURN
84 IF(ACASO - 1)85,86,86
85 WRITE(2,2026)H0,H1,B1,BT
RETURN
86 WRITE(2,2027)
WRITE(2,2023)(II,H(II),II=1,NN)
RETURN
2000 FORMAT(//,7X,63('*'),/,7X,'*',61X,'*',/,7X,'*',4X,
1'LUBRIFICACAO INCOMPRESSIVEL / ASPECTO ISOTERMICO',9X,'*',/,
27X,'*',61X,'*',/,7X,'*',7X,'SIMULACAO DE MANCAL DE DESLIZAMENTO',
319X,'*',/,7X,'*',61X,'*',/,7X,'*',4X,
4'METODO DE ELEMENTOS FINITOS (ELEMENTO TRIANGULO/LINEAR) *',/,7X,
5*'*,61X,'*',/,7X,63('*'))
2001 FORMAT(///,6X,'-MANCAL HIDROSTATICO COM CONTROLE DE FLUXO')
2002 FORMAT(///,6X,'-MANCAL HIDROSTATICO COM CONTROLE DE PRESSAO')
2003 FORMAT(///,6X,'-MANCAL HIDRODINAMICO COM SAPATAS EM DEGRAU')
2004 FORMAT(///,6X,'-MANCAL HIDRODINAMICO COM SAPATAS AFUSELADAS')
2005 FORMAT(///,6X,'-MANCAL HIDRODINAMICO (CASO GERAL)')
2006 FORMAT(///,6X,'-MANCAL RADIAL')
2007 FORMAT(//,6X,'-VISCOSIDADE DO LUBRIFICANTE',//,8X,'MI=',E10.3)
2008 FORMAT(//,6X,'-NUMERO DE ELEMENTOS',//,8X,'NE=',I5,
1///,6X,'-NUMERO DE NOS DO SISTEMA',//,8X,'NN=',I5,///,
26X,'-NUMERO DE NOS COM PRESSAO ESPECIFICADA',//,6X,'NNPE=',I5,
3///,6X,'-NUMERO DE NOS COM FLUXO ESPECIFICADO',//,6X,'NNFE=',I5)
2009 FORMAT(//,6X,'-COORDENADAS NODAIS',//,13X,'NO(I)',15X,
1'XG(I)',15X,'YG(I)',/)
2010 FORMAT(10X,I5,12X,F10.3,12X,F10.3)
2011 FORMAT(///,6X,'-TOPOLOGIA DO SISTEMA',///,13X,'ELEMENTO',
18X,'NO(I)',7X,'NO(2)',7X,'NO(3)',/)
2012 FORMAT(13X,I5,10X,I5,7X,I5,7X,I5)
2013 FORMAT(///, '-CONDICOES DE CONTORNO DE PRESSAO',//,18X,'I',
110X,'NO(I)',9X,'PRESSAO',/)
2014 FORMAT(14X,I5,7X,I5,9X,E10.3)
2015 FORMAT(//, '-CONDICOES DE CONTORNO DE FLUXO',//,17X,'I',
110X,'NO(I)',9X,'FLUXO',/)
2016 FORMAT(//,6X,'-RAIO DO EIXO',//,8X,'R1=',F10.3,///,6X,
1'-RAIO DA CARCACA',//,8X,'R2=',F10.3,///,6X,'-EXCENTRICIDADE',
2//,8X,'EX=',E10.3,///,6X,'-NUMERO DE ELEMENTOS COM REBAIXO',//,
38X,'NER=',I5,///,6X,'ROTACAO DO EIXO',//,6X,F10.3,/)
2017 FORMAT(//, '-ELEMENTOS COM REBAIXO E ALTURAS DOS REBAIXOS',//,
110X,'I',6X,'ELEMENTO',9X,'ALTURA DO REBAIXO',/)
2018 FORMAT(7X,I5,5X,I5,14X,E10.3)

```



```

*****
*
* MAFLUB - SUBROTINA PARA CALCULO DAS MATRIZES DE FLUIDEZ
* (COM ALTURA DE FILME NO A NO)
*
*****
SUBROUTINE MAFLUB(XCL,YCL,H,MI,KP,KUX,KUY,KBX,KBY,KHP,KVD)
COMMON /CASO/TCASO,ICASO,SCASO,ACASO,XCASO,YCASO,BCASO,HCASO,VCASO
INTEGER TCASO,XCASO,YCASO,BCASO,HCASO,VCASO,SCASO,ACASO
REAL*4 MI
REAL*4 XCL(3),YCL(3)
REAL*4 A(3),B(3),C(3),CPI(3),H(3),HH(3),KBX(3,3),KBY(3,3)
REAL*4 KHP(3,3),KP(3,3),KUX(3,3),KUY(3,3),KVD(3,3)
REAL*4 AREA,KT
CALL CTAREA(XCL,YCL,AREA,A,B,C)
KT=(-1.)*(H(1)**3+H(2)**3+H(3)**3+H(1)**2*(H(2)+H(3))+
1H(2)**2*(H(1)+H(3))+H(3)**2*(H(1)+H(2))+H(1)*H(2)*H(3)) /
2(480 * MI * AREA )
DO 1 I=1,3
DO 1 J=1,3
1 KP(I,J)=KT*(B(I)*B(J)+C(I)*C(J))
IF(TCASO-1)80,3,80
80 IF(XCASO-1)2,3,3
2 IF(YCASO-1)5,3,3
3 HH(1)=H(1)+.5*(H(2)+H(3))
HH(2)=H(2)+.5*(H(1)+H(3))
HH(3)=H(3)+.5*(H(1)+H(2))
IF(TCASO-1)666,66,666
666 IF(XCASO-1)6,66,66
66 DO 4 I=1,3
DO 4 J=1,3
4 KUX(I,J)=B(I)*HH(J)/24
6 IF(YCASO-1)5,55,55
55 DO 7 I=1,3
DO 7 J=1,3
7 KUY(I,J)=C(I)*HH(J)/24
5 IF(BCASO-1)8,9,9
9 DO 99 J = 1,3
JJ = 3
IF(J.EQ.3) JJ = 2
II = IABS(JJ - J)
99 CPI(J)=(12*H(J)**3+3*(H(II)**3+H(JJ)**3)+9*H(J)**2*(H(II)+H(JJ))+
16*H(J)*(H(II)**2+H(JJ)**2)+3*(H(II)**2*H(JJ)+H(JJ)**2*H(II))+
26*H(J)*H(II)*H(JJ))/(4320*MI)
DO 10 I=1,3
DO 10 J=1,3
KBX(I,J)=B(I)*CPI(J)
10 KBY(I,J)=C(I)*CPI(J)
8 FIT=12
IF(HCASO-1)11,12,12
12 DO 13 I=1,3
DO 13 J=1,3
IF(I.EQ.J) FIT=6
13 KHP(I,J)=(-1.0)*AREA/FIT
11 IF(VCASO-1)14,15,15

```



```
15 DO 16 I=1,3
    DO 16 J=1,3
      IF(I.EQ.J)FIT=6
16 KVD(I,J)=(-1.0)*AREA/FIT
14 RETURN
   END
```

MAF
MAF
MAF
MAF
MAF
MAF

```

*****
*
* MAFLUA - SUBROTINA PARA CALCULO DAS MATRIZES DE FLUIDEZ
* (ALTURA DO FILME ELEMENTO A ELEMENTO)
*
*****
SUBROUTINE MAFLUA(XCL,YCL,H,MI,KP,KUX,KUY,KBX,KBY,KHP,KVD)
COMMON /CASO/TCASO,ICASO,SCASO,ACASO,XCASO,YCASO,BCASO,HCASO,VCASO
INTEGER TCASO,XCASO,YCASO,BCASO,HCASO,VCASO,ACASO,SCASO
REAL*4 MI
REAL*4 KP(3,3),KUX(3,3),KUY(3,3),KBX(3,3),KBY(3,3),KHP(3,3)
REAL*4 AREA,A(3),B(3),C(3),KVD(3,3)
DIMENSION XCL(3),YCL(3)
CALL CTAREA(XCL,YCL,AREA,A,B,C)
DO 1 I=1,3
DO 1 J=1,3
1 KP(I,J)=(-1.0)*H**3*(B(I)*B(J)+C(I)*C(J))/(48*MI*AREA)
IF(XCASO-1)2,3,3
3 DO 4 I=1,3
DO 4 J=1,3
4 KUX(I,J)=H*B(I)/12
2 IF(YCASO-1)5,6,6
6 DO 7 I=1,3
DO 7 J=1,3
7 KUY(I,J)=H*C(I)/12
5 IF(BCASO-1)8,9,9
9 DO 10 I=1,3
DO 10 J=1,3
KBX(I,J)=H**3*B(I)/72*MI
10 KBY(I,J)=H**3*C(I)/72*MI
8 IF(HCASO-1)11,12,12
12 FIT = 12
DO 13 I=1,3
DO 13 J=1,3
IF(I.EQ.J) FIT = 6
13 KHP(I,J)=(-1.0)*AREA/FIT
11 IF(VCASO-1)14,15,15
15 FIT = 12
DO 16 I=1,3
DO 16 J=1,3
IF(I.EQ.J) FIT = 6
16 KVD(I,J)=(-1.0)*AREA/FIT
14 RETURN
END

```



```

*****
* RESOLV- SUBROTINA QUE RESOLVE O SISTEMA DE EQUACOES DO TIPO * RESO
* KP(I,J)*P(J)=FT(I). * RESO
* UTILIZANDO O METODO DE "GAUSS" * RESO
* * RESO
*****
SUBROUTINE RESOLV(NN,KP,FT,P)
REAL*4 KP(120,120),MAI,P(NN),FT(NN),TAM,AMAI,FTMAI,RAZAO
C**** SELECIONAR A K-ESIMA LINHA COMO PIVO *****
DO 400 K = 1,NN
**** ENCONTRAR O MAIOR VALOR EM MODULO DE KP(I,J) *****
MAI = ABS(KP(K,K))
IMAI = K
DO 100 I = K,NN
TAM = ABS(KP(I,K))
IF(TAM.LT.MAI) GO TO 100
MAI = TAM
IMAI = I
100 CONTINUE
***** TROCAR AS LINHAS *****
IF(K.EQ.IMAI) GO TO 1000
DO 200 J = K , NN
AMAI = KP(IMAI,J)
KP(IMAI,J) = KP(K,J)
200 KP(K,J) = AMAI
FTMAI = FT(IMAI)
FT(IMAI) = FT(K)
FT(K) = FTMAI
1000 CONTINUE
***** VERIFICACAO QUANTO A SINGULARIDADE *****
IF(KP(K,K).EQ.0) GO TO 600
***** DESOCOPLAR O SISTEMA *****
DO 400 I = 1,NN
IF(I.EQ.K) GO TO 400
RAZAO = KP(I,K) / KP(K,K)
DO 300 J = K,NN
300 KP(I,J) = KP(I,J) - RAZAO * KP(K,J)
FT(I) = FT(I) - RAZAO * FT(K)
400 CONTINUE
***** RESOLVER O SISTEMA DESACOPLADO *****
DO 500 K = 1,NN
500 P(K) = FT(K) / KP(K,K)
RETURN
***** SE MATRIZ SINGULAR *****
600 WRITE (2,601)
601 FORMAT(10X,'MATRIZ SINGULAR')
DO 700 I = 1,NN
700 P(I) = 0.
RETURN
END

```

```

*****CAR000
CARGAS - SUBROTINA PARA CALCULO DA CAPACIDADE DE CARGA *CAR000
      (MANCAIS HIDRODINAMICO SAPATAS PLANAS) *CAR000
*****CAR000
SUBROUTINE CARGAS (NE,NN,XG,YG,NO,P,TCARGA,XAP,YAP) *CAR000
DIMENSION XG(NN),YG(NN),NO(120,3),XCL(3),YCL(3) *CAR000
REAL*4 XM,YM,FORCA,XAP,YAP,PMED *CAR000
REAL*4 AREA,P(NN),TCARGA,PROTX,PROTY *CAR000
TCARGA = 0 *CAR001
PROTX = 0 *CAR001
PROTY = 0 *CAR001
DO 1 K = 1,NE *CAR001
  DO 2 I = 1,3 *CAR001
    XCL(I) = XG(NO(K,I)) *CAR001
    YCL(I) = YG(NO(K,I)) *CAR001
2  CONTINUE *CAR001
  XM=(XCL(1)+XCL(2)+XCL(3))/3 *CAR001
  YM=(YCL(1)+YCL(2)+YCL(3))/3 *CAR001
  AREA = ABS(.5 * (XCL(1) *(YCL(2)-YCL(3))+XCL(2)*(YCL(3)-YCL(1))+ *CAR002
1  XCL(3) * (YCL(1) - YCL(2) ))) *CAR002
  PMED=(P(NO(K,1))+P(NO(K,2))+P(NO(K,3)))/3 *CAR002
  FORCA = AREA * PMED *CAR002
  PROTX = PROTX + XM * FORCA *CAR002
  PROTY = PROTY + YM * FORCA *CAR002
  TCARGA = TCARGA + FORCA *CAR002
1 CONTINUE *CAR002
  XAP = PROTX/TCARGA *CAR002
  YAP = PROTY/TCARGA *CAR002
  RETURN *CAR003
  END *CAR003

```



```

***** CAR0
* CAR0
CARHI - SUBROTINA PARA CALCULO DA CAPACIDADE DE CARGA * CAR0
(MANCAIS HIDROSTATICOS) * CAR0
***** CAR0
SUBROUTINE CARHI (XG,YG,NO,P,PB,AB,CARGA,CARGB,CARME,SCASO,NOF) CAR0
COMMON /NUM/NE,NN,NNPE,NNFE,NER,NNBF CAR0
DIMENSION NOF(120),XG(120),YG(120),NO(120,3) CAR0
INTEGER SCASO CAR0
REAL*4 CARGA,CARGB,CARME,PMB,P(120),XAP,YAP CAR0
CALL CARGAS (NE,NN,XG,YG,NO,P,CARGA,XAP,YAP) CAR0
IF(SCASO.NE.1) GO TO 1 CAR0
CARGB=AB*PB CAR0
GO TO 4 CAR0
1 PMB=0.0 CAR0
DO 3 I=1,NNBF CAR0
3 PMB=PMB+P(NOF(I)) CAR0
CARGB=AB*PMB/NNBF CAR0
4 CARME=CARGA+CARGB CAR0
RETURN CAR0
END CAR0

```

```

*****
*
*   ESCREV - SUBROTINA PARA IMPRESSAO DCS RESULTADOS DO PROBLEMA
*
*****
SUBROUTINE ESCREV
COMMON /CASO/TCASO, ICASO, SCASO, ACASO, XCASO, YCASO, BCASO, HCASO, VCASO
COMMON /NUM/NE, NN, NNPE, NNFE, NER, NNBF
COMMON /S1/ XG, YG, HE, HR, R1, R2, EX, AB, BETA, MI, FAL, PB, NECR, NFE, NO, NPE
COMMON /S2/ CARGA, CARGB, CARME, TCARGA, WH, WV, WT, XAP, YAP
COMMON /S3/ H, FE, P, NROT
COMMON /S4/ BX, BY, HP, UX, UY, VD, H0, H1, B1, BT
INTEGER TCASO, XCASO, YCASO, BCASO, HCASO, VCASO, SCASO, ACASO
REAL*4 MI, NROT
REAL*4 CARGA, CARGB, CARME, TCARGA, WH, WV, WT
REAL*4 P(120), FE(120), H(120)
DIMENSION NPE(120), NFE(120), NECR(120), HR(120), NO(120,3), HE(120)
DIMENSION XG(120), YG(120)
WRITE(2,2019)
WRITE(2,2020)(II,P(II),FE(II),II=1,NN)
IF(TCASO - 1)2,1,1
1 WRITE(2,2021)WH,WV,WT,BETA
RETURN
2 IF(ICASO - 1)3,6,6
3 IF(SCASO - 1)4,5,5
4 WRITE(2,2024)AB,FAL,CARGA,CARGB,CARME
RETURN
5 WRITE(2,2025)AB,PB,CARGA,CARGB,CARME
RETURN
6 WRITE(2,2026)TCARGA
WRITE(2,2030)XAP,YAP
RETURN
2019 FORMAT(///,6X,'-PRESSOES E FLUXOS EXTERNOS',//,15X,'NO',13X,
1'PRESSAO',11X,'FLUXO EXTERNO',/)
2020 FORMAT(11X,I5,10X,F11.5,10X,F11.5)
2021 FORMAT(//,'-CAPACIDADE DE CARGA',//,8X,'A-CARGA HORIZONTAL',
1//,11X,'WH=',F11.5,///,8X,'B-CARGA VERTICAL',//,11X,'WV=',F11.5,
2//,8X,'C-CARGA TOTAL',//,11X,'WT=',F11.5,///,6X,
3'-POSICAO DA CARGA',//,8X,'BETA(graus) =',F11.5)
2024 FORMAT(//,6X,'-AREA DA(S) BOLSA(S)',//,8X,'AB=',F11.5,//,6X,
1'-FLUXO DE ALIMENTACAO DA(S) BOLSA(S)',//,8X,'FAL=',F11.5,//,6X,
2'-CAPACIDADE DE CARGA DA REGIAO DISCRETIZADA',//,8X,'CARGA=',
3F11.5,//,6X,'-CAPACIDADE DE CARGA DA(S) BOLSA(S)',//,8X,
4'CARGB=',F11.5,//,6X,'-CAPACIDADE DE CARGA (TOTAL)',//,8X,
5'CARME=',F11.5)
2025 FORMAT(//,6X,'-AREA DA(S) BOLSA(S)',//,8X,'AB=',F11.5,//,6X,
1'PRESSAO DE ALIMENTACAO DA(S) BOLSA(S)',//,8X,'PB=',F11.5,//,6X,
2'-CAPACIDADE DE CARGA DA REGIAO DISCRETIZADA',//,8X,'CARGA=',
3F11.5,//,6X,'-CAPACIDADE DE CARGA DA(S) BOLSA(S)',//,8X,
4'CARGB=',F11.5,//,6X,'CAPACIDADE DE CARGA (TOTAL)',//,8X,
5'CARME=',F11.5)
2026 FORMAT(//,6X,'-CAPACIDADE DE CARGA DA SAPATA',//,8X,'TCARGA=',
1F11.5)
2030 FORMAT(//,6X,'-CENTRO DE PRESSAO ',//,8X,'XAP = ',
1F11.3,//,8X,'YAP = ',F11.3)

```


END

APÊNDICE-IX

MANUAL DO USUÁRIO DO PROGRAMA "MANCAIS" (Versão 1.0)

Com o objetivo de facilitar o uso do programa "Mancais" foi desenvolvido este manual o qual traz informações sobre a utilização do programa bem como, descreve a seqüência e forma de entrada dos dados necessários à execução do mesmo.

1. UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA

O programa "Mancais" possibilita a avaliação de desempenho de mancais hidrostáticos e hidrodinâmicos, permitindo ao projetista prever de forma qualitativa e quantitativa, o desempenho de seus projetos antes mesmo de iniciar a experimentação prática.

Devido ao caráter isotérmico adotado na formulação do programa, ele é útil principalmente na fase de ante-projeto, possibilitando uma análise comparativa de projetos alternativos, assim como a verificação da influência da geometria das sapatas, presença de canais de distribuição de lubrificante e condições operacionais no desempenho dos mancais em desenvolvimento.

Antes de se partir para a aplicação do programa, deve-se fazer um levantamento das condições operacionais que se deseja simular bem como, levantar as condições de contorno aplicáveis ao caso a ser analisado.

Após isto, iniciá-se a discretização do contínuo, dividindo-se o mesmo em sub-domínios ou elementos, localizando e enumerando estes elementos e respectivos nós.

Através da experiência o projetista deve prever as regiões em que a malha deve ser mais ou menos refinada, proporcionando desse modo resultados mais representativos.

O programa "Mancais", nesta primeira versão, trabalha exclusivamente com elementos triângulo-lineares, por isso deve-se refinar o melhor possível a região a ser estudada.

Deve-se refinar de forma mais acentuada as regiões onde o gradiente de pressão é mais intenso, como é o caso das bordas

das sapatas, regiões mais estreitas do filme fluido e regiões de variação brusca de altura da película.

Após estas definições parte-se para o levantamento dos registros de dados requeridos, nas formas pré-estabelecidas pelo programa, conforme é descrito a seguir.

Neste ponto é bom lembrar que quando o problema é simétrico, não é necessária a discretização de todo o contínuo, podendo-se discretizar somente o trecho necessário.

2. LEVANTAMENTO DOS DADOS DE ENTRADA

Devido à grande quantidade de dados requeridos por um programa que utiliza o método de elementos finitos, os mesmos devem ser fornecidos na forma de "pacote", ou seja, um conjunto de registros contendo todos os dados necessários à execução do programa, pois a forma iterativa de entrada de dados seria de pouca eficiência.

O conjunto dos registros de dados deve ser fornecido na ordem e no formato pré-estabelecidos pelo programa.

Como o programa "Mancais" foi desenvolvido visando a simulação do desempenho de vários tipos de mancais, a seqüência de entrada de dados para cada tipo é, na maior parte das vezes, comum. Entretanto, dependendo do tipo considerado, alguns registros podem ser diferentes e serão vistos individualmente na seqüência apresentadas a seguir:

A. REGISTRO DE DEFINIÇÃO DO TIPO DE PROBLEMA

O primeiro conjunto de dados que deve ser fornecido ao programa define o tipo de mancal a ser analisado, bem como, algumas condições operacionais do mesmo.

Este primeiro conjunto de dados é formado através de um registro de 09 dígitos, cujo formato é visto na Figura 1.

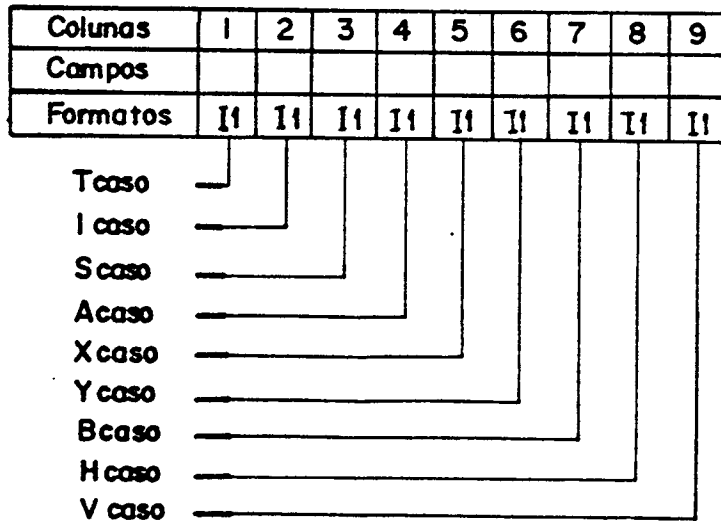


Fig. 1 - Formato do registro de especificação do tipo de problema

Após uma análise detalhada do programa, percebe-se que qualquer tipo de mancal pode ser analisado, entretanto, para facilitar a entrada de dados para alguns problemas padrões, foram criados dentro da estrutura do programa certos procedimentos que diminuem a quantidade de dados requeridos.

Estes tipos padrões de mancais, são definidos pelos 04 dígitos iniciais (TCASO, ICASO, SCASO, ACASO), as opções podem ser escolhidas analisando-se a Figura 2, onde se percebe 07 tipos de mancais que podem ser analisados pelo programa, os quais são:

- A - Mancais planos hidrostáticos com controle de fluxo
- B - Mancais planos hidrostáticos com controle de pressão

C - Mancais planos hidrodinâmicos com sapatas em graus

D - Mancais planos hidrodinâmicos com sapatas planas afuseladas

E - Mancais planos hidrodinâmicos - Caso geral

F - Mancais radiais hidrostáticos

G - Mancais radiais hidrodinâmicos

Através de uma análise dos registros de entrada de dados do Caso E, percebe-se que através dele pode-se simular vários tipos de mancais, pois os dados referentes a velocidades, alturas de filme etc., devem ser introduzidos individualmente nó a nó.

Os cinco dígitos seguintes (XCASO, YCASO, BCASO, HCASO, VCASO) determinam de forma qualitativa as condições operacionais dos mancais e devem ser especificados de acordo com a Tabela 1.

TAB. 1	DÍGITOS QUE DEFINEM AS CONDIÇÕES OPERACIONAIS	
XCASO	0	SEM VELOCIDADE NA DIREÇÃO x
	1	COM VELOCIDADE NA DIREÇÃO x
YCASO	0	SEM VELOCIDADE NA DIREÇÃO y
	1	COM VELOCIDADE NA DIREÇÃO y
BCASO	0	SEM FORÇAS DE CORPO
	1	COM FORÇAS DE CORPO
HCASO	0	SEM ESMAGAMENTO DE FILME
	1	COM ESMAGAMENTO DE FILME
VCASO	0	SEM FLUXO DE DIFUSÃO
	1	COM FLUXO DE DIFUSÃO

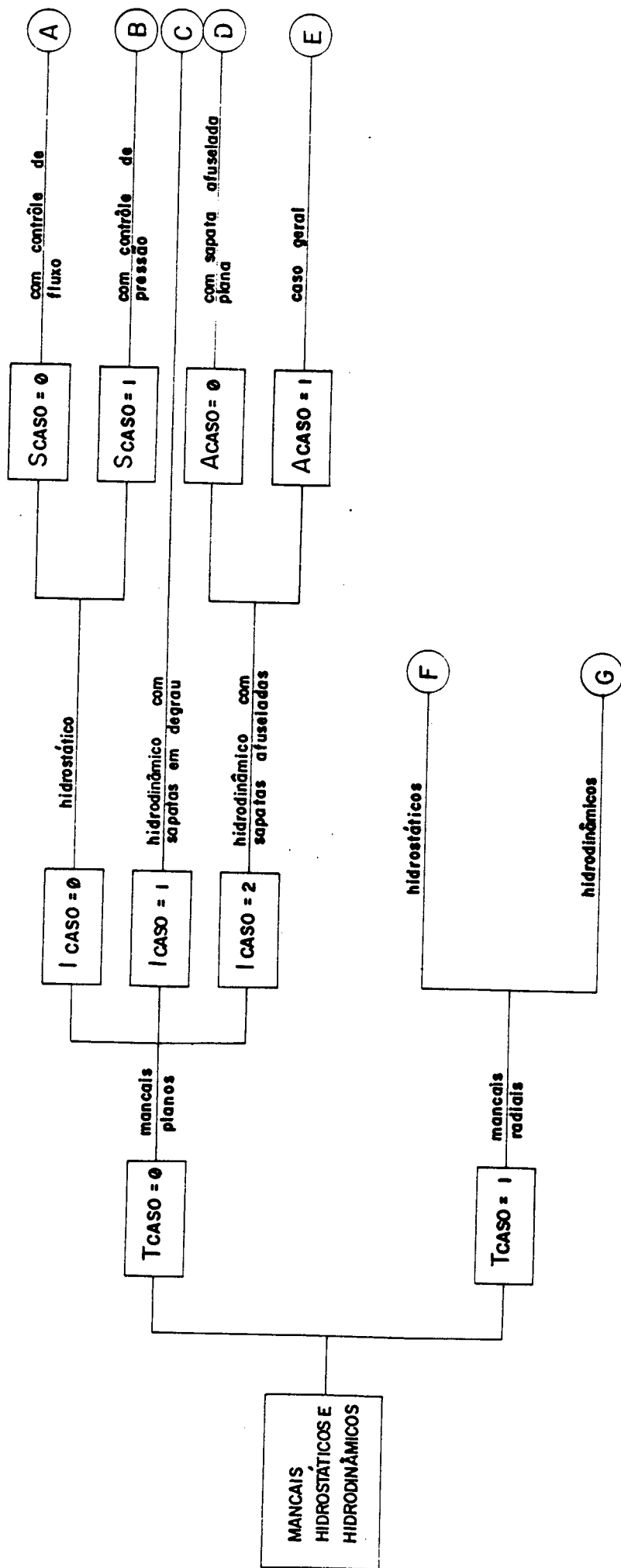


Fig. 2 - Opções possíveis para os valores de TCASO, ICASO, ACASO, SCASO, mostrando os 07 tipos padrões de mancais possíveis de se analisar pelo programa MANCAIS.

Por exemplo, para um mancal plano do tipo sapata em degrau com velocidades relativas somente na direção principal **X**, sem forças de corpo, sem velocidades de difusão e sem ocorrência do esmagamento de filme, o primeiro registro de dados seria:

0	1	0	0	1	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Após o registro com a definição do tipo de problema, deve-se fornecer um segundo registro contendo o número de elementos da malha, número de nós e número de nós onde a pressão é previamente conhecida.

Este registro tem o formato especificado na Figura 3.

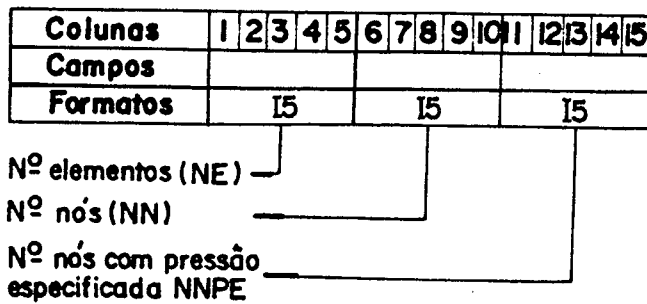


Fig. 3 - Registro de definição de NE, NN, NNPE

Deve-se observar que $NN = NNPE + NNFE$, onde $NNFE$ é o número de nós onde o fluxo global é especificado. Por exemplo, uma malha contém 120 elementos e 80 nós, dos quais 24 tem suas pressões nodais conhecidas, conseqüentemente, em 56 nós são conhecidos os fluxos globais; então, o registro correspondente seria:

		1	2	0			8	0			2	4
--	--	---	---	---	--	--	---	---	--	--	---	---

O próximo registro a ser fornecido ao programa deve conter a viscosidade efetiva do fluido lubrificante, este registro deve ser formatado segundo a Figura 4 a seguir:

Colunas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Campos										
Formatos	E 103									

Fig. 4 - Formato do registro de entrada da viscosidade

Por exemplo, se a viscosidade do fluido considerado é igual a 1 (unidade de viscosidade), o registro correspondente seria:

1	.	0	0	0	0	E	+	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Após estes dados iniciais deve-se fornecer um conjunto de NN registros contendo as coordenadas nodais X e Y , obedecendo o formato da Figura 5.

Colunas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Campos																									
Formatos	I5					F10.3										F10.3									

Nº do nó	└───┘					└──┘										└──┘									
Ordenada (x)	└───┘					└──┘										└──┘									
Abcissa (y)	└──┘																								

Fig. 5 - Formato dos registros das coordenadas nodais

Por exemplo, se o nó 25 estivesse nas coordenadas $X = 5.000$ e $Y = 2.000$, o registro correspondente seria:

				2	5							5	.	0	0	0									2	.	0	0	0
--	--	--	--	---	---	--	--	--	--	--	--	---	---	---	---	---	--	--	--	--	--	--	--	--	---	---	---	---	---

Após as coordenadas nodais, deve-se introduzir os registros que definem a topologia do sistema, os NE registros devem conter: número do elemento, número global do nó correspondente ao nó local 1, número global do nó correspondente ao nó local 2 e o número global do nó correspondente ao nó local 3, de acordo com o formato especificado na Figura 6.

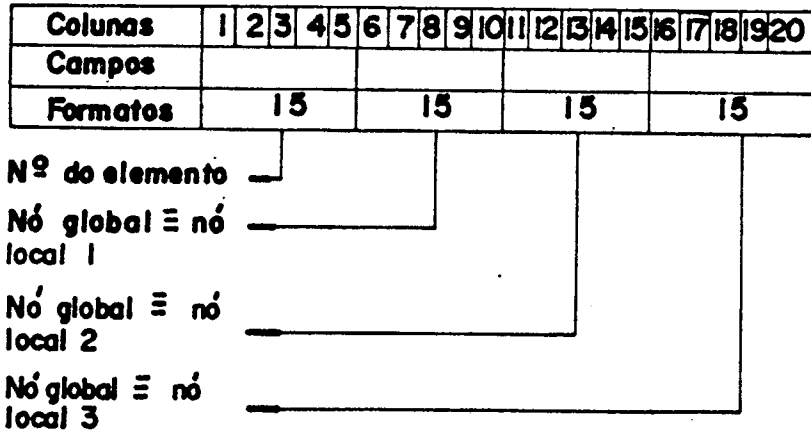


Fig. 6 - Formato dos registros de introdução da topologia do sistema

Por exemplo, para o elemento representado na Figura 7.

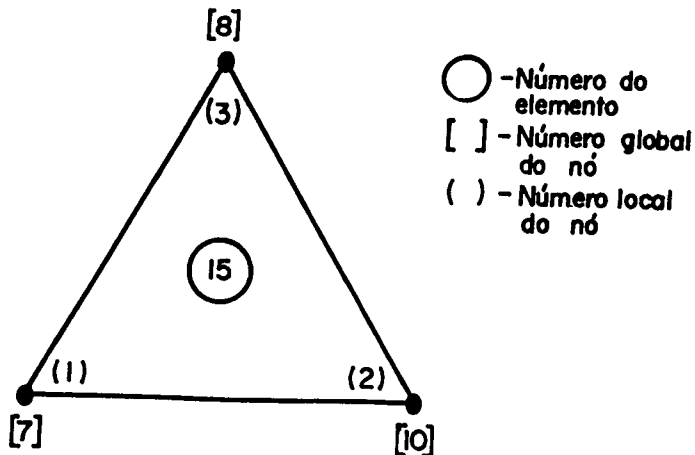


Fig. 7 - Exemplo de um elemento, mostrando sua topologia

O registro correspondente a sua topologia seria:

			1	5				7				1	0					8
--	--	--	---	---	--	--	--	---	--	--	--	---	---	--	--	--	--	---

Após os registros correspondentes à topologia do sistema, são introduzidos os registros contendo as condições de contorno de pressão. Deve-se fornecer um conjunto contendo NNPE registros, sendo que cada registro deve conter: número do nó onde a pressão é conhecida e o respectivo valor da mesma, de acordo com o formato apresentado na Figura 8.

Colunas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Campos															
Formatos	I5					F10.3									

Nº do nó	_____	_____
Pressão nodal	_____	_____

Fig. 8 - Formato dos registros contendo as condições de contorno de pressão

Supondo, por exemplo, que o nó de número 65 estivesse no contorno de uma sapata a ser analisada e que a pressão fosse nula, o registro correspondente à condição de contorno de pressão neste nó, seria:

		6	5					0	0	0	0
--	--	---	---	--	--	--	--	---	---	---	---

Após este conjunto de dados, deve-se fornecer **NNFE** (= **NN - NNPE**) registros correspondentes às condições de contorno de fluxo, estas são introduzidas com o formato da Figura 9.

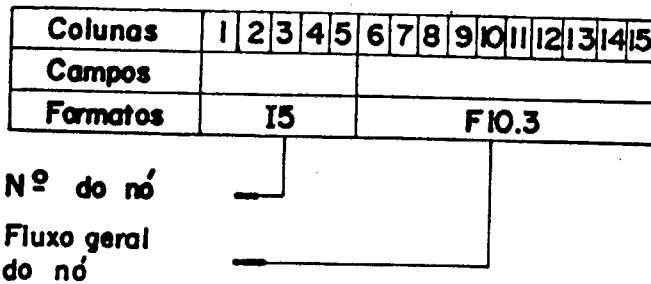


Fig. 9 - Formato de registros contendo as condições de contorno de fluxo

Por exemplo, se no nó 25 o fluxo global fosse nulo o registro correspondente seria:

			2	5					0	0	0	0
--	--	--	---	---	--	--	--	--	---	---	---	---

Após estes dados iniciais, comuns a todos os tipos de problemas, a seqüência de registro de dados difere, variando conforme o tipo de mancal.

Para facilitar, a seqüência a seguir foi individualizada, tornando-se comum nos últimos registros de entradas de dados.

A - MANCAIS HIDROSTÁTICOS COM CONTROLE DE FLUXO

Para o caso de mancais hidrostáticos que operam com controle de fluxo, o próximo registro a ser introduzido deve conter: o número de nós contidos nos contornos das bolsas de alimentação do lubrificante, área das bolsas de alimentação contidas na região modelada, de acordo com o formato especificado na Figura 10.

Colunas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Campos															
Formatos	15					F103									

Nº de nós nos contornos das bolsas ————

Área das bolsas ————

Fig. 10 - Formato do registro contendo NNBF e AB

Após este registro, são introduzidos NNBF registros contendo os números dos nós situados no contorno das bolsas de acordo com o formato especificado na Figura 11.

Colunas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Campos										
Formatos	15					15				

Nº em sequência de 1 à NNBF ————

Nº dos nós no contorno ————

Fig. 11 - Formato dos registros contendo os nós situados nos contornos de bolsas de alimentação de mancais hidrostáticos com controle de fluxo

Para o exemplo esquemático mostrado na Figura 12 este conjunto de dados seria:

	5		5	0	0	0	0
	1		1				
	2		8				
	3		9				
	4		1	6			
	5		1	7			

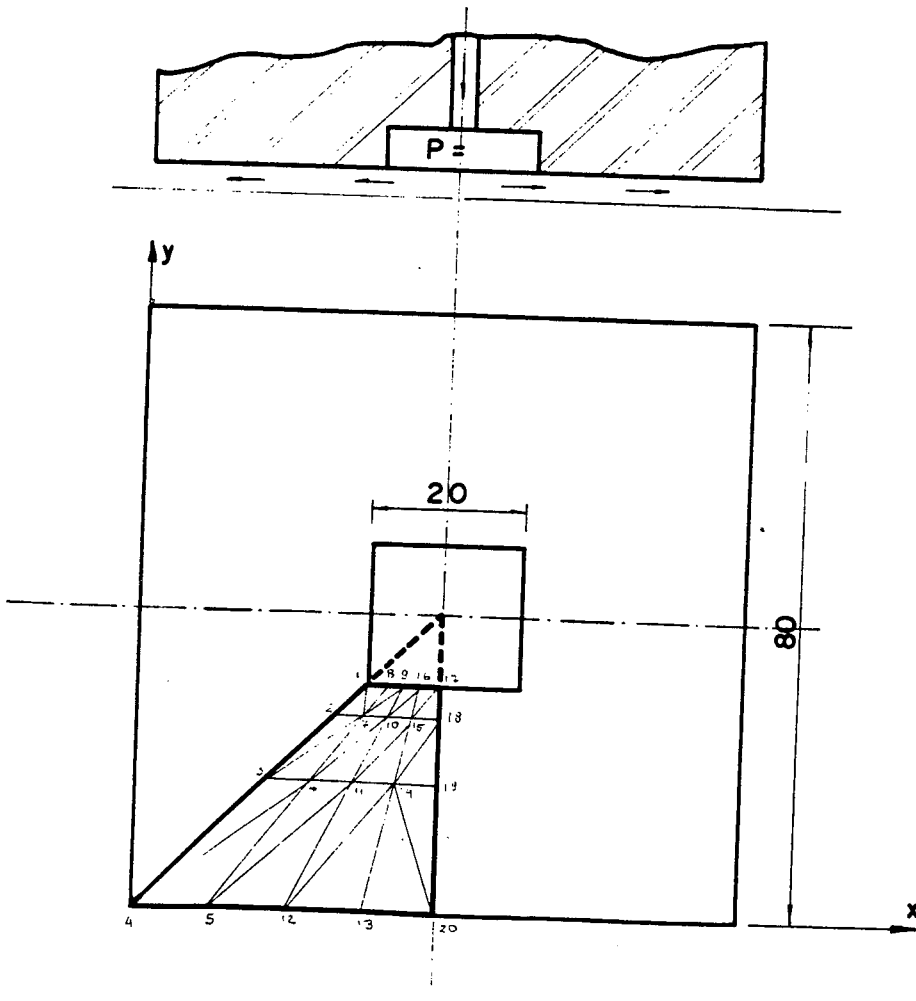


Fig. 12 - Exemplo de mancal hidrostático com 1/4 da sapata discretizada

B - MANCAIS HIDROSTÁTICOS COM CONTROLE DE PRESSÃO

Para o caso de mancais hidrostáticos com controle de pressão, o registro seguinte deve conter a área das bolsas de alimentação, dentro do domínio considerado, bem como a pressão de alimentação das bolsas, seguindo o formato estabelecido pela Figura 13.

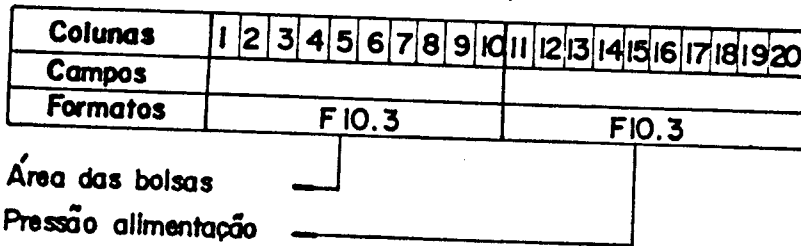
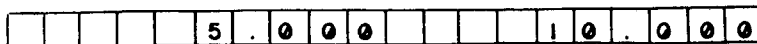


Fig. 13 - Formato dos registros contendo (AB) e (PB) para mancais hidrostáticos com controle de pressão

Se, por exemplo, a área das bolsas dentro do domínio considerado fosse igual a 5 (unidades de área) e a pressão de alimentação fosse igual a 10 (unidades de pressão), o registro correspondente teria a seguinte forma:



Tanto para mancais hidrostáticos com controle de fluxo como para o caso de mancais com controle de pressão, o próximo conjunto de dados a ser introduzido deve conter as alturas de película de elemento a elemento, seguindo o mesmo formato mostrado na Figura 15.

C - MANCAL HIDRODINÂMICO COM SAPATAS EM DEGRAUS

Os mancais hidrodinâmicos com sapatas em degrau são aqueles em que a altura do filme fluido é constante em trechos da sapata. Na Figura 14 pode-se ver exemplos de sapatas em degrau.

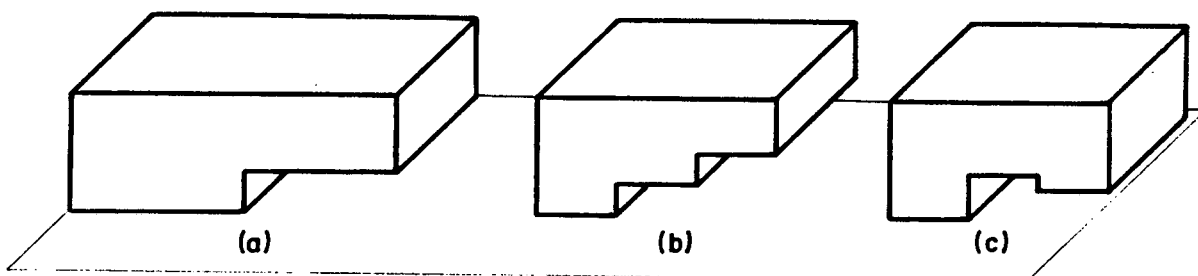


Fig. 14 - Alguns tipos de sapatas em degrau (a), (b), (c).

Neste caso, as alturas de filme devem ser fornecidas elemento a elemento, e nenhum elemento deve possuir nós em trechos com alturas de filme diferentes.

Para este tipo de problema os NE registros devem conter as alturas de filme fluido em cada elemento, no formato especificado na Figura 15.

Colunas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Campos															
Formatos	I5					E10.3									

Nº do elemento —
 Altura do filme fluido —

Fig. 15 - Formato dos registros de entrada de alturas de filme fluido para mancais com sapatas em degrau

Por exemplo, o modelo apresentado na Figura 16 teria as seguintes especificações de altura de filme:

			1		2	.	0	0	E	-	0	1
			2		2	.	0	0	E	-	0	1
			3		2	.	0	0	E	-	0	1
			4		2	.	0	0	E	-	0	1
			5		5	.	0	0	E	-	0	2
			6		5	.	0	0	E	-	0	2
			7		5	.	0	0	E	-	0	2
			8		5	.	0	0	E	-	0	2

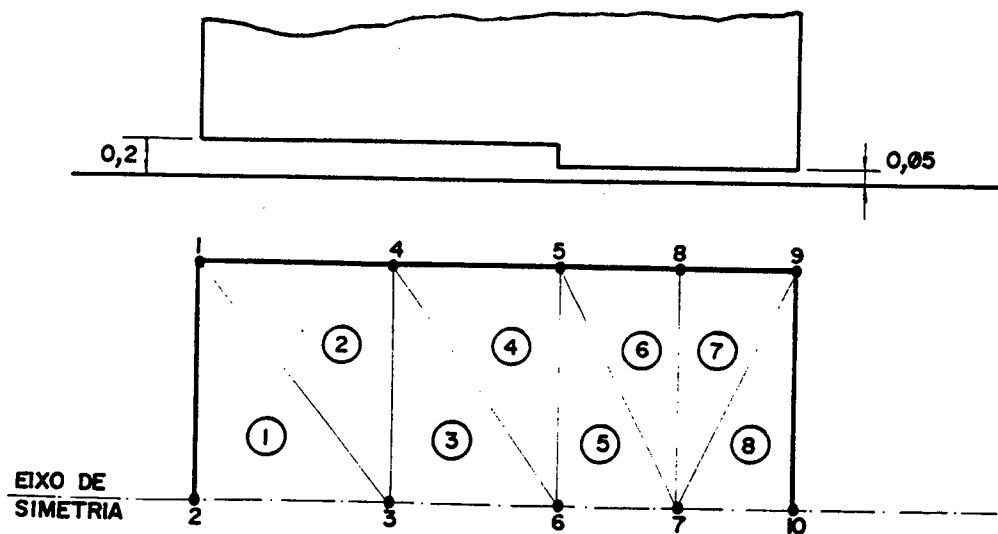


Fig. 16 - Exemplo de uma sapata em degrau discretizada (foi modelada somente a metade da sapata, por questões de simetria)

D - MANCAIS HIDRODINÂMICOS PLANOS COM SAPATAS AFUSELADAS

Para este tipo de sapata, o programa possui internamente um procedimento para o cálculo das alturas de filme fluido em todos os nós, bastando para tal introduzir um registro contendo : altura mínima de filme H_0 , altura máxima de filme H_1 , comprimento do trecho afuselado B_1 , comprimento total da sapata B_T , conforme Figura 17.

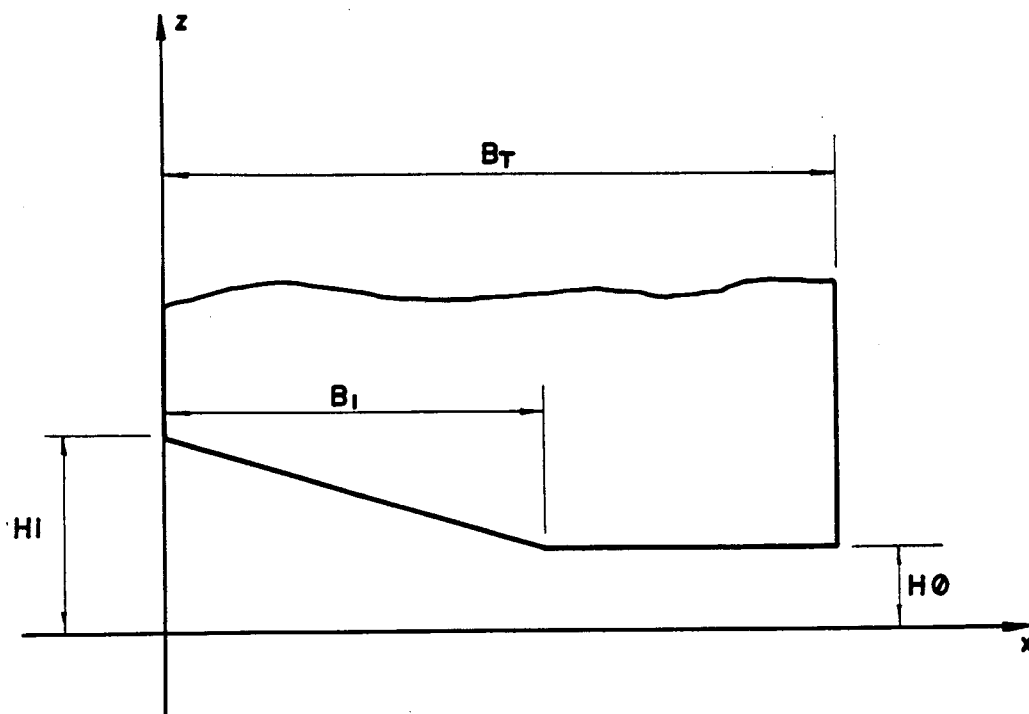


Fig. 17 - Dimensões genéricas de uma sapata plana afuselada

Estes dados devem fazer parte de um registro com o formato especificado na Figura 18, a seguir.

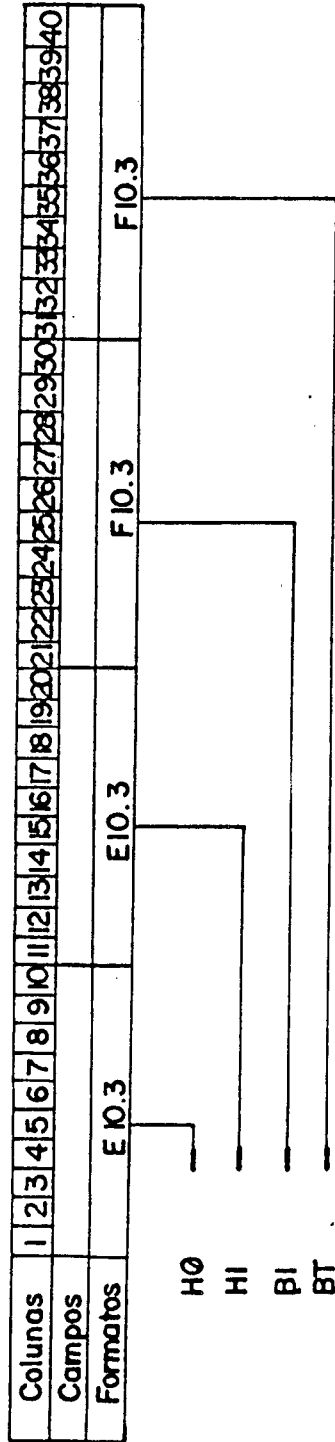


Fig. 18 - Formato do registro contendo as dimensões genéricas da sapata plana afuselada

Supondo que, $H_0 = 60 \mu$, $H_1 = 500 \mu$, $B_1 = 10 \text{cm}$ e $B_T = 15 \text{cm}$, o registro correspondente seria:

0	.	6	0	0	E	-	0	4	0	.	5	0	0	E	-	0	3					0	.	1	0	0					0	.	1	5	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--	--	--	--	---	---	---	---	---	--	--	--	--	---	---	---	---	---

caso a unidade de comprimento adotada fosse o metro.

E - MANCAIS HIDRODINÂMICOS PLANOS COM SAPATA QUALQUER (Caso Geral)

Neste caso, as alturas de filme são introduzidas no a nó, admitindo assim qualquer perfil de sapata.

Logo, para este tipo de problema, os próximos NN registros devem conter as alturas nodais com o formato mostrado na Figura 19.

Colunas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Campos															
Formatos	15					E10.3									

Nº do nó ————

Altura do filme —————

Fig. 19 - Formato de entrada de altura de filme para o caso geral

O restante dos registros são comuns a outros tipos de problemas e serão vistos posteriormente.

F - MANCAIS RADIAIS HIDROSTÁTICOS E HIDRODINÂMICOS

Para o caso dos mancais radiais, o próximo registro deve conter o raio do eixo, raio do mancal, excentricidade e, caso o mancal possua canais de distribuição de lubrificante, deve-se introduzir também número de elementos que estão na região do rebaixo e, por último, a rotação do eixo, de acordo com o formato mostrado na Figura 20.

Colunas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Campos																																													
Formatos	F10.3				F10.3				F10.3				15				F10.3																												
Raio do eixo	_____				_____				_____				_____				_____																												
Raio do mancal	_____				_____				_____				_____				_____																												
Excentricidade	_____				_____				_____				_____				_____																												
Nº elementos em rebaixas	_____				_____				_____				_____				_____																												
Rotação do eixo	_____				_____				_____				_____				_____																												

Fig. 20 - Formato de entrada de R1 , R2 , NER , Ex e NROT para Mancais Radiais

É importante observar que, neste caso, o sistema de coordenadas deve ser posicionado obrigatoriamente com $X = 0$, coincidendo com a reta que une os centros do mancal e do eixo, ou seja, no ponto oposto onde a altura de película é mínima, como pode ser esquematicamente mostrado na Figura 21.

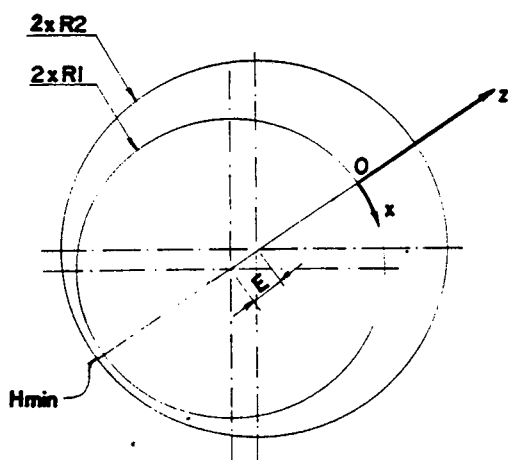


Fig. 21 - Posição do sistema de referência para o caso de mancais radiais plenos

O mesmo procedimento deve ser adotado para mancais radiais parciais como o exemplo da Figura 22.

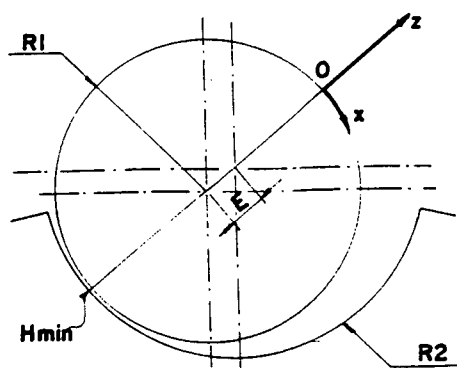


Fig. 22 - Posição do sistema de referência para mancais radiais parciais

Quando existem canais de distribuição de lubrificantes, ou seja, $NER \neq 0$, deve-se fornecer, também, as alturas dos rebaixos para os NER elementos seguindo o formato mostrado na Figura 23, que são os últimos registros de dados para este tipo de problema.

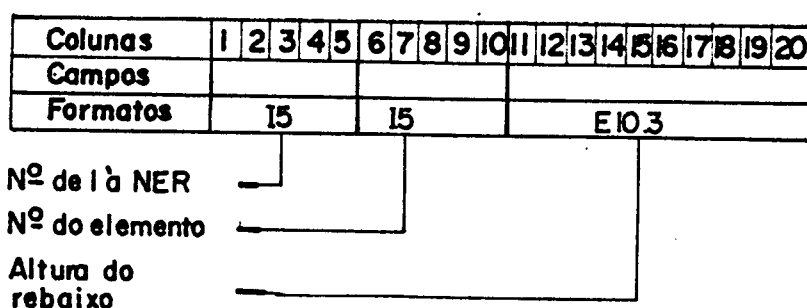


Fig. 23 - Formato dos registros contendo dados dos rebaixos para mancais radiais

Os próximos registros de entrada de dados são comuns a todos os tipos de mancais possíveis de se simular através do programa, exceto o caso de mancais radiais, e referem-se às "ações" nodais, possíveis de serem simuladas, que são: velocidade de operação, forças de corpo, esmagamento do filme fluido e velocidade de difusão.

De acordo com as opções feitas no primeiro registro de entrada de dados (XCASO, YCASO, BCASO, HCASO e YCASO), devem ser introduzidas nó a nó, as "ações" nodais, como segue:

Se a opção XCASO for 1, ou seja, há velocidade relativa na direção X , deve-se introduzir NN registros contendo as velocidades relativas na direção X , em cada nó; o formato de en

trada destas velocidades está especificado na Figura 24.

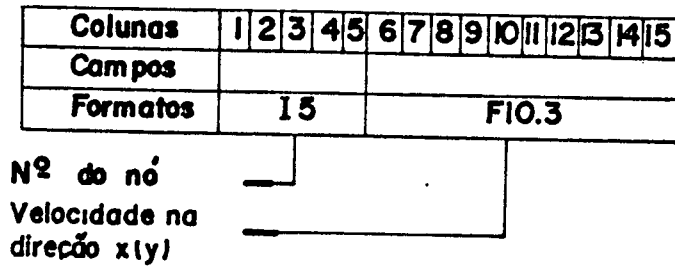


Fig. 24 - Forma do registro de entradas das velocidades nodais na direção x(y) .

Para o caso de XCASO = 0 , nenhum registro deve ser adicionado.

As mesmas considerações são válidas para velocidades relativas na direção Y , ou seja, para o caso de YCASO = 1, deve-se fornecer NN registros com os valores das velocidades relativas na direção Y , obedecendo o mesmo formato especificado na Figura 24.

Após os registros de entradas das velocidades nodais , devem ser adicionados os registros correspondentes às forças de corpo; caso sejam significativas (BCASO = 1). Para tal, são introduzidos NN registros, cujo formato é especificado na Figura 25.

Colunas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Campos																									
Formatos	I5					F10.3										F10.3									

Nº do nó	_____					_____										_____									
Força de corpo na direção x	_____					_____										_____									
Força de corpo na direção y	_____					_____										_____									

Fig. 25 - Formato dos registros de entrada das forças de corpo BX e BY

Caso BCASO = 0 , nenhum registro correspondente às forças de corpo deve ser adicionado.

Para o caso de se considerar o fenômeno de esmagamento do filme lubrificante $h \neq 0$, ou seja, HCASO = 1 , deve-se introduzir NN registros contendo nó a nó, o valor do esmagamento do filme, conforme formato especificado na Figura 26.

Para o caso de não se considerar este fenômeno (HCASO = 0) nenhum registro referente deve ser introduzido.

Colunas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Campos															
Formatos	I5					F10.3									

Nº do nó └──┬──┘

Velocidade de └──────────────────┘
esmagamento

Fig. 26 - Formato do registro de entrada das velocidades de esmagamento de filme

Para o caso de mancais com superfícies porosas onde existe um fluxo de difusão do fluido lubrificante para o interior do corpo do mancal ($VCASO = 1$), deve-se introduzir **NN** registros contendo nó a nó, o valor da velocidade de difusão, seguindo o formato especificado na Figura 27.

Colunas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Campos															
Formatos	I5					F10.3									

Nº do nó └──┬──┘

Velocidade de └──────────────────┘
difusão

Fig. 27 - Formato do registro de entrada das velocidades de difusão

Para o caso do fenômeno de difusão não ser considerado ($VCASO = 0$), nenhum registro deve ser adicionado.

Através de todos os registros definidos anteriormente, tem-se a especificação completa de um problema a ser executado pelo programa, vê-se, que como a quantidade de dados necessários é grande, qualquer engano ou esquecimento de um registro condena completamente a execução.

Para que a montagem dos registros de entradas de dados fique mais clara, será desenvolvido a seguir um exemplo típico deste procedimento.

3. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Considerando-se a sapata afuselada cuja geometria é apresentada na Figura 28 e os dados abaixo relacionados, determinou-se através do programa "Mancais", a capacidade de carga, perfil de pressão e centro de pressão da mesma, desprezando-se outros efeitos que não os devidos à velocidade relativa das superfícies.

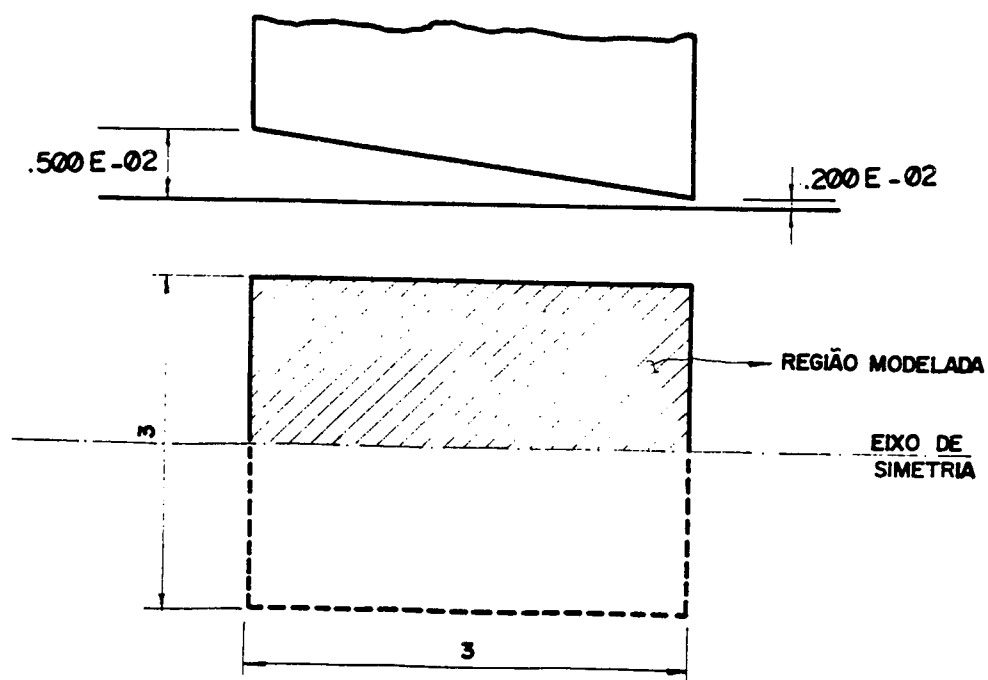


Fig. 28 - Exemplo de uma sapata plana afuselada simulada pelo programa "Mancais"

DADOS DO PROBLEMA:

- . Viscosidade do lubrificante (5W)

$$\mu = 0,6 \cdot 10^{-5} \text{ lb/s.in}$$

- . Velocidade da sapata na direção X.Y

$$V_x = 600 \text{ in/s} \quad V_y = 0$$

- . Alturas máximas e mínimas do filme

$$H_1 = 0,5 \cdot 10^{-2} \text{ in}$$

$$H_0 = 0,2 \cdot 10^{-2} \text{ in}$$

- . Comprimento total, do trecho afuselado e largura da sapata

$$B_T = 3 \text{ in}$$

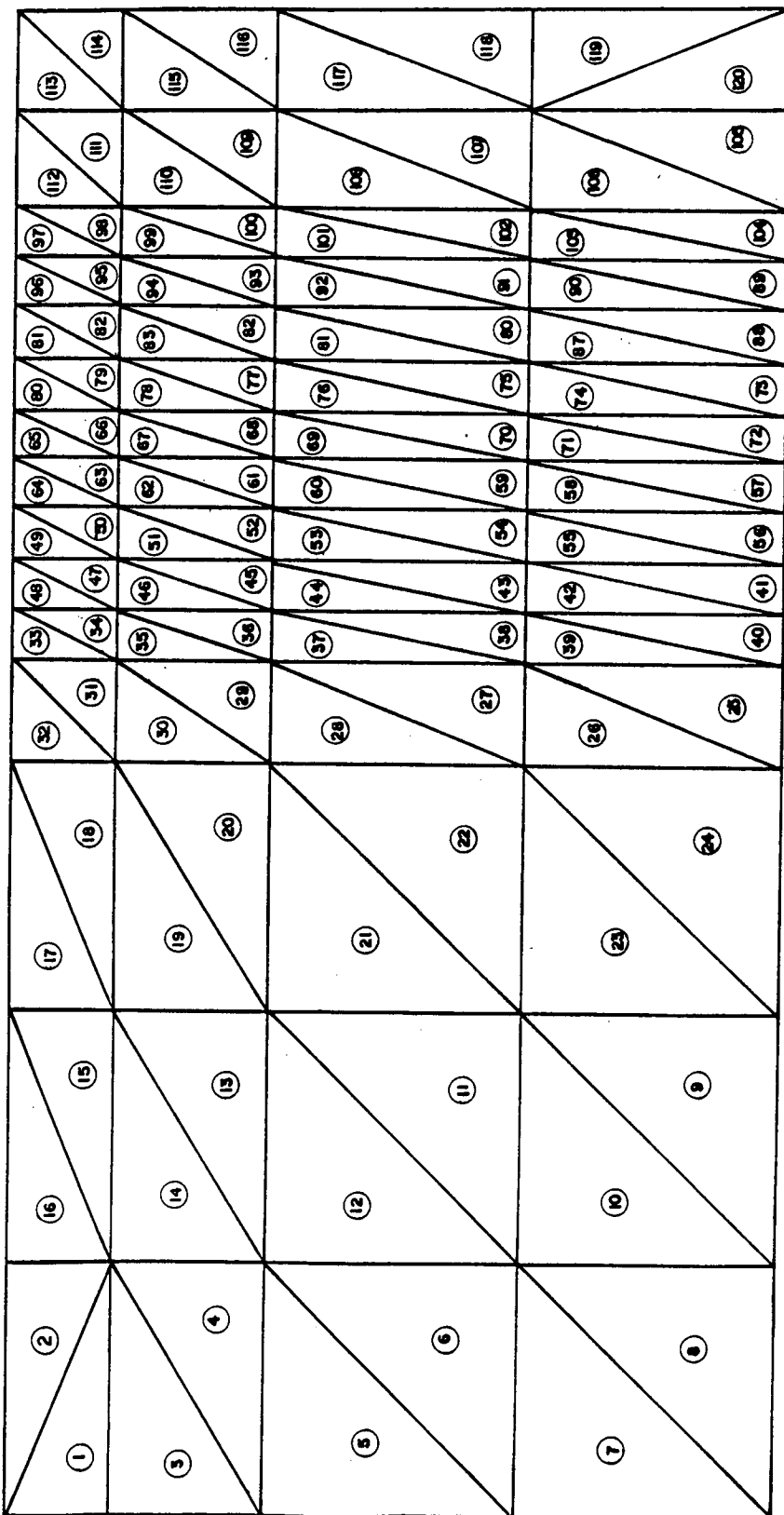
$$B_1 = 3 \text{ in}$$

$$L = 3 \text{ in}$$

De posse de todos os dados necessários à simulação da operação da sapata, Figura 28, o filme fluido foi discretizado. Devido à simetria do problema somente metade da sapata foi considerada.

A malha escolhida está representada na Figura 29, onde se pode perceber que o refinamento está mais acentuado na região onde se espera um maior gradiente de pressão.

NE : 120
 NN : 80



EIXO DE
 SIMETRIA

Fig. 29 — Malha adotada na discretização da sapata da fig. 28, devido à simetria discretizou-se somente metade da sapata.

Da Figura 29, tem-se que a malha possui 120 elementos e 80 nós, aplicando as condições de contorno adequados constatou-se que a pressão nula devia ser especificada em 24 nós, já nos 56 nós restantes o fluxo global poderia ser igualado a zero.

Seguindo os procedimentos descritos neste manual o conjunto dos registros de dados levantados formaram o arquivo de entrada listado no final.

Executando-se o programa obtiveram-se os resultados, também listados a seguir, com os quais pôde-se construir o perfil de pressão mostrado na Figura 30, onde percebe-se que a malha adotada foi adequada.

O arquivo de saída do programa contem:

- . Tipo de problema
- . Viscosidade do lubrificante
- . Número de elementos
- . Número de nós
- . Número de nós com pressões especificadas
- . Número de nós com fluxos especificados
- . Coordenadas nodais
- . Topologia do sistema
- . Condições de contorno
- . Ações nodais
- . Dimensões da sapata
- . Pressões e fluxos extremos
- . Capacidade de carga

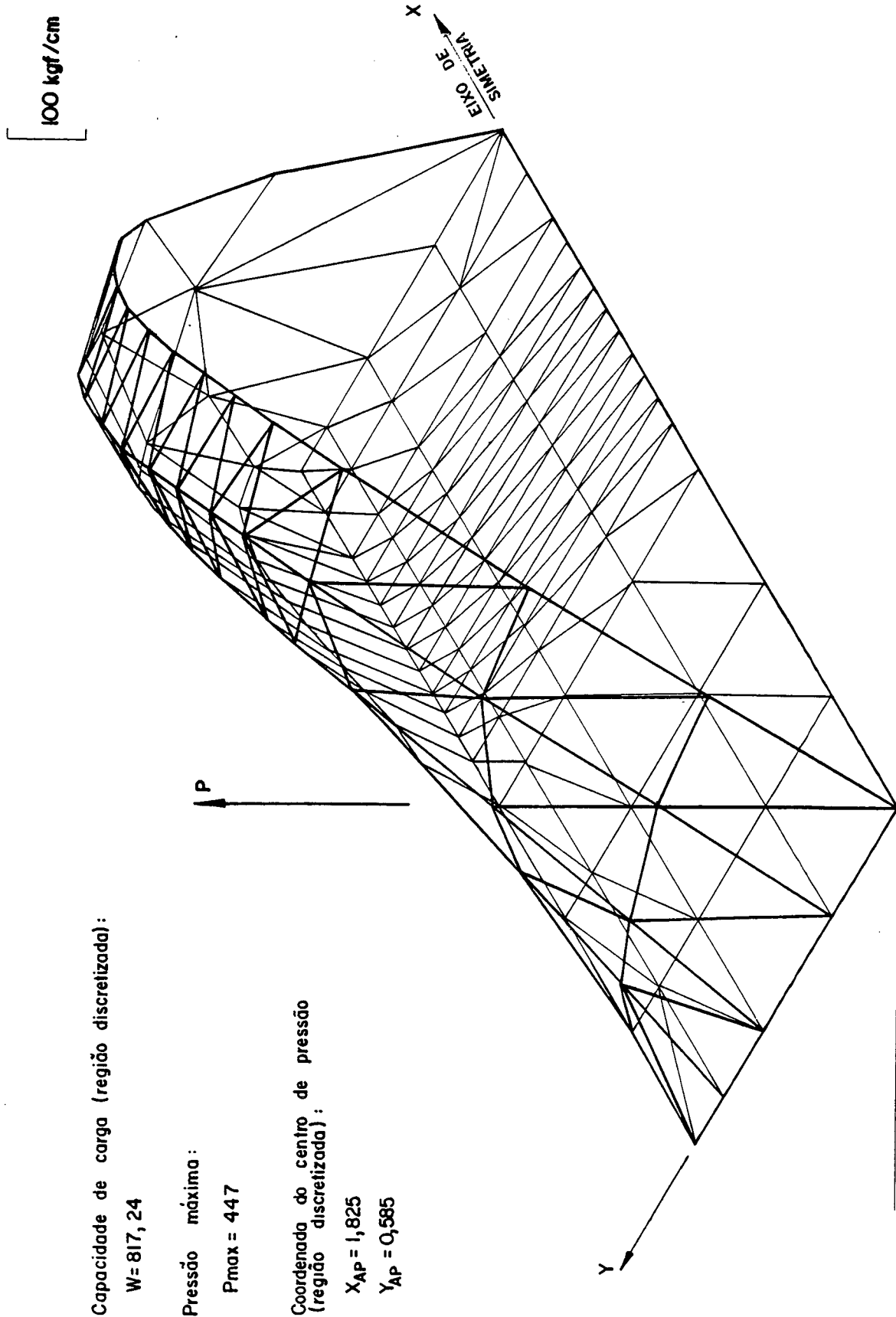


Fig. 30 — Perfil de pressão obtido pelo programa "MANCAIS" para o problema da fig. 28.

. Centro de pressão da região discretizada

Deve-se lembrar que a capacidade de carga e o centro de pressão correspondente, dizem respeito somente à região discretizada.

Neste caso a capacidade de carga é igual ao dobro da obtida pelo programa e a ordenada Y_{AP} não tem validade, pois o centro de pressão está sobre o eixo de simetria, logo:

$$W_T = 2 \cdot T_{CARGA} = 1634,48 \text{ lb}$$

$$X_{AP(REAL)} = X_{AP} = 1,825 \text{ in}$$

$$Y_{AP} = 0,585 \text{ in}$$

$$Y_{AP(REAL)} = 0$$

onde:

W_T · Capacidade de carga da sapata

T_{CARGA} · Capacidade de carga da região discretizada

$X_{AP(REAL)}$ · Ordenada real do centro de pressão

X_{AP} · Ordenada do centro de pressão da região discretizada

$Y_{AP(REAL)}$ · Abcissa real do centro de pressão da sapata

Y_{AP} · Abcissa do centro de pressão da região discretizada

0000
80 24
00E-6

0.000	1.500
0.000	1.300
0.000	1.000
0.000	0.500
0.000	0.000
0.500	0.000
0.500	0.500
0.500	1.000
0.500	1.300
0.500	1.500
1.000	1.500
1.000	1.300
1.000	1.000
1.000	0.500
1.000	0.000
1.500	0.000
1.500	0.500
1.500	1.000
1.500	1.300
1.500	1.500
1.700	1.500
1.700	1.300
1.700	1.000
1.700	0.500
1.700	0.000
1.800	0.000
1.800	0.500
1.800	1.000
1.800	1.300
1.800	1.500
1.900	1.500
1.900	1.300
1.900	1.000
1.900	0.500
1.900	0.000
2.000	0.000
2.000	0.500
2.000	1.000
2.000	1.300
2.000	1.500
2.100	1.500
2.100	1.300
2.100	1.000
2.100	0.500
2.100	0.000
2.200	0.000
2.200	0.500
2.200	1.000
2.200	1.300
2.200	1.500
2.300	1.500
2.300	1.300

2.300	1.000
2.300	0.500
2.300	0.000
2.400	0.000
2.400	0.500
2.400	1.000
2.400	1.300
2.400	1.500
2.500	1.500
2.500	1.300
2.500	1.000
2.500	0.500
2.500	0.000
2.600	0.000
2.600	0.500
2.600	1.000
2.600	1.300
2.600	1.500
2.800	1.500
2.800	1.300
2.800	1.000
2.800	0.500
2.800	0.000
3.000	0.000
3.000	0.500
3.000	1.000
3.000	1.300
3.000	1.500

1	2	9
1	9	10
2	3	9
3	8	9
3	4	8
4	7	8
4	5	7
5	6	7
6	15	14
7	6	14
7	14	13
8	7	13
8	13	12
9	8	12
9	12	11
10	9	11
11	12	20
12	19	20
12	13	19
13	18	19
13	14	18
14	17	18
14	15	17
15	16	17
16	25	24
17	16	24
17	24	23

18	17	23
18	23	22
19	18	22
19	22	21
20	19	21
21	22	30
22	29	30
22	23	29
23	28	29
23	24	28
24	27	28
24	25	27
25	26	27
26	35	34
27	26	34
27	34	33
28	27	33
28	33	32
29	28	32
29	32	31
30	29	31
31	32	40
32	39	40
32	33	39
33	38	39
33	34	38
34	37	38
34	35	37
35	36	37
36	45	44
37	36	44
37	44	43
38	37	43
38	43	42
39	38	42
39	42	41
40	39	41
41	42	50
42	49	50
42	43	49
43	48	49
43	44	48
44	47	48
44	45	47
45	46	47
46	55	54
47	46	54
47	54	53
48	47	53
48	53	52
49	48	52
49	52	51
50	49	51
51	52	60
52	59	60

33	52	53	59
34	53	58	59
35	53	54	58
36	54	57	58
37	54	55	57
38	55	56	57
39	56	65	64
40	57	56	64
41	57	64	63
42	58	57	63
43	58	63	62
44	59	58	62
45	59	62	61
46	60	59	61
47	61	62	70
48	62	69	70
49	62	63	69
50	63	68	69
51	63	64	68
52	64	67	68
53	64	65	67
54	65	66	67
55	66	75	74
56	67	66	74
57	67	74	73
58	68	67	73
59	68	73	72
60	69	68	72
61	69	72	71
62	70	69	71
63	71	72	80
64	72	79	80
65	72	73	79
66	73	78	79
67	73	74	78
68	74	77	78
69	74	76	77
70	74	75	76
71	0..000		
72	0..000		
73	0..000		
74	0..000		
75	0..000		
76	0..000		
77	0..000		
78	0..000		
79	0..000		
80	0..000		
81	0..000		
82	0..000		
83	0..000		
84	0..000		
85	0..000		
86	0..000		
87	0..000		
88	0..000		
89	0..000		
90	0..000		
91	0..000		
92	0..000		
93	0..000		
94	0..000		
95	0..000		
96	0..000		
97	0..000		
98	0..000		
99	0..000		
00	0..000		

70 0.000
71 0.000
76 0.000
77 0.000
78 0.000
79 0.000
80 0.000
6 0.000
7 0.000
8 0.000
9 0.000
12 0.000
13 0.000
14 0.000
15 0.000
16 0.000
17 0.000
18 0.000
19 0.000
22 0.000
23 0.000
24 0.000
25 0.000
26 0.000
27 0.000
28 0.000
29 0.000
32 0.000
33 0.000
34 0.000
35 0.000
36 0.000
37 0.000
38 0.000
39 0.000
42 0.000
43 0.000
44 0.000
45 0.000
46 0.000
47 0.000
48 0.000
49 0.000
52 0.000
53 0.000
54 0.000
55 0.000
56 0.000
57 0.000
58 0.000
59 0.000
62 0.000
63 0.000
64 0.000
65 0.000

47	600.000
48	600.000
49	600.000
50	600.000
51	600.000
52	600.000
53	600.000
54	600.000
55	600.000
56	600.000
57	600.000
58	600.000
59	600.000
60	600.000
61	600.000
62	600.000
63	600.000
64	600.000
65	600.000
66	600.000
67	600.000
68	600.000
69	600.000
70	600.000
71	600.000
72	600.000
73	600.000
74	600.000
75	600.000
76	600.000
77	600.000
78	600.000
79	600.000
80	600.000


```

*****
*
*   LUBRIFICACAO INCOMPRESSIVEL / ASPECTO ISOTERMICO
*
*   SIMULACAO DE MANCAL DE DESLIZAMENTO
*
*   METODO DE ELEMENTOS FINITOS (ELEMENTO TRIANGULO/LINEAR)
*
*****

```

-MANCAL HIDRODINAMICO COM SAPATAS AFUSELADAS

-VISCOSIDADE DO LUBRIFICANTE

MI= 0.600E-05

-NUMERO DE ELEMENTOS

NE= 120

-NUMERO DE NOS DO SISTEMA

NN= 80

-NUMERO DE NOS COM PRESSAO ESPECIFICADA

NNPE= 24

-NUMERO DE NOS COM FLUXO ESPECIFICADO

NNFE= 56

-COORDENADAS NODAIS

NO(I)	XG(I)	YG(I)
1	0.000	1.500
2	0.000	1.300
3	0.000	1.000
4	0.000	0.500
5	0.000	0.000
6	0.500	0.000
7	0.500	0.500
8	0.500	1.000
9	0.500	1.300

10	0.500	1.500
11	1.000	1.500
12	1.000	1.300
13	1.000	1.000
14	1.000	0.500
15	1.000	0.000
16	1.500	0.000
17	1.500	0.500
18	1.500	1.000
19	1.500	1.300
20	1.500	1.500
21	1.700	1.500
22	1.700	1.300
23	1.700	1.000
24	1.700	0.500
25	1.700	0.000
26	1.800	0.000
27	1.800	0.500
28	1.800	1.000
29	1.800	1.300
30	1.800	1.500
31	1.900	1.500
32	1.900	1.300
33	1.900	1.000
34	1.900	0.500
35	1.900	0.000
36	2.000	0.000
37	2.000	0.500
38	2.000	1.000
39	2.000	1.300
40	2.000	1.500
41	2.100	1.500
42	2.100	1.300
43	2.100	1.000
44	2.100	0.500
45	2.100	0.000
46	2.200	0.000
47	2.200	0.500
48	2.200	1.000
49	2.200	1.300
50	2.200	1.500
51	2.300	1.500
52	2.300	1.300
53	2.300	1.000
54	2.300	0.500
55	2.300	0.000
56	2.400	0.000
57	2.400	0.500
58	2.400	1.000
59	2.400	1.300
60	2.400	1.500
61	2.500	1.500
62	2.500	1.300
63	2.500	1.000
64	2.500	0.500

65	2.500	0.000
66	2.600	0.000
67	2.600	0.500
68	2.600	1.000
69	2.600	1.300
70	2.600	1.500
71	2.800	1.500
72	2.800	1.300
73	2.800	1.000
74	2.800	0.500
75	2.800	0.000
76	3.000	0.000
77	3.000	0.500
78	3.000	1.000
79	3.000	1.300
80	3.000	1.500

-TOPOLOGIA DO SISTEMA

ELEMENTO	NO(1)	NO(2)	NO(3)
1	1	2	9
2	1	9	10
3	2	3	9
4	3	8	9
5	3	4	8
6	4	7	8
7	4	5	7
8	5	6	7
9	6	15	14
10	7	6	14
11	7	14	13
12	8	7	13
13	8	13	12
14	9	8	12
15	9	12	11
16	10	9	11
17	11	12	20
18	12	19	20
19	12	13	19
20	13	18	19
21	13	14	18
22	14	17	18
23	14	15	17
24	15	16	17
25	16	25	24
26	17	16	24
27	17	24	23
28	18	17	23
29	18	23	22
30	19	18	22
31	19	22	21

32	20	19	21
33	21	22	30
34	22	29	30
35	22	23	29
36	23	28	29
37	23	24	28
38	24	27	28
39	24	25	27
40	25	26	27
41	26	35	34
42	27	26	34
43	27	34	33
44	28	27	33
45	28	33	32
46	29	28	32
47	29	32	31
48	30	29	31
49	31	32	40
50	32	39	40
51	32	33	39
52	33	38	39
53	33	34	38
54	34	37	38
55	34	35	37
56	35	36	37
57	36	45	44
58	37	36	44
59	37	44	43
60	38	37	43
61	38	43	42
62	39	38	42
63	39	42	41
64	40	39	41
65	41	42	50
66	42	49	50
67	42	43	49
68	43	48	49
69	43	44	48
70	44	47	48
71	44	45	47
72	45	46	47
73	46	55	54
74	47	46	54
75	47	54	53
76	48	47	53
77	48	53	52
78	49	48	52
79	49	52	51
80	50	49	51
81	51	52	60
82	52	59	60
83	52	53	59
84	53	58	59
85	53	54	58
86	54	57	58

87	54	55	57
88	55	56	57
89	56	65	64
90	57	56	64
91	57	64	63
92	58	57	63
93	58	63	62
94	59	58	62
95	59	62	61
96	60	59	61
97	61	62	70
98	62	69	70
99	62	63	69
100	63	68	69
101	63	64	68
102	64	67	68
103	64	65	67
104	65	66	67
105	66	75	74
106	67	66	74
107	67	74	73
108	68	67	73
109	68	73	72
110	69	68	72
111	69	72	71
112	70	69	71
113	71	72	80
114	72	79	80
115	72	73	79
116	73	78	79
117	73	74	78
118	74	77	78
119	74	76	77
120	74	75	76

CONDICOES DE CONTORNO DE PRESSAO

I	NO(I)	PRESSAO
1	1	0.000E+00
2	2	0.000E+00
3	3	0.000E+00
4	4	0.000E+00
5	5	0.000E+00
6	10	0.000E+00
7	11	0.000E+00
8	20	0.000E+00
9	21	0.000E+00
10	30	0.000E+00
11	31	0.000E+00
12	40	0.000E+00
13	41	0.000E+00
14	50	0.000E+00

FILE: MANCAIS SAIDA_10 A1 -CMS HIGH- * * *

15	51	0.000E+00
16	60	0.000E+00
17	61	0.000E+00
18	70	0.000E+00
19	71	0.000E+00
20	76	0.000E+00
21	77	0.000E+00
22	78	0.000E+00
23	79	0.000E+00
24	80	0.000E+00

CONDICOES DE CONTORNO DE FLUXO

I	NO(I)	FLUXO
1	6	0.000E+00
2	7	0.000E+00
3	8	0.000E+00
4	9	0.000E+00
5	12	0.000E+00
6	13	0.000E+00
7	14	0.000E+00
8	15	0.000E+00
9	16	0.000E+00
10	17	0.000E+00
11	18	0.000E+00
12	19	0.000E+00
13	22	0.000E+00
14	23	0.000E+00
15	24	0.000E+00
16	25	0.000E+00
17	26	0.000E+00
18	27	0.000E+00
19	28	0.000E+00
20	29	0.000E+00
21	32	0.000E+00
22	33	0.000E+00
23	34	0.000E+00
24	35	0.000E+00
25	36	0.000E+00
26	37	0.000E+00
27	38	0.000E+00
28	39	0.000E+00
29	42	0.000E+00
30	43	0.000E+00
31	44	0.000E+00
32	45	0.000E+00
33	46	0.000E+00
34	47	0.000E+00
35	48	0.000E+00
36	49	0.000E+00
37	52	0.000E+00
38	53	0.000E+00
39	54	0.000E+00

40	55	0.000E+00
41	56	0.000E+00
42	57	0.000E+00
43	58	0.000E+00
44	59	0.000E+00
45	62	0.000E+00
46	63	0.000E+00
47	64	0.000E+00
48	65	0.000E+00
49	66	0.000E+00
50	67	0.000E+00
51	68	0.000E+00
52	69	0.000E+00
53	72	0.000E+00
54	73	0.000E+00
55	74	0.000E+00
56	75	0.000E+00

-VELOCIDADE NA DIRECAO X

NO(I)	UX
1	600.000
2	600.000
3	600.000
4	600.000
5	600.000
6	600.000
7	600.000
8	600.000
9	600.000
10	600.000
11	600.000
12	600.000
13	600.000
14	600.000
15	600.000
16	600.000
17	600.000
18	600.000
19	600.000
20	600.000
21	600.000
22	600.000
23	600.000
24	600.000
25	600.000
26	600.000
27	600.000
28	600.000
29	600.000
30	600.000
31	600.000

32	600.000
33	600.000
34	600.000
35	600.000
36	600.000
37	600.000
38	600.000
39	600.000
40	600.000
41	600.000
42	600.000
43	600.000
44	600.000
45	600.000
46	600.000
47	600.000
48	600.000
49	600.000
50	600.000
51	600.000
52	600.000
53	600.000
54	600.000
55	600.000
56	600.000
57	600.000
58	600.000
59	600.000
60	600.000
61	600.000
62	600.000
63	600.000
64	600.000
65	600.000
66	600.000
67	600.000
68	600.000
69	600.000
70	600.000
71	600.000
72	600.000
73	600.000
74	600.000
75	600.000
76	600.000
77	600.000
78	600.000
79	600.000
80	600.000

-DIMENSOES DA SAPATA AFUSELADA

-ALTURA MINIMA DO FILME

H0 = 0.200E-02

-ALTURA MAXIMA DO FILME

H1 = 0.500E-02

-COMPRIMENTO DA REGIAO AFUSELADA

B1 = 3.000

-COMPRIMENTO TOTAL DA SAPATA

BT = 3.000

-PRESSOES E FLUXOS EXTERNOS

NO	PRESSAO	FLUXO EXTERNO
1	0.00000	-0.28000
2	0.00000	-0.67239
3	0.00000	-0.97857
4	0.00000	-1.12016
5	0.00000	-0.54067
6	112.66307	0.00000
7	102.11440	0.00000
8	68.78569	0.00000
9	33.48819	0.00000
10	0.00000	0.23322
11	0.00000	0.30831
12	62.13344	0.00000
13	132.90906	0.00000
14	201.58975	0.00000
15	223.07573	0.00000
16	331.83179	0.00000
17	301.77808	0.00000
18	199.48404	0.00000
19	92.94493	0.00000
20	0.00000	0.23586
21	0.00000	0.09243
22	106.72316	0.00000
23	227.32510	0.00000
24	341.41528	0.00000
25	374.89844	0.00000
26	395.10425	0.00000
27	359.90601	0.00000
28	240.68027	0.00000
29	113.52202	0.00000
30	0.00000	0.05769
31	0.00000	0.05572

FILE: MANCAIS SAIDA_10 A1 -CMS HIGH- * * *

32	120.11089	0.00000
33	253.30391	0.00000
34	376.83008	0.00000
35	413.28784	0.00000
36	428.70532	0.00000
37	391.51904	0.00000
38	264.77759	0.00000
39	126.33885	0.00000
40	0.00000	0.05340
41	0.00000	0.05073
42	131.97701	0.00000
43	274.52612	0.00000
44	403.10962	0.00000
45	440.38110	0.00000
46	447.04028	0.00000
47	410.48291	0.00000
48	281.76660	0.00000
49	136.69310	0.00000
50	0.00000	0.04770
51	0.00000	0.04430
52	140.00845	0.00000
53	285.43042	0.00000
54	412.19897	0.00000
55	447.02759	0.00000
56	438.19214	0.00000
57	406.40430	0.00000
58	284.06201	0.00000
59	141.23151	0.00000
60	0.00000	0.04050
61	0.00000	0.03627
62	139.35268	0.00000
63	275.67212	0.00000
64	390.71899	0.00000
65	417.73755	0.00000
66	382.01367	0.00000
67	362.09473	0.00000
68	257.53735	0.00000
69	132.87543	0.00000
70	0.00000	0.04477
71	0.00000	0.04112
72	98.04062	0.00000
73	179.57567	0.00000
74	250.90950	0.00000
75	237.41078	0.00000
76	0.00000	0.40015
77	0.00000	0.77404
78	0.00000	0.59970
79	0.00000	0.34790
80	0.00000	0.12800

-CAPACIDADE DE CARGA DA SAPATA-

TCARGA= 817.24097

E: MANCAIS SAIDA_10 A1 -CMS HIGH- * * *

-CENTRO DE PRESSAO

XAP = 1.825

YAP = 0.585

APÊNDICE - X

ARQUIVO DE ENTRADA PARA O
PROBLEMA 5.2

10000

88 24

000E-6

1	0.000	1.500
2	0.000	1.300
3	0.000	1.000
4	0.000	0.500
5	0.000	0.000
6	0.500	0.000
7	0.500	0.500
8	0.500	1.000
9	0.500	1.300
0	0.500	1.500
1	1.000	1.500
2	1.000	1.300
3	1.000	1.000
4	1.000	0.500
5	1.000	0.000
6	1.500	0.000
7	1.500	0.500
8	1.500	1.000
9	1.500	1.300
0	1.500	1.500
1	1.700	1.500
2	1.700	1.300
3	1.700	1.000
4	1.700	0.500
5	1.700	0.000
6	1.800	0.000
7	1.800	0.500
8	1.800	1.000
9	1.800	1.300
0	1.800	1.500
1	1.900	1.500
2	1.900	1.300
3	1.900	1.000
4	1.900	0.500
5	1.900	0.000
6	2.000	0.000
7	2.000	0.500
8	2.000	1.000
9	2.000	1.300
0	2.000	1.500
1	2.100	1.500
2	2.100	1.300
3	2.100	1.000
4	2.100	0.500
5	2.100	0.000
6	2.200	0.000
7	2.200	0.500
8	2.200	1.000
9	2.200	1.300
0	2.200	1.500
1	2.300	1.500
2	2.300	1.300

3	2.300	1.000
1	2.300	0.500
5	2.300	0.000
6	2.400	0.000
7	2.400	0.500
8	2.400	1.000
7	2.400	1.300
9	2.400	1.500
1	2.500	1.500
2	2.500	1.300
2	2.500	1.000
1	2.500	0.500
5	2.500	0.000
6	2.600	0.000
7	2.600	0.500
8	2.600	1.000
9	2.600	1.300
9	2.600	1.500
1	2.800	1.500
2	2.800	1.300
3	2.800	1.000
1	2.800	0.500
5	2.800	0.000
6	3.000	0.000
7	3.000	0.500
8	3.000	1.000
9	3.000	1.300
9	3.000	1.500

1	2	9
2	9	10
3	3	9
1	8	9
5	4	8
6	7	8
7	5	7
8	6	7
9	15	14
9	6	14
1	14	13
2	7	13
3	13	12
4	8	12
5	12	11
6	9	11
7	12	20
8	19	20
9	13	19
9	18	19
1	13	18
2	14	18
3	14	17
4	15	17
5	16	17
6	25	24
7	16	24
8	24	23

8	10	17	23
9	10	23	22
0	19	18	22
1	19	22	21
2	20	19	21
3	21	22	30
4	22	29	30
5	22	23	29
6	23	28	29
7	23	24	28
8	24	27	28
9	24	25	27
0	25	26	27
1	26	35	34
2	27	26	34
3	27	34	33
4	28	27	33
5	28	33	32
6	29	28	32
7	29	32	31
8	30	29	31
9	31	32	40
0	32	39	40
1	32	33	39
2	33	38	39
3	33	34	38
4	34	37	38
5	34	35	37
6	35	36	37
7	36	45	44
8	37	36	44
9	37	44	43
0	38	37	43
1	38	43	42
2	39	38	42
3	39	42	41
4	40	39	41
5	41	42	50
6	42	49	50
7	42	43	49
8	43	48	49
9	43	44	48
0	44	47	48
1	44	45	47
2	45	46	47
3	46	55	54
4	47	46	54
5	47	54	53
6	48	47	53
7	48	53	52
8	49	48	52
9	49	52	51
0	50	49	51
1	51	52	60
2	52	59	60

83	52	53	59
84	53	58	59
85	53	54	58
86	54	57	58
87	54	55	57
88	55	56	57
89	56	65	64
90	57	56	64
91	57	64	63
92	58	57	63
93	58	63	62
94	59	58	62
95	59	62	61
96	60	59	61
97	61	62	70
98	62	69	70
99	62	63	69
00	63	68	69
01	63	64	68
02	64	67	68
03	64	65	67
04	65	66	67
05	66	75	74
06	67	66	74
07	67	74	73
08	68	67	73
09	68	73	72
10	69	68	72
11	69	72	71
12	70	69	71
13	71	72	80
14	72	79	80
15	72	73	79
16	73	78	79
17	73	74	78
18	74	77	78
19	74	76	77
20	74	75	76

1	0.000
2	0.000
3	0.000
4	0.000
5	0.000
10	0.000
11	0.000
20	0.000
21	0.000
30	0.000
31	0.000
40	0.000
41	0.000
50	0.000
51	0.000
60	0.000
61	0.000

70	0..000
71	0..000
74	0..000
77	0..000
78	0..000
79	0..000
80	0..000
6	0..000
7	0..000
8	0..000
9	0..000
12	0..000
13	0..000
14	0..000
15	0..000
16	0..000
17	0..000
18	0..000
19	0..000
22	0..000
23	0..000
24	0..000
25	0..000
26	0..000
27	0..000
28	0..000
29	0..000
32	0..000
33	0..000
34	0..000
35	0..000
36	0..000
37	0..000
38	0..000
39	0..000
42	0..000
43	0..000
44	0..000
45	0..000
46	0..000
47	0..000
48	0..000
49	0..000
52	0..000
53	0..000
54	0..000
55	0..000
56	0..000
57	0..000
58	0..000
59	0..000
62	0..000
63	0..000
64	0..000
65	0..000

6	0.000		
7	0.000		
8	0.000		
9	0.000		
0	0.000		
1	0.000		
2	0.000		
3	0.000		
4	0.000		
5	0.000		
00E	02.50000E-02	2.200	3.000
1	600.000		
2	600.000		
3	600.000		
4	600.000		
5	600.000		
6	600.000		
7	600.000		
8	600.000		
9	600.000		
0	600.000		
1	600.000		
2	600.000		
3	600.000		
4	600.000		
5	600.000		
6	600.000		
7	600.000		
8	600.000		
9	600.000		
0	600.000		
1	600.000		
2	600.000		
3	600.000		
4	600.000		
5	600.000		
6	600.000		
7	600.000		
8	600.000		
9	600.000		
0	600.000		
1	600.000		
2	600.000		
3	600.000		
4	600.000		
5	600.000		
6	600.000		
7	600.000		
8	600.000		
9	600.000		
0	600.000		
1	600.000		
2	600.000		
3	600.000		
4	600.000		
5	600.000		
6	600.000		
7	600.000		

47 600..000
48 600..000
49 600..000
50 600..000
51 600..000
52 600..000
53 600..000
54 600..000
55 600..000
56 600..000
57 600..000
58 600..000
59 600..000
60 600..000
61 600..000
62 600..000
63 600..000
64 600..000
65 600..000
66 600..000
67 600..000
68 600..000
69 600..000
70 600..000
71 600..000
72 600..000
73 600..000
74 600..000
75 600..000
76 600..000
77 600..000
78 600..000
79 600..000
80 600..000

ARQUIVO DE SAÍDA PARA O
PROBLEMA 5.2

```

*****
*
*   LUBRIFICACAO INCOMPRESSIVEL / ASPECTO ISOTERMICO
*
*   SIMULACAO DE MANCAL DE DESLIZAMENTO
*
*   METODO DE ELEMENTOS FINITOS (ELEMENTO TRIANGULO/LINEAR)
*
*****

```

-MANCAL HIDRODINAMICO COM SAPATAS AFUSELADAS

-VISCOSIDADE DO LUBRIFICANTE

MI= 0.600E-05

-NUMERO DE ELEMENTOS

NE= 120

-NUMERO DE NOS DO SISTEMA

NN= 80

-NUMERO DE NOS COM PRESSAO ESPECIFICADA

NNPE= 24

-NUMERO DE NOS COM FLUXO ESPECIFICADO

NNFE= 56

-COORDENADAS NODAIS

NO(I)	XG(I)	YG(I)
1	0.000	1.500
2	0.000	1.300
3	0.000	1.000
4	0.000	0.500
5	0.000	0.000
6	0.500	0.000
7	0.500	0.500
8	0.500	1.000
9	0.500	1.300

10	0.500	1.500
11	1.000	1.500
12	1.000	1.300
13	1.000	1.000
14	1.000	0.500
15	1.000	0.000
16	1.500	0.000
17	1.500	0.500
18	1.500	1.000
19	1.500	1.300
20	1.500	1.500
21	1.700	1.500
22	1.700	1.300
23	1.700	1.000
24	1.700	0.500
25	1.700	0.000
26	1.800	0.000
27	1.800	0.500
28	1.800	1.000
29	1.800	1.300
30	1.800	1.500
31	1.900	1.500
32	1.900	1.300
33	1.900	1.000
34	1.900	0.500
35	1.900	0.000
36	2.000	0.000
37	2.000	0.500
38	2.000	1.000
39	2.000	1.300
40	2.000	1.500
41	2.100	1.500
42	2.100	1.300
43	2.100	1.000
44	2.100	0.500
45	2.100	0.000
46	2.200	0.000
47	2.200	0.500
48	2.200	1.000
49	2.200	1.300
50	2.200	1.500
51	2.300	1.500
52	2.300	1.300
53	2.300	1.000
54	2.300	0.500
55	2.300	0.000
56	2.400	0.000
57	2.400	0.500
58	2.400	1.000
59	2.400	1.300
60	2.400	1.500
61	2.500	1.500
62	2.500	1.300
63	2.500	1.000
64	2.500	0.500

65	2.500	0.000
66	2.600	0.000
67	2.600	0.500
68	2.600	1.000
69	2.600	1.300
70	2.600	1.500
71	2.800	1.500
72	2.800	1.300
73	2.800	1.000
74	2.800	0.500
75	2.800	0.000
76	3.000	0.000
77	3.000	0.500
78	3.000	1.000
79	3.000	1.300
80	3.000	1.500

-TOPOLOGIA DO SISTEMA

ELEMENTO	NO(1)	NO(2)	NO(3)
1	1	2	9
2	1	9	10
3	2	3	9
4	3	8	9
5	3	4	8
6	4	7	8
7	4	5	7
8	5	6	7
9	6	15	14
10	7	6	14
11	7	14	13
12	8	7	13
13	8	13	12
14	9	8	12
15	9	12	11
16	10	9	11
17	11	12	20
18	12	19	20
19	12	13	19
20	13	18	19
21	13	14	18
22	14	17	18
23	14	15	17
24	15	16	17
25	16	25	24
26	17	16	24
27	17	24	23
28	18	17	23
29	18	23	22
30	19	18	22
31	19	22	21

32	20	19	21
33	21	22	30
34	22	29	30
35	22	23	29
36	23	28	29
37	23	24	28
38	24	27	28
39	24	25	27
40	25	26	27
41	26	35	34
42	27	26	34
43	27	34	33
44	28	27	33
45	28	33	32
46	29	28	32
47	29	32	31
48	30	29	31
49	31	32	40
50	32	39	40
51	32	33	39
52	33	38	39
53	33	34	38
54	34	37	38
55	34	35	37
56	35	36	37
57	36	45	44
58	37	36	44
59	37	44	43
60	38	37	43
61	38	43	42
62	39	38	42
63	39	42	41
64	40	39	41
65	41	42	50
66	42	49	50
67	42	43	49
68	43	48	49
69	43	44	48
70	44	47	48
71	44	45	47
72	45	46	47
73	46	55	54
74	47	46	54
75	47	54	53
76	48	47	53
77	48	53	52
78	49	48	52
79	49	52	51
80	50	49	51
81	51	52	60
82	52	59	60
83	52	53	59
84	53	58	59
85	53	54	58
86	54	57	58

87	54	55	57
88	55	56	57
89	56	65	64
90	57	56	64
91	57	64	63
92	58	57	63
93	58	63	62
94	59	58	62
95	59	62	61
96	60	59	61
97	61	62	70
98	62	69	70
99	62	63	69
100	63	68	69
101	63	64	68
102	64	67	68
103	64	65	67
104	65	66	67
105	66	75	74
106	67	66	74
107	67	74	73
108	68	67	73
109	68	73	72
110	69	68	72
111	69	72	71
112	70	69	71
113	71	72	80
114	72	79	80
115	72	73	79
116	73	78	79
117	73	74	78
118	74	77	78
119	74	76	77
120	74	75	76

INDICES DE CONTORNO DE PRESSAO

I	NO(I)	PRESSAO
1	1	0.000E+00
2	2	0.000E+00
3	3	0.000E+00
4	4	0.000E+00
5	5	0.000E+00
6	10	0.000E+00
7	11	0.000E+00
8	20	0.000E+00
9	21	0.000E+00
10	30	0.000E+00
11	31	0.000E+00
12	40	0.000E+00
13	41	0.000E+00
14	50	0.000E+00

15	51	0.000E+00
16	60	0.000E+00
17	61	0.000E+00
18	70	0.000E+00
19	71	0.000E+00
20	76	0.000E+00
21	77	0.000E+00
22	78	0.000E+00
23	79	0.000E+00
24	80	0.000E+00

INDICOES DE CONTORNO DE FLUXO

I	NO(I)	FLUXO
1	6	0.000E+00
2	7	0.000E+00
3	8	0.000E+00
4	9	0.000E+00
5	12	0.000E+00
6	13	0.000E+00
7	14	0.000E+00
8	15	0.000E+00
9	16	0.000E+00
10	17	0.000E+00
11	18	0.000E+00
12	19	0.000E+00
13	22	0.000E+00
14	23	0.000E+00
15	24	0.000E+00
16	25	0.000E+00
17	26	0.000E+00
18	27	0.000E+00
19	28	0.000E+00
20	29	0.000E+00
21	32	0.000E+00
22	33	0.000E+00
23	34	0.000E+00
24	35	0.000E+00
25	36	0.000E+00
26	37	0.000E+00
27	38	0.000E+00
28	39	0.000E+00
29	42	0.000E+00
30	43	0.000E+00
31	44	0.000E+00
32	45	0.000E+00
33	46	0.000E+00
34	47	0.000E+00
35	48	0.000E+00
36	49	0.000E+00
37	52	0.000E+00
38	53	0.000E+00
39	54	0.000E+00

40	55	0.000E+00
41	56	0.000E+00
42	57	0.000E+00
43	58	0.000E+00
44	59	0.000E+00
45	62	0.000E+00
46	63	0.000E+00
47	64	0.000E+00
48	65	0.000E+00
49	66	0.000E+00
50	67	0.000E+00
51	68	0.000E+00
52	69	0.000E+00
53	72	0.000E+00
54	73	0.000E+00
55	74	0.000E+00
56	75	0.000E+00

-VELOCIDADE NA DIRECAO X

NO(I)	UX
1	600.000
2	600.000
3	600.000
4	600.000
5	600.000
6	600.000
7	600.000
8	600.000
9	600.000
10	600.000
11	600.000
12	600.000
13	600.000
14	600.000
15	600.000
16	600.000
17	600.000
18	600.000
19	600.000
20	600.000
21	600.000
22	600.000
23	600.000
24	600.000
25	600.000
26	600.000
27	600.000
28	600.000
29	600.000
30	600.000
31	600.000

32	600.000
33	600.000
34	600.000
35	600.000
36	600.000
37	600.000
38	600.000
39	600.000
40	600.000
41	600.000
42	600.000
43	600.000
44	600.000
45	600.000
46	600.000
47	600.000
48	600.000
49	600.000
50	600.000
51	600.000
52	600.000
53	600.000
54	600.000
55	600.000
56	600.000
57	600.000
58	600.000
59	600.000
60	600.000
61	600.000
62	600.000
63	600.000
64	600.000
65	600.000
66	600.000
67	600.000
68	600.000
69	600.000
70	600.000
71	600.000
72	600.000
73	600.000
74	600.000
75	600.000
76	600.000
77	600.000
78	600.000
79	600.000
80	600.000

-DIMENSOES DA SAPATA AFUSELADA

-ALTURA MINIMA DO FILME

H0 = 0.200E-02

-ALTURA MAXIMA DO FILME

H1 = 0.500E-02

-COMPRIMENTO DA REGIAO AFUSELADA

B1 = 2.200

-COMPRIMENTO TOTAL DA SAPATA

BT = 3.000

-PRESSOES E FLUXOS EXTERNOS

NO	PRESSAO	FLUXO EXTERNO
1	0.00000	-0.27273
2	0.00000	-0.64093
3	0.00000	-0.89259
4	0.00000	-0.97887
5	0.00000	-0.46816
6	163.18633	0.00000
7	148.30110	0.00000
8	101.01973	0.00000
9	49.49115	0.00000
10	0.00000	0.30746
11	0.00000	0.37903
12	99.51064	0.00000
13	209.59909	0.00000
14	311.70825	0.00000
15	343.37061	0.00000
16	533.78271	0.00000
17	489.74536	0.00000
18	334.69873	0.00000
19	160.46767	0.00000
20	0.00000	0.26601
21	0.00000	0.09353
22	188.48567	0.00000
23	384.80469	0.00000
24	554.10181	0.00000
25	601.34595	0.00000
26	626.86100	0.00000
27	570.11816	0.00000
28	404.58618	0.00000
29	200.58415	0.00000
30	0.00000	0.05420
31	0.00000	0.04093

32	209.47896	0.00000
33	417.55225	0.00000
34	592.37817	0.00000
35	641.31006	0.00000
36	639.22803	0.00000
37	591.82690	0.00000
38	419.44434	0.00000
39	212.55553	0.00000
40	0.00000	0.04290
41	0.00000	0.03603
42	205.20839	0.00000
43	403.83545	0.00000
44	569.18677	0.00000
45	612.68091	0.00000
46	550.04370	0.00000
47	513.88550	0.00000
48	361.02148	0.00000
49	179.22997	0.00000
50	0.00000	0.02607
51	0.00000	0.01585
52	142.66234	0.00000
53	301.06323	0.00000
54	439.08984	0.00000
55	473.70972	0.00000
56	400.14404	0.00000
57	368.43018	0.00600
58	247.40402	0.00000
59	113.50739	0.00000
60	0.00000	0.01261
61	0.00000	0.00991
62	89.20041	0.00000
63	198.85149	0.00000
64	301.34277	0.00000
65	329.11670	0.00000
66	260.31030	0.00000
67	237.24419	0.00000
68	154.31186	0.00000
69	68.11371	0.00000
70	0.00000	0.01135
71	0.00000	0.00718
72	32.32896	0.00000
73	74.34282	0.00000
74	116.23183	0.00000
75	128.23564	0.00000
76	0.00000	0.33562
77	0.00000	0.66457
78	0.00000	0.51304
79	0.00000	0.30898
80	0.00000	0.12000

-CAPACIDADE DE CARGA DA SAPATA

TCARGA= 1055.19189

-CENTRO DE PRESSAO

XAP = 1.667

YAP = 0.584

ARQUIVO DE ENTRADA PARA O
PROBLEMA 5.3

010010000

120 80 24

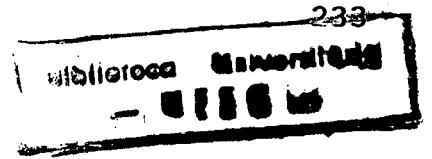
6.00000E-6

1	0.000	1.500
2	0.000	1.300
3	0.000	1.000
4	0.000	0.500
5	0.000	0.000
6	0.500	0.000
7	0.500	0.500
8	0.500	1.000
9	0.500	1.300
10	0.500	1.500
11	1.000	1.500
12	1.000	1.300
13	1.000	1.000
14	1.000	0.500
15	1.000	0.000
16	1.300	0.000
17	1.300	0.500
18	1.300	1.000
19	1.300	1.300
20	1.300	1.500
21	1.500	1.500
22	1.500	1.300
23	1.500	1.000
24	1.500	0.500
25	1.500	0.000
26	1.600	0.000
27	1.600	0.500
28	1.600	1.000
29	1.600	1.300
30	1.600	1.500
31	1.650	1.500
32	1.650	1.300
33	1.650	1.000
34	1.650	0.500
35	1.650	0.000
36	1.700	0.000
37	1.700	0.500
38	1.700	1.000
39	1.700	1.300
40	1.700	1.500
41	1.800	1.500
42	1.800	1.300
43	1.800	1.000
44	1.800	0.500
45	1.800	0.000
46	1.900	0.000
47	1.900	0.500
48	1.900	1.000
49	1.900	1.300
50	1.900	1.500
51	2.000	1.500
52	2.000	1.300

53	2.000	1.000
54	2.000	0.500
55	2.000	0.000
56	2.100	0.000
57	2.100	0.500
58	2.100	1.000
59	2.100	1.300
60	2.100	1.500
61	2.300	1.500
62	2.300	1.300
63	2.300	1.000
64	2.300	0.500
65	2.300	0.000
66	2.500	0.000
67	2.500	0.500
68	2.500	1.000
69	2.500	1.300
70	2.500	1.500
71	2.700	1.500
72	2.700	1.300
73	2.700	1.000
74	2.700	0.500
75	2.700	0.000
76	3.000	0.000
77	3.000	0.500
78	3.000	1.000
79	3.000	1.300
80	3.000	1.500

1	1	2	9
2	1	9	10
3	2	3	9
4	3	8	9
5	3	4	8
6	4	7	8
7	4	5	7
8	5	6	7
9	6	15	14
10	7	6	14
11	7	14	13
12	8	7	13
13	8	13	12
14	9	8	12
15	9	12	11
16	10	9	11
17	11	12	20
18	12	19	20
19	12	13	19
20	13	18	19
21	13	14	18
22	14	17	18
23	14	15	17
24	15	16	17
25	16	25	24
26	17	16	24
27	17	24	23

28	18	17	23
29	18	23	22
30	19	18	22
31	19	22	21
32	20	19	21
33	21	22	30
34	22	29	30
35	22	23	29
36	23	28	29
37	23	24	28
38	24	27	28
39	24	25	27
40	25	26	27
41	26	35	34
42	27	26	34
43	27	34	33
44	28	27	33
45	28	33	32
46	29	28	32
47	29	32	31
48	30	29	31
49	31	32	40
50	32	39	40
51	32	33	39
52	33	38	39
53	33	34	38
54	34	37	38
55	34	35	37
56	35	36	37
57	36	45	44
58	37	36	44
59	37	44	43
60	38	37	43
61	38	43	42
62	39	38	42
63	39	42	41
64	40	39	41
65	41	42	50
66	42	49	50
67	42	43	49
68	43	48	49
69	43	44	48
70	44	47	48
71	44	45	47
72	45	46	47
73	46	55	54
74	47	46	54
75	47	54	53
76	48	47	53
77	48	53	52
78	49	48	52
79	49	52	51
80	50	49	51
81	51	52	60
82	52	59	60



83	52	53	59
84	53	58	59
85	53	54	58
86	54	57	58
87	54	55	57
88	55	56	57
89	56	65	64
90	57	56	64
91	57	64	63
92	58	57	63
93	58	63	62
94	59	58	62
95	59	62	61
96	60	59	61
97	61	62	70
98	62	69	70
99	62	63	69
100	63	68	69
101	63	64	68
102	64	67	68
103	64	65	67
104	65	66	67
105	66	75	74
106	67	66	74
107	67	74	73
108	68	67	73
109	68	73	72
110	69	68	72
111	69	72	71
112	70	69	71
113	71	72	80
114	72	79	80
115	72	73	79
116	73	78	79
117	73	74	78
118	74	77	78
119	74	76	77
120	74	75	76
1	0.000		
2	0.000		
3	0.000		
4	0.000		
5	0.000		
10	0.000		
11	0.000		
20	0.000		
21	0.000		
30	0.000		
31	0.000		
40	0.000		
41	0.000		
50	0.000		
51	0.000		
60	0.000		
61	0.000		

70	0.000
71	0.000
76	0.000
77	0.000
78	0.000
79	0.000
80	0.000
6	0.000
7	0.000
8	0.000
9	0.000
12	0.000
13	0.000
14	0.000
15	0.000
16	0.000
17	0.000
18	0.000
19	0.000
22	0.000
23	0.000
24	0.000
25	0.000
26	0.000
27	0.000
28	0.000
29	0.000
32	0.000
33	0.000
34	0.000
35	0.000
36	0.000
37	0.000
38	0.000
39	0.000
42	0.000
43	0.000
44	0.000
45	0.000
46	0.000
47	0.000
48	0.000
49	0.000
52	0.000
53	0.000
54	0.000
55	0.000
56	0.000
57	0.000
58	0.000
59	0.000
62	0.000
63	0.000
64	0.000
65	0.000

66	0.000
67	0.000
68	0.000
69	0.000
72	0.000
73	0.000
74	0.000
75	0.000
1	.500E-02
2	.500E-02
3	.500E-02
4	.500E-02
5	.500E-02
6	.500E-02
7	.500E-02
8	.500E-02
9	.500E-02
10	.500E-02
11	.500E-02
12	.500E-02
13	.500E-02
14	.500E-02
15	.500E-02
16	.500E-02
17	.500E-02
18	.500E-02
19	.500E-02
20	.500E-02
21	.500E-02
22	.500E-02
23	.500E-02
24	.500E-02
25	.500E-02
26	.500E-02
27	.500E-02
28	.500E-02
29	.500E-02
30	.500E-02
31	.500E-02
32	.500E-02
33	.500E-02
34	.500E-02
35	.500E-02
36	.500E-02
37	.500E-02
38	.500E-02
39	.500E-02
40	.500E-02
41	.500E-02
42	.500E-02
43	.500E-02
44	.500E-02
45	.500E-02
46	.500E-02
47	.500E-02

48	.500E-02
49	.500E-02
50	.500E-02
51	.500E-02
52	.500E-02
53	.500E-02
54	.500E-02
55	.500E-02
56	.500E-02
57	.200E-02
58	.200E-02
59	.200E-02
60	.200E-02
61	.200E-02
62	.200E-02
63	.200E-02
64	.200E-02
65	.200E-02
66	.200E-02
67	.200E-02
68	.200E-02
69	.200E-02
70	.200E-02
71	.200E-02
72	.200E-02
73	.200E-02
74	.200E-02
75	.200E-02
76	.200E-02
77	.200E-02
78	.200E-02
79	.200E-02
80	.200E-02
81	.200E-02
82	.200E-02
83	.200E-02
84	.200E-02
85	.200E-02
86	.200E-02
87	.200E-02
88	.200E-02
89	.200E-02
90	.200E-02
91	.200E-02
92	.200E-02
93	.200E-02
94	.200E-02
95	.200E-02
96	.200E-02
97	.200E-02
98	.200E-02
99	.200E-02
100	.200E-02
101	.200E-02
102	.200E-02

03	.200E-02
04	.200E-02
05	.200E-02
06	.200E-02
07	.200E-02
08	.200E-02
09	.200E-02
10	.200E-02
11	.200E-02
12	.200E-02
13	.200E-02
14	.200E-02
15	.200E-02
16	.200E-02
17	.200E-02
18	.200E-02
19	.200E-02
20	.200E-02
1	600.000
2	600.000
3	600.000
4	600.000
5	600.000
6	600.000
7	600.000
8	600.000
9	600.000
10	600.000
11	600.000
12	600.000
13	600.000
14	600.000
15	600.000
16	600.000
17	600.000
18	600.000
19	600.000
20	600.000
21	600.000
22	600.000
23	600.000
24	600.000
25	600.000
26	600.000
27	600.000
28	600.000
29	600.000
30	600.000
31	600.000
32	600.000
33	600.000
34	600.000
35	600.000
36	600.000
37	600.000

38	600.000
39	600.000
40	600.000
41	600.000
42	600.000
43	600.000
44	600.000
45	600.000
46	600.000
47	600.000
48	600.000
49	600.000
50	600.000
51	600.000
52	600.000
53	600.000
54	600.000
55	600.000
56	600.000
57	600.000
58	600.000
59	600.000
60	600.000
61	600.000
62	600.000
63	600.000
64	600.000
65	600.000
66	600.000
67	600.000
68	600.000
69	600.000
70	600.000
71	600.000
72	600.000
73	600.000
74	600.000
75	600.000
76	600.000
77	600.000
78	600.000
79	600.000
80	600.000

ARQUIVO DE SAÍDA PARA O
PROBLEMA 5.3

```

*****
*
*   LUBRIFICACAO INCOMPRESSIVEL / ASPECTO ISOTERMICO
*
*   SIMULACAO DE MANCAL DE DESLIZAMENTO
*
*   METODO DE ELEMENTOS FINITOS (ELEMENTO TRIANGULO/LINEAR)
*
*****

```

-MANCAL HIDRODINAMICO COM SAPATAS EM DEGRAU

-VISCOSIDADE DO LUBRIFICANTE

MI= 0.600E-05

-NUMERO DE ELEMENTOS

NE= 120

-NUMERO DE NOS DO SISTEMA

NN= 80

-NUMERO DE NOS COM PRESSAO ESPECIFICADA

NNPE= 24

-NUMERO DE NOS COM FLUXO ESPECIFICADO

NNFE= 56

-COORDENADAS NODAIS

NO(I)	XG(I)	YG(I)
1	0.000	1.500
2	0.000	1.300
3	0.000	1.000
4	0.000	0.500
5	0.000	0.000
6	0.500	0.000
7	0.500	0.500
8	0.500	1.000
9	0.500	1.300

10	0.500	1.500
11	1.000	1.500
12	1.000	1.300
13	1.000	1.000
14	1.000	0.500
15	1.000	0.000
16	1.300	0.000
17	1.300	0.500
18	1.300	1.000
19	1.300	1.300
20	1.300	1.500
21	1.500	1.500
22	1.500	1.300
23	1.500	1.000
24	1.500	0.500
25	1.500	0.000
26	1.600	0.000
27	1.600	0.500
28	1.600	1.000
29	1.600	1.300
30	1.600	1.500
31	1.650	1.500
32	1.650	1.300
33	1.650	1.000
34	1.650	0.500
35	1.650	0.000
36	1.700	0.000
37	1.700	0.500
38	1.700	1.000
39	1.700	1.300
40	1.700	1.500
41	1.800	1.500
42	1.800	1.300
43	1.800	1.000
44	1.800	0.500
45	1.800	0.000
46	1.900	0.000
47	1.900	0.500
48	1.900	1.000
49	1.900	1.300
50	1.900	1.500
51	2.000	1.500
52	2.000	1.300
53	2.000	1.000
54	2.000	0.500
55	2.000	0.000
56	2.100	0.000
57	2.100	0.500
58	2.100	1.000
59	2.100	1.300
60	2.100	1.500
61	2.300	1.500
62	2.300	1.300
63	2.300	1.000
64	2.300	0.500

65	2.300	0.000
66	2.500	0.000
67	2.500	0.500
68	2.500	1.000
69	2.500	1.300
70	2.500	1.500
71	2.700	1.500
72	2.700	1.300
73	2.700	1.000
74	2.700	0.500
75	2.700	0.000
76	3.000	0.000
77	3.000	0.500
78	3.000	1.000
79	3.000	1.300
80	3.000	1.500

-TOPOLOGIA DO SISTEMA

ELEMENTO	NO(1)	NO(2)	NO(3)
1	1	2	9
2	1	9	10
3	2	3	9
4	3	8	9
5	3	4	8
6	4	7	8
7	4	5	7
8	5	6	7
9	6	15	14
10	7	6	14
11	7	14	13
12	8	7	13
13	8	13	12
14	9	8	12
15	9	12	11
16	10	9	11
17	11	12	20
18	12	19	20
19	12	13	19
20	13	18	19
21	13	14	18
22	14	17	18
23	14	15	17
24	15	16	17
25	16	25	24
26	17	16	24
27	17	24	23
28	18	17	23
29	18	23	22
30	19	18	22
31	19	22	21

32	20	19	21
33	21	22	30
34	22	29	30
35	22	23	29
36	23	28	29
37	23	24	28
38	24	27	28
39	24	25	27
40	25	26	27
41	26	35	34
42	27	26	34
43	27	34	33
44	28	27	33
45	28	33	32
46	29	28	32
47	29	32	31
48	30	29	31
49	31	32	40
50	32	39	40
51	32	33	39
52	33	38	39
53	33	34	38
54	34	37	38
55	34	35	37
56	35	36	37
57	36	45	44
58	37	36	44
59	37	44	43
60	38	37	43
61	38	43	42
62	39	38	42
63	39	42	41
64	40	39	41
65	41	42	50
66	42	49	50
67	42	43	49
68	43	48	49
69	43	44	48
70	44	47	48
71	44	45	47
72	45	46	47
73	46	55	54
74	47	46	54
75	47	54	53
76	48	47	53
77	48	53	52
78	49	48	52
79	49	52	51
80	50	49	51
81	51	52	60
82	52	59	60
83	52	53	59
84	53	58	59
85	53	54	58
86	54	57	58

87	54	55	57
88	55	56	57
89	56	65	64
90	57	56	64
91	57	64	63
92	58	57	63
93	58	63	62
94	59	58	62
95	59	62	61
96	60	59	61
97	61	62	70
98	62	69	70
99	62	63	69
100	63	68	69
101	63	64	68
102	64	67	68
103	64	65	67
104	65	66	67
105	66	75	74
106	67	66	74
107	67	74	73
108	68	67	73
109	68	73	72
110	69	68	72
111	69	72	71
112	70	69	71
113	71	72	80
114	72	79	80
115	72	73	79
116	73	78	79
117	73	74	78
118	74	77	78
119	74	76	77
120	74	75	76

DICOES DE CONTORNO DE PRESSAO

I	NO(I)	PRESSAO
1	1	0.000E+00
2	2	0.000E+00
3	3	0.000E+00
4	4	0.000E+00
5	5	0.000E+00
6	10	0.000E+00
7	11	0.000E+00
8	20	0.000E+00
9	21	0.000E+00
10	30	0.000E+00
11	31	0.000E+00
12	40	0.000E+00
13	41	0.000E+00
14	50	0.000E+00

15	51	0.000E+00
16	60	0.000E+00
17	61	0.000E+00
18	70	0.000E+00
19	71	0.000E+00
20	76	0.000E+00
21	77	0.000E+00
22	78	0.000E+00
23	79	0.000E+00
24	80	0.000E+00

DICOES DE CONTORNO DE FLUXO

I	NO(I)	FLUXO
1	6	0.000E+00
2	7	0.000E+00
3	8	0.000E+00
4	9	0.000E+00
5	12	0.000E+00
6	13	0.000E+00
7	14	0.000E+00
8	15	0.000E+00
9	16	0.000E+00
10	17	0.000E+00
11	18	0.000E+00
12	19	0.000E+00
13	22	0.000E+00
14	23	0.000E+00
15	24	0.000E+00
16	25	0.000E+00
17	26	0.000E+00
18	27	0.000E+00
19	28	0.000E+00
20	29	0.000E+00
21	32	0.000E+00
22	33	0.000E+00
23	34	0.000E+00
24	35	0.000E+00
25	36	0.000E+00
26	37	0.000E+00
27	38	0.000E+00
28	39	0.000E+00
29	42	0.000E+00
30	43	0.000E+00
31	44	0.000E+00
32	45	0.000E+00
33	46	0.000E+00
34	47	0.000E+00
35	48	0.000E+00
36	49	0.000E+00
37	52	0.000E+00
38	53	0.000E+00
39	54	0.000E+00

40	55	0.000E+00
41	56	0.000E+00
42	57	0.000E+00
43	58	0.000E+00
44	59	0.000E+00
45	62	0.000E+00
46	63	0.000E+00
47	64	0.000E+00
48	65	0.000E+00
49	66	0.000E+00
50	67	0.000E+00
51	68	0.000E+00
52	69	0.000E+00
53	72	0.000E+00
54	73	0.000E+00
55	74	0.000E+00
56	75	0.000E+00

--VELOCIDADE NA DIRECAO X

NO(I)	UX
1	600.000
2	600.000
3	600.000
4	600.000
5	600.000
6	600.000
7	600.000
8	600.000
9	600.000
10	600.000
11	600.000
12	600.000
13	600.000
14	600.000
15	600.000
16	600.000
17	600.000
18	600.000
19	600.000
20	600.000
21	600.000
22	600.000
23	600.000
24	600.000
25	600.000
26	600.000
27	600.000
28	600.000
29	600.000
30	600.000
31	600.000

32	600.000
33	600.000
34	600.000
35	600.000
36	600.000
37	600.000
38	600.000
39	600.000
40	600.000
41	600.000
42	600.000
43	600.000
44	600.000
45	600.000
46	600.000
47	600.000
48	600.000
49	600.000
50	600.000
51	600.000
52	600.000
53	600.000
54	600.000
55	600.000
56	600.000
57	600.000
58	600.000
59	600.000
60	600.000
61	600.000
62	600.000
63	600.000
64	600.000
65	600.000
66	600.000
67	600.000
68	600.000
69	600.000
70	600.000
71	600.000
72	600.000
73	600.000
74	600.000
75	600.000
76	600.000
77	600.000
78	600.000
79	600.000
80	600.000

-DISTRIBUICAO DAS ALTURAS DE FILME (POR ELEMENTO)

ELEMENTO

ALTURA DE FILME

1	0.500E-02
2	0.500E-02
3	0.500E-02
4	0.500E-02
5	0.500E-02
6	0.500E-02
7	0.500E-02
8	0.500E-02
9	0.500E-02
10	0.500E-02
11	0.500E-02
12	0.500E-02
13	0.500E-02
14	0.500E-02
15	0.500E-02
16	0.500E-02
17	0.500E-02
18	0.500E-02
19	0.500E-02
20	0.500E-02
21	0.500E-02
22	0.500E-02
23	0.500E-02
24	0.500E-02
25	0.500E-02
26	0.500E-02
27	0.500E-02
28	0.500E-02
29	0.500E-02
30	0.500E-02
31	0.500E-02
32	0.500E-02
33	0.500E-02
34	0.500E-02
35	0.500E-02
36	0.500E-02
37	0.500E-02
38	0.500E-02
39	0.500E-02
40	0.500E-02
41	0.500E-02
42	0.500E-02
43	0.500E-02
44	0.500E-02
45	0.500E-02
46	0.500E-02
47	0.500E-02
48	0.500E-02
49	0.500E-02
50	0.500E-02
51	0.500E-02
52	0.500E-02
53	0.500E-02
54	0.500E-02
55	0.500E-02

56	0.500E-02
57	0.200E-02
58	0.200E-02
59	0.200E-02
60	0.200E-02
61	0.200E-02
62	0.200E-02
63	0.200E-02
64	0.200E-02
65	0.200E-02
66	0.200E-02
67	0.200E-02
68	0.200E-02
69	0.200E-02
70	0.200E-02
71	0.200E-02
72	0.200E-02
73	0.200E-02
74	0.200E-02
75	0.200E-02
76	0.200E-02
77	0.200E-02
78	0.200E-02
79	0.200E-02
80	0.200E-02
81	0.200E-02
82	0.200E-02
83	0.200E-02
84	0.200E-02
85	0.200E-02
86	0.200E-02
87	0.200E-02
88	0.200E-02
89	0.200E-02
90	0.200E-02
91	0.200E-02
92	0.200E-02
93	0.200E-02
94	0.200E-02
95	0.200E-02
96	0.200E-02
97	0.200E-02
98	0.200E-02
99	0.200E-02
100	0.200E-02
101	0.200E-02
102	0.200E-02
103	0.200E-02
104	0.200E-02
105	0.200E-02
106	0.200E-02
107	0.200E-02
108	0.200E-02
109	0.200E-02
110	0.200E-02

111	0.200E-02
112	0.200E-02
113	0.200E-02
114	0.200E-02
115	0.200E-02
116	0.200E-02
117	0.200E-02
118	0.200E-02
119	0.200E-02
120	0.200E-02

-PRESSOES E FLUXOS EXTERNOS

NO	PRESSAO	FLUXO EXTERNO
1	0.00000	-0.30000
2	0.00000	-0.71126
3	0.00000	-1.05239
4	0.00000	-1.18897
5	0.00000	-0.57301
6	101.94472	0.00000
7	89.57748	0.00000
8	53.13841	0.00000
9	22.31425	0.00000
10	0.00000	0.19370
11	0.00000	0.37120
12	53.45345	0.00000
13	124.94366	0.00000
14	203.22745	0.00000
15	228.62137	0.00000
16	329.00659	0.00000
17	296.80420	0.00000
18	192.54831	0.00000
19	86.03929	0.00000
20	0.00000	0.37343
21	0.00000	0.31978
22	122.79646	0.00000
23	255.93358	0.00000
24	373.59961	0.00000
25	408.81201	0.00000
26	452.94067	0.00000
27	416.94287	0.00000
28	295.44385	0.00000
29	151.38742	0.00000
30	0.00000	0.19712
31	0.00000	0.14742
32	169.83379	0.00000
33	317.42187	0.00000
34	439.89600	0.00000
35	476.08447	0.00000
36	499.94800	0.00000
37	463.71460	0.00000
38	340.94165	0.00000

39	191.85213	0.00000
40	0.00000	0.27373
41	0.00000	0.01682
42	151.40945	0.00000
43	293.70093	0.00000
44	413.24683	0.00000
45	448.56738	0.00000
46	400.00952	0.00000
47	366.14648	0.00000
48	252.33879	0.00000
49	122.27682	0.00000
50	0.00000	0.01359
51	0.00000	0.01114
52	100.25790	0.00000
53	216.12439	0.00000
54	322.24365	0.00000
55	354.16089	0.00000
56	310.86475	0.00000
57	281.30084	0.00000
58	184.25964	0.00000
59	82.84204	0.00000
60	0.00000	0.01381
61	0.00000	0.01270
62	57.14803	0.00000
63	131.32741	0.00000
64	207.53961	0.00000
65	231.36942	0.00000
66	159.49786	0.00000
67	142.15108	0.00000
68	67.87910	0.00000
69	37.60995	0.00000
70	0.00000	0.00836
71	0.00000	0.00593
72	21.34952	0.00000
73	50.33267	0.00000
74	82.67122	0.00000
75	93.17775	0.00000
76	0.00000	0.31725
77	0.00000	0.63062
78	0.00000	0.49491
79	0.00000	0.30395
80	0.00000	0.12000

-CAPACIDADE DE CARGA DA SAPATA

TCARGA= 653.85376

-CENTRO DE PRESSAO

XAP = 1.612

YAP = 0.578

ARQUIVO DE ENTRADA PARA O
PROBLEMA 5.4

20111000

96 63 28 35

.0000E-06

1	0.000	4.000
2	0.000	3.500
3	0.000	3.000
4	0.000	2.000
5	0.000	1.000
6	0.000	0.500
7	0.000	0.000
8	0.436	0.009
9	0.414	0.509
10	0.392	1.008
11	0.349	2.007
12	0.301	3.006
13	0.283	3.506
14	0.262	4.006
15	0.523	4.023
16	0.566	3.524
17	0.610	3.027
18	0.697	2.030
19	0.784	1.034
20	0.827	0.536
21	0.871	0.038
22	1.736	0.152
23	1.650	0.644
24	1.563	1.137
25	1.389	2.121
26	1.215	3.106
27	1.129	3.598
28	1.042	4.091
29	1.553	4.204
30	1.682	3.721
31	1.812	3.238
32	2.070	2.272
33	2.329	1.306
34	2.458	0.823
35	2.588	0.341
36	3.420	0.603
37	3.249	1.073
38	3.078	1.543
39	2.736	2.482
40	2.394	3.422
41	2.223	3.891
42	2.052	4.361
43	2.536	4.562
44	2.747	4.109
45	2.958	3.656
46	3.381	2.749
47	3.803	1.843
48	4.015	1.390
49	4.226	0.937
50	4.617	1.130
51	4.387	1.573
52	4.156	2.017

53	3.694	2.904
54	3.232	3.790
55	3.001	4.234
56	2.770	4.678
57	3.000	4.804
58	3.250	4.370
59	3.500	3.938
60	4.000	3.072
61	4.500	2.206
62	4.750	1.773
63	5.000	1.340

1	1	13	14
2	1	2	13
3	2	3	13
4	3	12	13
5	3	4	12
6	4	11	12
7	4	5	11
8	5	10	11
9	5	6	10
10	6	9	10
11	6	7	9
12	7	8	9
13	8	21	20
14	9	8	20
15	9	20	19
16	10	9	19
17	10	19	18
18	11	10	18
19	11	18	17
20	12	11	17
21	12	17	16
22	13	12	16
23	13	16	15
24	14	13	15
25	15	16	28
26	16	27	28
27	16	17	27
28	17	26	27
29	17	18	26
30	18	25	26
31	18	19	25
32	19	24	25
33	19	20	24
34	20	23	24
35	20	21	23
36	21	22	23
37	22	35	34
38	23	22	34
39	23	34	33
40	24	23	33
41	24	33	32
42	25	24	32
43	25	32	31
44	26	25	31

45	26	31	30
46	27	26	30
47	27	30	29
48	28	27	29
49	29	30	42
50	30	41	42
51	30	31	41
52	31	40	41
53	31	32	40
54	32	39	40
55	32	33	39
56	33	38	39
57	33	34	38
58	34	37	38
59	34	35	37
60	35	36	37
61	36	49	48
62	37	36	48
63	37	48	47
64	38	37	47
65	38	47	46
66	39	38	46
67	39	46	45
68	40	39	45
69	40	45	44
70	41	40	44
71	41	44	43
72	42	41	43
73	43	44	56
74	44	55	56
75	44	45	55
76	45	54	55
77	45	46	54
78	46	53	54
79	46	47	53
80	47	52	53
81	47	48	52
82	48	51	52
83	48	49	51
84	49	50	51
85	51	50	63
86	51	63	62
87	51	62	61
88	52	51	61
89	52	61	60
90	53	52	60
91	53	60	59
92	54	53	59
93	54	59	58
94	55	54	58
95	55	58	57
96	56	55	57
1	0.000		
2	0.000		
3	0.000		

4	0.000
5	0.000
6	0.000
7	0.000
8	0.000
14	0.000
15	0.000
21	0.000
22	0.000
28	0.000
29	0.000
35	0.000
36	0.000
42	0.000
43	0.000
49	0.000
50	0.000
56	0.000
57	0.000
58	0.000
59	0.000
60	0.000
61	0.000
62	0.000
63	0.000
9	0.000
10	0.000
11	0.000
12	0.000
13	0.000
16	0.000
17	0.000
18	0.000
19	0.000
20	0.000
23	0.000
24	0.000
25	0.000
26	0.000
27	0.000
30	0.000
31	0.000
32	0.000
33	0.000
34	0.000
37	0.000
38	0.000
39	0.000
40	0.000
41	0.000
44	0.000
45	0.000
46	0.000
47	0.000
48	0.000

51	0.000
52	0.000
53	0.000
54	0.000
55	0.000
1	.500E-02
2	.500E-02
3	.500E-02
4	.500E-02
5	.500E-02
6	.500E-02
7	.500E-02
8	.462E-02
9	.462E-02
10	.462E-02
11	.462E-02
12	.462E-02
13	.462E-02
14	.462E-02
15	.425E-02
16	.425E-02
17	.425E-02
18	.425E-02
19	.425E-02
20	.425E-02
21	.425E-02
22	.350E-02
23	.350E-02
24	.350E-02
25	.350E-02
26	.350E-02
27	.350E-02
28	.350E-02
29	.275E-02
30	.275E-02
31	.275E-02
32	.275E-02
33	.275E-02
34	.275E-02
35	.275E-02
36	.200E-02
37	.200E-02
38	.200E-02
39	.200E-02
40	.200E-02
41	.200E-02
42	.200E-02
43	.200E-02
44	.200E-02
45	.200E-02
46	.200E-02
47	.200E-02
48	.200E-02
49	.200E-02
50	.200E-02

51	.200E-02
52	.200E-02
53	.200E-02
54	.200E-02
55	.200E-02
56	.200E-02
57	.200E-02
58	.200E-02
59	.200E-02
60	.200E-02
61	.200E-02
62	.200E-02
63	.200E-02
1	753.982
2	816.814
3	879.646
4	1005.310
5	1130.970
6	1193.800
7	1256.640
8	1255.440
9	1192.670
10	1129.900
11	1004.350
12	878.808
13	816.036
14	753.264
15	751.113
16	813.706
17	876.298
18	1001.480
19	1126.670
20	1189.260
21	1251.850
22	1237.550
23	1175.670
24	1113.790
25	990.036
26	866.282
27	804.405
28	742.527
29	728.291
30	788.982
31	849.672
32	971.054
33	1092.440
34	1153.130
35	1213.820
36	1180.850
37	1121.810
38	1062.770
39	944.682
40	826.596
41	767.554
42	708.511

43	683.340
44	740.285
45	797.230
46	911.120
47	1025.010
48	1081.950
49	1138.900
50	1114.650
51	1058.920
52	1003.190
53	891.720
54	780.255
55	724.523
56	668.790
57	652.967
58	707.382
59	761.795
60	870.624
61	979.451
62	1033.870
63	1088.280
1	000.000
2	000.000
3	000.000
4	000.000
5	000.000
6	000.000
7	000.000
8	54.813
9	52.073
10	49.332
11	43.851
12	38.369
13	35.628
14	32.888
15	65.714
16	71.190
17	76.668
18	87.618
19	98.571
20	104.047
21	109.523
22	218.213
23	207.302
24	196.391
25	174.570
26	152.749
27	141.838
28	130.928
29	195.145
30	211.407
31	227.669
32	260.193
33	292.717
34	308.979

35	325.241
36	429.795
37	408.305
38	386.815
39	343.836
40	300.856
41	279.367
42	257.877
43	318.646
44	345.200
45	371.754
46	424.862
47	477.970
48	504.524
49	531.078
50	580.250
51	551.238
52	522.225
53	464.200
54	406.175
55	377.163
56	348.150
57	376.991
58	408.407
59	439.823
60	502.655
61	565.486
62	596.902
63	628.318

ARQUIVO DE SAÍDA PARA O
PROBLEMA 5.4

```

*****
*
* LUBRIFICACAO INCOMPRESSIVEL / ASPECTO ISOTERMICO
*
* SIMULACAO DE MANCAL DE DESLIZAMENTO
*
* METODO DE ELEMENTOS FINITOS (ELEMENTO TRIANGULO/LINEAR)
*
*****
    
```

-MANCAL HIDRODINAMICO (CASO GERAL)

-VISCOSIDADE DO LUBRIFICANTE

MI= 0.100E-05

-NUMERO DE ELEMENTOS

NE= 96

-NUMERO DE NOS DO SISTEMA

NN= 63

-NUMERO DE NOS COM PRESSAO ESPECIFICADA

NNPE= 28

-NUMERO DE NOS COM FLUXO ESPECIFICADO

NNFE= 35

-COORDENADAS NODAIS

NO(I)	XG(I)	YG(I)
1	0.000	4.000
2	0.000	3.500
3	0.000	3.000
4	0.000	2.000
5	0.000	1.000
6	0.000	0.500
7	0.000	0.000
8	0.436	0.009
9	0.414	0.509

10	0.392	1.008
11	0.349	2.007
12	0.301	3.006
13	0.283	3.506
14	0.262	4.006
15	0.523	4.023
16	0.566	3.524
17	0.610	3.027
18	0.697	2.030
19	0.784	1.034
20	0.827	0.536
21	0.871	0.038
22	1.736	0.152
23	1.650	0.644
24	1.563	1.137
25	1.389	2.121
26	1.215	3.106
27	1.129	3.598
28	1.042	4.091
29	1.553	4.204
30	1.682	3.721
31	1.812	3.238
32	2.070	2.272
33	2.329	1.306
34	2.458	0.823
35	2.588	0.341
36	3.420	0.603
37	3.249	1.073
38	3.078	1.543
39	2.736	2.482
40	2.394	3.422
41	2.223	3.891
42	2.052	4.361
43	2.536	4.562
44	2.747	4.109
45	2.958	3.656
46	3.381	2.749
47	3.803	1.843
48	4.015	1.390
49	4.226	0.937
50	4.617	1.130
51	4.387	1.573
52	4.156	2.017
53	3.694	2.904
54	3.232	3.790
55	3.001	4.234
56	2.770	4.678
57	3.000	4.804
58	3.250	4.370
59	3.500	3.938
60	4.000	3.072
61	4.500	2.206
62	4.750	1.773
63	5.000	1.340

-TOPOLOGIA DO SISTEMA

ELEMENTO	NO(1)	NO(2)	NO(3)
1	1	13	14
2	1	2	13
3	2	3	13
4	3	12	13
5	3	4	12
6	4	11	12
7	4	5	11
8	5	10	11
9	5	6	10
10	6	9	10
11	6	7	9
12	7	8	9
13	8	21	20
14	9	8	20
15	9	20	19
16	10	9	19
17	10	19	18
18	11	10	18
19	11	18	17
20	12	11	17
21	12	17	16
22	13	12	16
23	13	16	15
24	14	13	15
25	15	16	28
26	16	27	28
27	16	17	27
28	17	26	27
29	17	18	26
30	18	25	26
31	18	19	25
32	19	24	25
33	19	20	24
34	20	23	24
35	20	21	23
36	21	22	23
37	22	35	34
38	23	22	34
39	23	34	33
40	24	23	33
41	24	33	32
42	25	24	32
43	25	32	31
44	26	25	31
45	26	31	30
46	27	26	30
47	27	30	29
48	28	27	29

49	29	30	42
50	30	41	42
51	30	31	41
52	31	40	41
53	31	32	40
54	32	39	40
55	32	33	39
56	33	38	39
57	33	34	38
58	34	37	38
59	34	35	37
60	35	36	37
61	36	49	48
62	37	36	48
63	37	48	47
64	38	37	47
65	38	47	46
66	39	38	46
67	39	46	45
68	40	39	45
69	40	45	44
70	41	40	44
71	41	44	43
72	42	41	43
73	43	44	56
74	44	55	56
75	44	45	55
76	45	54	55
77	45	46	54
78	46	53	54
79	46	47	53
80	47	52	53
81	47	48	52
82	48	51	52
83	48	49	51
84	49	50	51
85	51	50	63
86	51	63	62
87	51	62	61
88	52	51	61
89	52	61	60
90	53	52	60
91	53	60	59
92	54	53	59
93	54	59	58
94	55	54	58
95	55	58	57
96	56	55	57

-CONDICOES DE CONTORNO DE PRESSAO

I NO(I) PRESSAO

1	1	0.000E+00
2	2	0.000E+00
3	3	0.000E+00
4	4	0.000E+00
5	5	0.000E+00
6	6	0.000E+00
7	7	0.000E+00
8	8	0.000E+00
9	14	0.000E+00
10	15	0.000E+00
11	21	0.000E+00
12	22	0.000E+00
13	28	0.000E+00
14	29	0.000E+00
15	35	0.000E+00
16	36	0.000E+00
17	42	0.000E+00
18	43	0.000E+00
19	49	0.000E+00
20	50	0.000E+00
21	56	0.000E+00
22	57	0.000E+00
23	58	0.000E+00
24	59	0.000E+00
25	60	0.000E+00
26	61	0.000E+00
27	62	0.000E+00
28	63	0.000E+00

-CONDICOES DE CONTORNO DE FLUXO

I	NO(I)	FLUXO
1	9	0.000E+00
2	10	0.000E+00
3	11	0.000E+00
4	12	0.000E+00
5	13	0.000E+00
6	16	0.000E+00
7	17	0.000E+00
8	18	0.000E+00
9	19	0.000E+00
10	20	0.000E+00
11	23	0.000E+00
12	24	0.000E+00
13	25	0.000E+00
14	26	0.000E+00
15	27	0.000E+00
16	30	0.000E+00
17	31	0.000E+00
18	32	0.000E+00
19	33	0.000E+00
20	34	0.000E+00
21	37	0.000E+00

22	38	0.000E+00
23	39	0.000E+00
24	40	0.000E+00
25	41	0.000E+00
26	44	0.000E+00
27	45	0.000E+00
28	46	0.000E+00
29	47	0.000E+00
30	48	0.000E+00
31	51	0.000E+00
32	52	0.000E+00
33	53	0.000E+00
34	54	0.000E+00
35	55	0.000E+00

-VELOCIDADE NA DIRECAO X

NO(I)	UX
1	753.982
2	816.814
3	879.646
4	1005.310
5	1130.970
6	1193.800
7	1256.640
8	1255.440
9	1192.670
10	1129.900
11	1004.350
12	878.808
13	816.036
14	753.264
15	751.113
16	813.706
17	876.298
18	1001.480
19	1126.670
20	1189.260
21	1251.850
22	1237.550
23	1175.670
24	1113.790
25	990.036
26	866.282
27	804.405
28	742.527
29	728.291
30	788.982
31	849.672
32	971.054
33	1092.440
34	1153.130

35	1213.820
36	1180.850
37	1121.810
38	1062.770
39	944.682
40	826.596
41	767.554
42	708.511
43	683.340
44	740.285
45	797.230
46	911.120
47	1025.010
48	1081.950
49	1138.900
50	1114.650
51	1058.920
52	1003.190
53	891.720
54	780.255
55	724.523
56	668.790
57	652.967
58	707.382
59	761.795
60	870.624
61	979.451
62	1033.870
63	1088.280

-VELOCIDADE NA DIRECAO Y

NO(I)	UY
1	0.000
2	0.000
3	0.000
4	0.000
5	0.000
6	0.000
7	0.000
8	54.813
9	52.073
10	49.332
11	43.851
12	38.369
13	35.628
14	32.888
15	65.714
16	71.190
17	76.668
18	87.618
19	98.571

20	104.047
21	109.523
22	218.213
23	207.302
24	196.391
25	174.570
26	152.749
27	141.838
28	130.928
29	195.145
30	211.407
31	227.669
32	260.193
33	292.717
34	308.979
35	325.241
36	429.795
37	408.305
38	386.815
39	343.836
40	300.856
41	279.367
42	257.877
43	318.646
44	345.200
45	371.754
46	424.862
47	477.970
48	504.524
49	531.078
50	580.250
51	551.238
52	522.225
53	464.200
54	406.175
55	377.163
56	348.150
57	376.991
58	408.407
59	439.823
60	502.655
61	565.486
62	596.902
63	628.318

-DISTRIBUICAO DAS ALTURAS DE FILME (POR NO)

NO(I)	ALTURA DE FILME
1	0.500E-02
2	0.500E-02
3	0.500E-02
4	0.500E-02

5	0.500E-02
6	0.500E-02
7	0.500E-02
8	0.462E-02
9	0.462E-02
10	0.462E-02
11	0.462E-02
12	0.462E-02
13	0.462E-02
14	0.462E-02
15	0.425E-02
16	0.425E-02
17	0.425E-02
18	0.425E-02
19	0.425E-02
20	0.425E-02
21	0.425E-02
22	0.350E-02
23	0.350E-02
24	0.350E-02
25	0.350E-02
26	0.350E-02
27	0.350E-02
28	0.350E-02
29	0.275E-02
30	0.275E-02
31	0.275E-02
32	0.275E-02
33	0.275E-02
34	0.275E-02
35	0.275E-02
36	0.200E-02
37	0.200E-02
38	0.200E-02
39	0.200E-02
40	0.200E-02
41	0.200E-02
42	0.200E-02
43	0.200E-02
44	0.200E-02
45	0.200E-02
46	0.200E-02
47	0.200E-02
48	0.200E-02
49	0.200E-02
50	0.200E-02
51	0.200E-02
52	0.200E-02
53	0.200E-02
54	0.200E-02
55	0.200E-02
56	0.200E-02
57	0.200E-02
58	0.200E-02
59	0.200E-02

60	0.200E-02
61	0.200E-02
62	0.200E-02
63	0.200E-02

-PRESSOES E FLUXOS EXTERNOS

NO	PRESSAO	FLUXO EXTERNO
1	0.00000	-0.91472
2	0.00000	-1.42840
3	0.00000	-2.08886
4	0.00000	-3.10411
5	0.00000	-2.99476
6	0.00000	-2.46158
7	-0.00000	-1.45813
8	0.00000	0.37102
9	18.29735	0.00000
10	28.34047	0.00000
11	32.77798	0.00000
12	23.59608	0.00000
13	15.43893	0.00000
14	0.00000	0.18655
15	0.00000	0.39530
16	31.91379	0.00000
17	50.78841	0.00000
18	67.29042	0.00000
19	57.14429	0.00000
20	35.88258	0.00000
21	0.00000	0.75717
22	0.00000	1.13134
23	72.42755	0.00000
24	117.55504	0.00000
25	141.66631	0.00000
26	108.09375	0.00000
27	67.04530	0.00000
28	0.00000	0.67927
29	0.00000	0.55755
30	105.38707	0.00000
31	168.71097	0.00000
32	220.14873	0.00000
33	185.92436	0.00000
34	116.89302	0.00000
35	0.00000	0.94568
36	0.00000	0.41661
37	122.03732	0.00000
38	190.66008	0.00000
39	232.08841	0.00000
40	182.15413	0.00000
41	112.36520	0.00000
42	0.00000	0.29582
43	0.00000	0.05705
44	49.11230	0.00000

45	82.51649	0.00000
46	105.52898	0.00000
47	79.36925	0.00000
48	45.33295	0.00000
49	0.00000	0.06565
50	0.00000	0.02380
51	20.84453	0.00000
52	37.44347	0.00000
53	51.20663	0.00000
54	40.12585	0.00000
55	23.68921	0.00000
56	0.00000	0.01684
57	0.00000	0.38972
58	0.00000	0.87247
59	0.00000	1.48101
60	0.00000	2.20618
61	0.00000	1.76043
62	0.00000	1.22728
63	0.00000	0.61374

-CAPACIDADE DE CARGA DA SAPATA

TCARGA= 1441.44263

-CENTRO DE PRESSAO

XAP = 2.216

YAP = 2.234

ARQUIVO DE ENTRADA PARA O
PROBLEMA 5.5

001000000

60 42 12

.50000E-05

1	2.000	2.000
2	1.850	1.850
3	1.700	1.700
4	1.500	1.500
5	1.000	1.000
6	0.500	0.500
7	0.000	0.000
8	0.500	0.000
9	0.900	0.500
10	1.300	1.000
11	1.700	1.500
12	1.860	1.700
13	1.980	1.850
14	2.100	2.000
15	2.200	2.000
16	2.110	1.850
17	2.020	1.700
18	1.900	1.500
19	1.600	1.000
20	1.300	0.500
21	1.000	0.000
22	1.500	0.000
23	1.700	0.500
24	1.900	1.000
25	2.100	1.500
26	2.180	1.700
27	2.240	1.850
28	2.300	2.000
29	2.400	2.000
30	2.370	1.850
31	2.340	1.700
32	2.300	1.500
33	2.200	1.000
34	2.100	0.500
35	2.000	0.000
36	2.500	0.000
37	2.500	0.500
38	2.500	1.000
39	2.500	1.500
40	2.500	1.700
41	2.500	1.850
42	2.500	2.000

1	1	13	14
2	1	2	13
3	2	3	13
4	3	12	13
5	3	4	12
6	4	11	12
7	4	5	11
8	5	10	11
9	5	6	10
10	6	9	10

11	6	7	9
12	7	8	9
13	8	21	20
14	9	8	20
15	9	20	19
16	10	9	19
17	10	19	18
18	11	10	18
19	11	18	17
20	12	11	17
21	12	17	16
22	13	12	16
23	13	16	15
24	14	13	15
25	15	16	28
26	16	27	28
27	16	17	27
28	17	26	27
29	17	18	26
30	18	25	26
31	18	19	25
32	19	24	25
33	19	20	24
34	20	23	24
35	20	21	23
36	21	22	23
37	22	35	34
38	23	22	34
39	23	34	33
40	24	23	33
41	24	33	32
42	25	24	32
43	25	32	31
44	26	25	31
45	26	31	30
46	27	26	30
47	27	30	29
48	28	27	29
49	29	30	42
50	30	41	42
51	30	31	41
52	31	40	41
53	31	32	40
54	32	39	40
55	32	33	39
56	33	38	39
57	33	34	38
58	34	37	38
59	34	36	37
60	34	35	36
1	50.000		
7	0.000		
8	0.000		
14	50.000		
15	50.000		

21	0.000
22	0.000
28	50.000
29	50.000
35	0.000
36	0.000
42	50.000
2	0.000
3	0.000
4	0.000
5	0.000
6	0.000
9	0.000
10	0.000
11	0.000
12	0.000
13	0.000
16	0.000
17	0.000
18	0.000
19	0.000
20	0.000
23	0.000
24	0.000
25	0.000
26	0.000
27	0.000
30	0.000
31	0.000
32	0.000
33	0.000
34	0.000
37	0.000
38	0.000
39	0.000
40	0.000
41	0.000
0.125	50.000
1	.300E-02
2	.300E-02
3	.300E-02
4	.300E-02
5	.300E-02
6	.300E-02
7	.300E-02
8	.300E-02
9	.300E-02
10	.300E-02
11	.300E-02
12	.300E-02
13	.300E-02
14	.300E-02
15	.300E-02
16	.300E-02
17	.300E-02

18	.300E-02
19	.300E-02
20	.300E-02
21	.300E-02
22	.300E-02
23	.300E-02
24	.300E-02
25	.300E-02
26	.300E-02
27	.300E-02
28	.300E-02
29	.300E-02
30	.300E-02
31	.300E-02
32	.300E-02
33	.300E-02
34	.300E-02
35	.300E-02
36	.300E-02
37	.300E-02
38	.300E-02
39	.300E-02
40	.300E-02
41	.300E-02
42	.300E-02
43	.300E-02
44	.300E-02
45	.300E-02
46	.300E-02
47	.300E-02
48	.300E-02
49	.300E-02
50	.300E-02
51	.300E-02
52	.300E-02
53	.300E-02
54	.300E-02
55	.300E-02
56	.300E-02
57	.300E-02
58	.300E-02
59	.300E-02
60	.300E-02

ARQUIVO DE SAÍDA PARA O
PROBLEMA 5.5

```

*****
*
*   LUBRIFICACAO INCOMPRESSIVEL / ASPECTO ISOTERMICO
*
*   SIMULACAO DE MANCAL DE DESLIZAMENTO
*
*   METODO DE ELEMENTOS FINITOS (ELEMENTO TRIANGULO/LINEAR)
*
*****
    
```

-MANCAL HIDROSTATICO COM CONTROLE DE PRESSAO

-VISCOSIDADE DO LUBRIFICANTE

MI= 0.500E-05

-NUMERO DE ELEMENTOS

NE= 60

-NUMERO DE NOS DO SISTEMA

NN= 42

-NUMERO DE NOS COM PRESSAO ESPECIFICADA

NNPE= 12

-NUMERO DE NOS COM FLUXO ESPECIFICADO

NNFE= 30

-COORDENADAS NODAIS

NO(I)	XG(I)	YG(I)
1	2.000	2.000
2	1.850	1.850
3	1.700	1.700
4	1.500	1.500
5	1.000	1.000
6	0.500	0.500
7	0.000	0.000
8	0.500	0.000
9	0.900	0.500

10	1.300	1.000
11	1.700	1.500
12	1.860	1.700
13	1.980	1.850
14	2.100	2.000
15	2.200	2.000
16	2.110	1.850
17	2.020	1.700
18	1.900	1.500
19	1.600	1.000
20	1.300	0.500
21	1.000	0.000
22	1.500	0.000
23	1.700	0.500
24	1.900	1.000
25	2.100	1.500
26	2.180	1.700
27	2.240	1.850
28	2.300	2.000
29	2.400	2.000
30	2.370	1.850
31	2.340	1.700
32	2.300	1.500
33	2.200	1.000
34	2.100	0.500
35	2.000	0.000
36	2.500	0.000
37	2.500	0.500
38	2.500	1.000
39	2.500	1.500
40	2.500	1.700
41	2.500	1.850
42	2.500	2.000

-TOPOLOGIA DO SISTEMA

ELEMENTO	NO(1)	NO(2)	NO(3)
1	1	13	14
2	1	2	13
3	2	3	13
4	3	12	13
5	3	4	12
6	4	11	12
7	4	5	11
8	5	10	11
9	5	6	10
10	6	9	10
11	6	7	9
12	7	8	9
13	8	21	20
14	9	8	20

15	9	20	19
16	10	9	19
17	10	19	18
18	11	10	18
19	11	18	17
20	12	11	17
21	12	17	16
22	13	12	16
23	13	16	15
24	14	13	15
25	15	16	28
26	16	27	28
27	16	17	27
28	17	26	27
29	17	18	26
30	18	25	26
31	18	19	25
32	19	24	25
33	19	20	24
34	20	23	24
35	20	21	23
36	21	22	23
37	22	35	34
38	23	22	34
39	23	34	33
40	24	23	33
41	24	33	32
42	25	24	32
43	25	32	31
44	26	25	31
45	26	31	30
46	27	26	30
47	27	30	29
48	28	27	29
49	29	30	42
50	30	41	42
51	30	31	41
52	31	40	41
53	31	32	40
54	32	39	40
55	32	33	39
56	33	38	39
57	33	34	38
58	34	37	38
59	34	36	37
60	34	35	36

-CONDICOES DE CONTORNO DE PRESSAO

I	NO(I)	PRESSAO
1	1	0.500E+02
2	7	0.000E+00

3	8	0.000E+00
4	14	0.500E+02
5	15	0.500E+02
6	21	0.000E+00
7	22	0.000E+00
8	28	0.500E+02
9	29	0.500E+02
10	35	0.000E+00
11	36	0.000E+00
12	42	0.500E+02

-CONDICOES DE CONTORNO DE FLUXO

I	NO(I)	FLUXO
1	2	0.000E+00
2	3	0.000E+00
3	4	0.000E+00
4	5	0.000E+00
5	6	0.000E+00
6	9	0.000E+00
7	10	0.000E+00
8	11	0.000E+00
9	12	0.000E+00
10	13	0.000E+00
11	16	0.000E+00
12	17	0.000E+00
13	18	0.000E+00
14	19	0.000E+00
15	20	0.000E+00
16	23	0.000E+00
17	24	0.000E+00
18	25	0.000E+00
19	26	0.000E+00
20	27	0.000E+00
21	30	0.000E+00
22	31	0.000E+00
23	32	0.000E+00
24	33	0.000E+00
25	34	0.000E+00
26	37	0.000E+00
27	38	0.000E+00
28	39	0.000E+00
29	40	0.000E+00
30	41	0.000E+00

-DISTRIBUICAO DAS ALTURAS DE FILME (POR ELEMENTO)

ELEMENTO	ALTURA DE FILME
1	0.300E-02
2	0.300E-02
3	0.300E-02

4	0.300E-02
5	0.300E-02
6	0.300E-02
7	0.300E-02
8	0.300E-02
9	0.300E-02
10	0.300E-02
11	0.300E-02
12	0.300E-02
13	0.300E-02
14	0.300E-02
15	0.300E-02
16	0.300E-02
17	0.300E-02
18	0.300E-02
19	0.300E-02
20	0.300E-02
21	0.300E-02
22	0.300E-02
23	0.300E-02
24	0.300E-02
25	0.300E-02
26	0.300E-02
27	0.300E-02
28	0.300E-02
29	0.300E-02
30	0.300E-02
31	0.300E-02
32	0.300E-02
33	0.300E-02
34	0.300E-02
35	0.300E-02
36	0.300E-02
37	0.300E-02
38	0.300E-02
39	0.300E-02
40	0.300E-02
41	0.300E-02
42	0.300E-02
43	0.300E-02
44	0.300E-02
45	0.300E-02
46	0.300E-02
47	0.300E-02
48	0.300E-02
49	0.300E-02
50	0.300E-02
51	0.300E-02
52	0.300E-02
53	0.300E-02
54	0.300E-02
55	0.300E-02
56	0.300E-02
57	0.300E-02
58	0.300E-02

59	0.300E-02
60	0.300E-02

-PRESSOES E FLUXOS EXTERNOS

NO	PRESSAO	FLUXO EXTERNO
1	49.99998	-0.00328
2	37.55370	0.00000
3	29.98280	0.00000
4	22.69020	0.00000
5	9.68611	0.00000
6	2.60214	0.00000
7	-0.00000	-0.00071
8	0.00000	0.00143
9	4.34314	0.00000
10	12.43872	0.00000
11	25.53343	0.00000
12	33.20010	0.00000
13	40.97525	0.00000
14	49.99998	-0.00271
15	49.99998	-0.00172
16	42.58694	0.00000
17	35.65501	0.00000
18	28.10210	0.00000
19	14.95706	0.00000
20	6.00860	0.00000
21	0.00000	0.00238
22	0.00000	0.00321
23	7.44033	0.00000
24	17.02522	0.00000
25	30.10678	0.00000
26	37.29520	0.00000
27	43.49927	0.00000
28	49.99998	-0.00174
29	49.99998	-0.00175
30	43.94879	0.00000
31	38.20229	0.00000
32	31.36458	0.00000
33	18.40376	0.00000
34	8.43661	0.00000
35	0.00000	0.00380
36	0.00000	0.00197
37	8.83159	0.00000
38	18.89754	0.00000
39	31.79451	0.00000
40	38.48824	0.00000
41	44.08154	0.00000
42	49.99998	-0.00088

-AREA DA(S) BOLSA(S)

AB= 0.12500

PRESSAO DE ALIMENTACAO DA(S) BOLSA(S)

PB= 50.00000

--CAPACIDADE DE CARGA DA REGIAO DISCRETIZADA

CARGA= 40.44473

--CAPACIDADE DE CARGA DA(S) BOLSA(S)

CARGB= 6.25000

CAPACIDADE DE CARGA (TOTAL)

CARME= 46.69473

ARQUIVO DE ENTRADA PARA O
PROBLEMA 5.6

100000000

88 60 20

.500000E-5

1	0.000	2.500
2	0.000	1.500
3	0.000	0.750
4	0.000	0.300
5	0.000	0.000
6	2.620	0.000
7	2.620	0.300
8	2.620	0.750
9	2.620	1.500
10	2.620	2.500
11	5.240	2.500
12	5.240	1.500
13	5.240	0.750
14	5.240	0.300
15	5.240	0.000
16	7.850	0.000
17	7.850	0.300
18	7.850	0.750
19	7.850	1.500
20	7.850	2.500
21	10.470	2.500
22	10.470	1.750
23	10.470	0.750
24	10.470	0.300
25	10.470	0.000
26	12.210	0.000
27	12.210	0.300
28	12.210	0.750
29	12.210	1.500
30	12.210	2.500
31	13.090	2.500
32	13.090	1.500
33	13.090	0.750
34	13.090	0.300
35	13.090	0.000
36	13.920	0.000
37	13.920	0.300
38	13.920	0.750
39	13.920	1.500
40	13.920	2.500
41	14.800	2.500
42	14.800	1.500
43	14.800	0.750
44	14.800	0.300
45	14.800	0.000
46	15.680	0.000
47	15.680	0.300
48	15.680	0.750
49	15.680	1.500
50	15.680	2.500
51	16.560	2.500
52	16.560	1.500

53	16.560	0.750	
54	16.560	0.300	
55	16.560	0.000	
56	17.440	0.000	
57	17.440	0.300	
58	17.440	0.750	
59	17.440	1.500	
60	17.440	2.500	
1	1	2	9
2	1	9	10
3	2	3	9
4	3	8	9
5	3	4	8
6	4	7	8
7	4	5	7
8	5	6	7
9	6	15	14
10	7	6	14
11	7	14	13
12	8	7	13
13	8	13	12
14	9	8	12
15	9	12	11
16	10	9	11
17	11	12	20
18	12	19	20
19	12	13	19
20	13	18	19
21	13	14	18
22	14	17	18
23	14	15	17
24	15	16	17
25	16	25	24
26	17	16	24
27	17	24	23
28	18	17	23
29	18	23	22
30	19	18	22
31	19	22	21
32	20	19	21
33	21	22	30
34	22	29	30
35	22	23	29
36	23	28	29
37	23	24	28
38	24	27	28
39	24	25	27
40	25	26	27
41	26	35	34
42	27	26	34
43	27	34	33
44	28	27	33
45	28	33	32
46	29	28	32
47	29	32	31

48	30	29	31
49	31	32	40
50	32	39	40
51	32	33	39
52	33	38	39
53	33	34	38
54	34	37	38
55	34	35	37
56	35	36	37
57	36	45	44
58	37	36	44
59	37	44	43
60	38	37	43
61	38	43	42
62	39	38	42
63	39	42	41
64	40	39	41
65	41	42	50
66	42	49	50
67	42	43	49
68	43	48	49
69	43	44	48
70	44	47	48
71	44	45	47
72	45	46	47
73	46	55	54
74	47	46	54
75	47	54	53
76	48	47	53
77	48	53	52
78	49	48	52
79	49	52	51
80	50	49	51
81	51	52	60
82	52	59	60
83	52	53	59
84	53	58	59
85	53	54	58
86	54	57	58
87	54	56	57
88	54	55	56
1	0.000		
2	0.000		
3	0.000		
4	0.000		
5	0.000		
6	0.000		
15	0.000		
16	0.000		
25	0.000		
26	0.000		
35	0.000		
36	0.000		
45	0.000		
46	0.000		

55 0.000
56 0.000
57 0.000
58 0.000
59 0.000
60 0.000
7 0.000
8 0.000
9 0.000
10 0.000
11 0.000
12 0.000
13 0.000
14 0.000
17 0.000
18 0.000
19 0.000
20 0.000
21 0.000
22 0.000
23 0.000
24 0.000
27 0.000
28 0.000
29 0.000
30 0.000
31 0.000
32 0.000
33 0.000
34 0.000
37 0.000
38 0.000
39 0.000
40 0.000
41 0.000
42 0.000
43 0.000
44 0.000
47 0.000
48 0.000
49 0.000
50 0.000
51 0.000
52 0.000
53 0.000
54 0.000

5.000 5.050 1.5000E-2 0 29.166

ARQUIVO DE SAÍDA PARA O
PROBLEMA 5.6

```

*****
*
*   LUBRIFICACAO INCOMPRESSIVEL / ASPECTO ISOTERMICO
*
*   SIMULACAO DE MANCAL DE DESLIZAMENTO
*
*   METODO DE ELEMENTOS FINITOS (ELEMENTO TRIANGULO/LINEAR)
*
*****
    
```

-MANCAL RADIAL

-VISCOSIDADE DO LUBRIFICANTE

MI= 0.500E-05

-NUMERO DE ELEMENTOS

NE= 88

-NUMERO DE NOS DO SISTEMA

NN= 60

-NUMERO DE NOS COM PRESSAO ESPECIFICADA

NNPE= 20

-NUMERO DE NOS COM FLUXO ESPECIFICADO

NNFE= 40

-COORDENADAS NODAIS

NO(I)	XG(I)	YG(I)
1	0.000	2.500
2	0.000	1.500
3	0.000	0.750
4	0.000	0.300
5	0.000	0.000
6	2.620	0.000
7	2.620	0.300
8	2.620	0.750
9	2.620	1.500

10	2.620	2.500
11	5.240	2.500
12	5.240	1.500
13	5.240	0.750
14	5.240	0.300
15	5.240	0.000
16	7.850	0.000
17	7.850	0.300
18	7.850	0.750
19	7.850	1.500
20	7.850	2.500
21	10.470	2.500
22	10.470	1.750
23	10.470	0.750
24	10.470	0.300
25	10.470	0.000
26	12.210	0.000
27	12.210	0.300
28	12.210	0.750
29	12.210	1.500
30	12.210	2.500
31	13.090	2.500
32	13.090	1.500
33	13.090	0.750
34	13.090	0.300
35	13.090	0.000
36	13.920	0.000
37	13.920	0.300
38	13.920	0.750
39	13.920	1.500
40	13.920	2.500
41	14.800	2.500
42	14.800	1.500
43	14.800	0.750
44	14.800	0.300
45	14.800	0.000
46	15.680	0.000
47	15.680	0.300
48	15.680	0.750
49	15.680	1.500
50	15.680	2.500
51	16.560	2.500
52	16.560	1.500
53	16.560	0.750
54	16.560	0.300
55	16.560	0.000
56	17.440	0.000
57	17.440	0.300
58	17.440	0.750
59	17.440	1.500
60	17.440	2.500

-TOPOLOGIA DO SISTEMA

ELEMENTO	NO(1)	NO(2)	NO(3)
1	1	2	9
2	1	9	10
3	2	3	9
4	3	8	9
5	3	4	8
6	4	7	8
7	4	5	7
8	5	6	7
9	6	15	14
10	7	6	14
11	7	14	13
12	8	7	13
13	8	13	12
14	9	8	12
15	9	12	11
16	10	9	11
17	11	12	20
18	12	19	20
19	12	13	19
20	13	18	19
21	13	14	18
22	14	17	18
23	14	15	17
24	15	16	17
25	16	25	24
26	17	16	24
27	17	24	23
28	18	17	23
29	18	23	22
30	19	18	22
31	19	22	21
32	20	19	21
33	21	22	30
34	22	29	30
35	22	23	29
36	23	28	29
37	23	24	28
38	24	27	28
39	24	25	27
40	25	26	27
41	26	35	34
42	27	26	34
43	27	34	33
44	28	27	33
45	28	33	32
46	29	28	32
47	29	32	31
48	30	29	31
49	31	32	40
50	32	39	40
51	32	33	39

52	33	38	39
53	33	34	38
54	34	37	38
55	34	35	37
56	35	36	37
57	36	45	44
58	37	36	44
59	37	44	43
60	38	37	43
61	38	43	42
62	39	38	42
63	39	42	41
64	40	39	41
65	41	42	50
66	42	49	50
67	42	43	49
68	43	48	49
69	43	44	48
70	44	47	48
71	44	45	47
72	45	46	47
73	46	55	54
74	47	46	54
75	47	54	53
76	48	47	53
77	48	53	52
78	49	48	52
79	49	52	51
80	50	49	51
81	51	52	60
82	52	59	60
83	52	53	59
84	53	58	59
85	53	54	58
86	54	57	58
87	54	56	57
88	54	55	56

-CONDICOES DE CONTORNO DE PRESSAO

I	NO(I)	PRESSAO
1	1	0.000E+00
2	2	0.000E+00
3	3	0.000E+00
4	4	0.000E+00
5	5	0.000E+00
6	6	0.000E+00
7	15	0.000E+00
8	16	0.000E+00
9	25	0.000E+00
10	26	0.000E+00
11	35	0.000E+00

12	36	0.000E+00
13	45	0.000E+00
14	46	0.000E+00
15	55	0.000E+00
16	56	0.000E+00
17	57	0.000E+00
18	58	0.000E+00
19	59	0.000E+00
20	60	0.000E+00

-CONDICOES DE CONTORNO DE FLUXO

I	NO(I)	FLUXO
1	7	0.000E+00
2	8	0.000E+00
3	9	0.000E+00
4	10	0.000E+00
5	11	0.000E+00
6	12	0.000E+00
7	13	0.000E+00
8	14	0.000E+00
9	17	0.000E+00
10	18	0.000E+00
11	19	0.000E+00
12	20	0.000E+00
13	21	0.000E+00
14	22	0.000E+00
15	23	0.000E+00
16	24	0.000E+00
17	27	0.000E+00
18	28	0.000E+00
19	29	0.000E+00
20	30	0.000E+00
21	31	0.000E+00
22	32	0.000E+00
23	33	0.000E+00
24	34	0.000E+00
25	37	0.000E+00
26	38	0.000E+00
27	39	0.000E+00
28	40	0.000E+00
29	41	0.000E+00
30	42	0.000E+00
31	43	0.000E+00
32	44	0.000E+00
33	47	0.000E+00
34	48	0.000E+00
35	49	0.000E+00
36	50	0.000E+00
37	51	0.000E+00
38	52	0.000E+00
39	53	0.000E+00
40	54	0.000E+00

-VELOCIDADE NA DIRECAO X

NO(I)	UX
1	916.277
2	916.277
3	916.277
4	916.277
5	916.277
6	916.277
7	916.277
8	916.277
9	916.277
10	916.277
11	916.277
12	916.277
13	916.277
14	916.277
15	916.277
16	916.277
17	916.277
18	916.277
19	916.277
20	916.277
21	916.277
22	916.277
23	916.277
24	916.277
25	916.277
26	916.277
27	916.277
28	916.277
29	916.277
30	916.277
31	916.277
32	916.277
33	916.277
34	916.277
35	916.277
36	916.277
37	916.277
38	916.277
39	916.277
40	916.277
41	916.277
42	916.277
43	916.277
44	916.277
45	916.277
46	916.277
47	916.277
48	916.277

49	916.277
50	916.277
51	916.277
52	916.277
53	916.277
54	916.277
55	916.277
56	916.277
57	916.277
58	916.277
59	916.277
60	916.277

-RAIO DO EIXO

R1= 5.000

-RAIO DA CARCACA

R2= 5.050

-EXCENTRICIDADE

EX= 0.150E-01

-NUMERO DE ELEMENTOS COM REBAIXO

NER= 0

ROTACAO DO EIXO

29.166

-DISTRIBUICAO DAS ALTURAS DE FILME (POR NO)

NO(I)	ALTURA DE FILME
1	0.650E-01
2	0.650E-01
3	0.650E-01
4	0.650E-01
5	0.650E-01
6	0.630E-01
7	0.630E-01
8	0.630E-01
9	0.630E-01
10	0.630E-01
11	0.575E-01
12	0.575E-01

13	0.575E-01
14	0.575E-01
15	0.575E-01
16	0.500E-01
17	0.500E-01
18	0.500E-01
19	0.500E-01
20	0.500E-01
21	0.425E-01
22	0.425E-01
23	0.425E-01
24	0.425E-01
25	0.425E-01
26	0.385E-01
27	0.385E-01
28	0.385E-01
29	0.385E-01
30	0.385E-01
31	0.370E-01
32	0.370E-01
33	0.370E-01
34	0.370E-01
35	0.370E-01
36	0.359E-01
37	0.359E-01
38	0.359E-01
39	0.359E-01
40	0.359E-01
41	0.352E-01
42	0.352E-01
43	0.352E-01
44	0.352E-01
45	0.352E-01
46	0.350E-01
47	0.350E-01
48	0.350E-01
49	0.350E-01
50	0.350E-01
51	0.352E-01
52	0.352E-01
53	0.352E-01
54	0.352E-01
55	0.352E-01
56	0.359E-01
57	0.359E-01
58	0.359E-01
59	0.359E-01
60	0.359E-01

-PRESSOES E FLUXOS EXTERNOS

NO PRESSAO FLUXO EXTERNO

1	0.00000	-14.19133
2	0.00000	-25.16853
3	0.00000	-17.31271
4	0.00000	-10.91192
5	0.00000	-4.37465
6	0.00000	4.32456
7	0.11360	0.00000
8	0.25591	0.00000
9	0.41781	0.00000
10	0.47626	0.00000
11	1.07877	0.00000
12	0.91384	0.00000
13	0.55854	0.00000
14	0.24795	0.00000
15	0.00000	7.24075
16	0.00000	8.09496
17	0.41270	0.00000
18	0.92891	0.00000
19	1.50627	0.00000
20	1.79168	0.00000
21	2.48424	0.00000
22	2.22784	0.00000
23	1.24015	0.00000
24	0.55198	0.00000
25	0.00000	5.89969
26	0.00000	2.63384
27	0.56113	0.00000
28	1.25675	0.00000
29	2.06109	0.00000
30	2.44483	0.00000
31	2.14610	0.00000
32	1.79994	0.00000
33	1.10111	0.00000
34	0.49154	0.00000
35	0.00000	1.27606
36	0.00000	0.91251
37	0.38615	0.00000
38	0.86836	0.00000
39	1.42647	0.00000
40	1.71002	0.00000
41	1.14745	0.00000
42	0.94219	0.00000
43	0.56310	0.00000
44	0.24720	0.00000
45	0.00000	0.56005
46	0.00000	0.21229
47	0.10265	0.00000
48	0.24965	0.00000
49	0.44994	0.00000
50	0.57418	0.00000
51	0.13732	0.00000
52	0.08150	0.00000
53	0.01561	0.00000
54	0.00000	0.00000
55	0.00000	-0.04114

56	0.00000	2.43560
57	0.00000	6.12448
58	0.00000	9.78898
59	0.00000	14.31991
60	0.00000	8.17657

-CAPACIDADE DE CARGA

A-CARGA HORIZONTAL

WH= -26.48383

B-CARGA VERTICAL

WV= 10.31436

C-CARGA TOTAL

WT= 28.42145

-POSICAO DA CARGA

BETA(graus) = -68.72095