

**VOLUME II**  
**APENDICES**

**CONSULTA**  
**FT-185**  
**v.2**

## APÊNDICE A

### SISTEMAS EQUIVALENTES

Apresenta-se neste apêndice a determinação de sistemas equivalentes utilizados na modelagem de sistemas propulsores e auxiliares para o estudo de vibração torcional.

#### A.1 - Sistemas Com Redução

Os sistemas em que os motores são ligados através de engrenagens redutoras aos conjuntos acionados (geradores, hélices ou freios hidráulicos) devem ser transformados preliminarmente nos seus equivalentes reduzidos à mesma rotação, antes de se aplicarem as equações de movimento.

Assim, seja a instalação representada na Figura A.1.

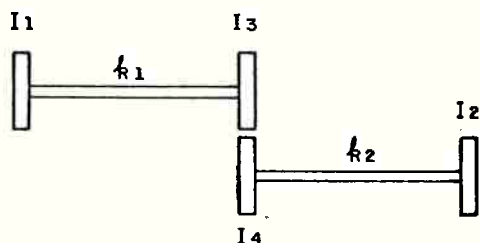


FIGURA A.1 - ESQUEMA DE UM SISTEMA COM REDUÇÃO

Nesta figura  $I_j$  ( $j=1,3,4,2'$ ) representa o momento

de inércia das massas e  $k_j$  ( $j=1,2$ ) representa a rigidez torcional dos trechos de eixo.

Seja  $n$  a relação de transmissão entre as engrenagens do eixo 1 e do eixo 2 de valor:

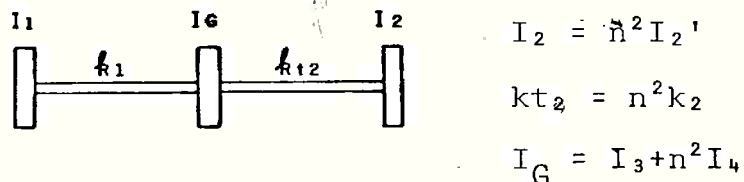
$$n = \frac{N_1}{N_2} > 1$$

onde:

$N_1$  é a velocidade angular do eixo nº 1;

$N_2$  é a velocidade angular do eixo nº 2.

Para o sistema considerado obtém-se o sistema equivalente (reduzido a mesma rotação) [1] e [5], mostrado na Figura A.2 juntamente com seus parâmetros de inércia e rigidez torcional.



**FIGURA A.2 - SISTEMA EQUIVALENTE REDUZIDO**

O sistema mostrado na Figura A.2 é tratado de maneira semelhante ao sistema de acoplamento direto mostrado no capítulo 2.

A.2 - Sistemas com Ramificações

Alguns sistemas, principalmente os utilizados em propulsão marítima de navios especiais, assumem a forma de ramificações onde dois ou mais motores acionam a mesma carga. A Figura A.3 mostra o esquema de um sistema deste tipo.

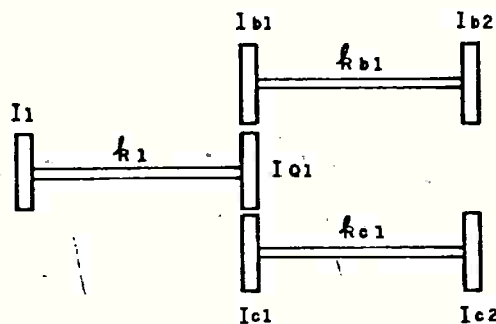


FIGURA A.3 - ESQUEMA DE UM SISTEMA COM RAMIFICAÇÕES

Sejam  $n_B$  e  $n_C$  as razões de redução entre as engrenagens  $b_1$  e  $a_1$ ,  $c_1$  e  $a_1$ , respectivamente. Assim, as razões  $n_B$  e  $n_C$  serão iguais a:

$$n_B = \frac{N_b}{N_a} \quad ; \quad n_C = \frac{N_c}{N_a} \quad (A2.1)$$

onde:

$N_a$  é a velocidade angular no eixo de rigidez torcional

$k_1$

$N_b$  é a velocidade angular no eixo de rigidez torcional

$k_{b1}$

$N_c$  é a velocidade angular no eixo de rigidez torcional

$k_{c1}$ .

Para o sistema equivalente reduzido, representado na Figura A.4, tem-se:

$$k_2 = b_{k1} n_b^2 \quad (A2.2)$$

$$k_2 = k_{c1} n_c^2$$

$$I_3 = I_{b2} n_b^2 \quad (A2.3)$$

$$I_4 = I_{c2} n_c^2$$

$$I_2 = I_{a1} + n_b^2 I_{b1} + n_c^2 I_{c1} \quad (A2.4)$$

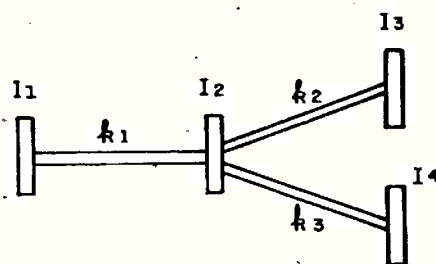


FIGURA A.4 - SISTEMA EQUIVALENTE COM RAMIFICAÇÕES REDUZIDO

## APÊNDICE B

### MÉTODO DE HOLZER

É apresentado neste apêndice a formulação do método de Holzer utilizado para determinação de frequências naturais para vibrações torcionais de eixos.

#### B.1 - Método de Holzer Para Solução de um Sistema Torcional de n Massas

Seja o sistema de  $n$  massas representado na Figura B.1 com momentos de inércia  $I_j$  ( $j=1,2,\dots,n$ ) e deslocamentos angulares  $\theta_j$  ( $j=1,2,\dots,n$ ) quando submetidos a movimentos de vibração torcional livre.

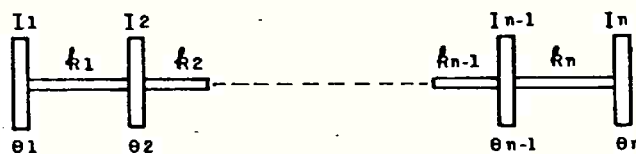


FIGURA B.1- SISTEMA EQUIVALENTE DE  $n$  MASSAS (DISCOS)

Os  $n-1$  eixos que ligam os discos possuem coeficientes de elasticidade  $k_j$  ( $j=1,2,\dots,n-1$ ).

As equações do movimento do sistema serão:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_1 \ddot{\theta}_1 = k_1(\theta_2 - \theta_1) \\ I_2 \ddot{\theta}_2 = k_2(\theta_3 - \theta_2) - k_1(\theta_2 - \theta_1) \\ I_3 \ddot{\theta}_3 = k_3(\theta_4 - \theta_3) - k_2(\theta_3 - \theta_2) \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ I_{n-1} \ddot{\theta}_{n-1} = k_{n-1}(\theta_n - \theta_{n-1}) - k_{n-2}(\theta_{n-1} - \theta_{n-2}) \\ I_n \ddot{\theta}_n = -k_{n-1}(\theta_n - \theta_{n-1}) \end{array} \right. \quad (\text{B.1.1})$$

Substituindo-se o valor de  $k_1(\theta_2 - \theta_1) = I_1 \ddot{\theta}_1$  da primeira equação de (B.1.1) na segunda equação e procedendo-se de maneira análoga nas outras equações do sistema, obtêm-se:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_1 \ddot{\theta}_1 = k_1(\theta_2 - \theta_1) \\ I_1 \ddot{\theta}_1 + I_2 \ddot{\theta}_2 = k_2(\theta_3 - \theta_2) \\ I_1 \ddot{\theta}_2 + I_2 \ddot{\theta}_2 + I_3 \ddot{\theta}_3 = k_3(\theta_4 - \theta_3) \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ I_1 \ddot{\theta}_1 + I_2 \ddot{\theta}_2 + \dots + I_{n-1} \ddot{\theta}_{n-1} = k_{n-1}(\theta_n - \theta_{n-1}) \\ I_1 \ddot{\theta}_1 + I_2 \ddot{\theta}_2 + \dots + I_{n-1} \ddot{\theta}_{n-1} + I_n \ddot{\theta}_n = 0 \end{array} \right. \quad (\text{B.1.2})$$

O membro direito das equações (B.1.2) representa o conjugado que atua no eixo  $k_i$  ( $i=1,2,\dots,n-1$ ) que está a direita do disco  $I_i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ). A última equação mostra, portanto, que quando o conjugado à direita do disco  $I_n$  for nulo o sistema executa vibração livre em uma dada frequência natural, e,

$$\sum_{j=1}^n I_j \ddot{\theta}_j \text{ deve ser nula.}$$

Admita-se que o sistema seja submetido a um movimento tal que se tenha:

$$\theta_j = \theta_{0j} \cos \omega t \quad (j=1,2,\dots,n) \quad (B.1.3)$$

Substituindo-se (B.1.3) em (B.1.2) tem-se:

$$\begin{aligned} -\omega^2 I_1 \theta_{01} &= k_1 (\theta_{02} - \theta_{01}) \\ -\omega^2 (I_1 \theta_{01} + I_2 \theta_{02}) &= k_2 (\theta_{03} - \theta_{02}) \\ -\omega^2 (I_1 \theta_{01} + I_2 \theta_{02} + I_3 \theta_{03}) &= k_3 (\theta_{04} - \theta_{03}) \\ \dots\dots\dots & \\ \dots\dots\dots & \\ -\omega^2 (I_1 \theta_{01} + I_2 \theta_{02} + \dots + I_{n-1} \theta_{n-1}) &= k_{n-1} (\theta_n - \theta_{n-1}) \\ T_r &= -\omega^2 (I_1 \theta_{01} + I_2 \theta_{02} + \dots + I_{n-1} \theta_{n-1} + I_n \theta_n) = 0 \end{aligned} \quad (B.1.4)$$

onde  $T_r$  é o conjugado que atua à direita do disco  $I_n$ :

$$T_r = - \sum_{i=1}^n I_i \theta_{0i} \omega^2 = \omega^2 \sum_{i=1}^n I_i \theta_{0i} \quad (B.1.5)$$

Assim, se  $\omega$  for uma frequência natural, tem-se:

$$T_r = 0$$

Da primeira equação de (B.1.4) tem-se:

$$\theta_{02} = \theta_{01} - \frac{\omega^2 I_1 \theta_{01}}{k_1} \quad (B.1.6)$$

que será a amplitude do deslocamento angular do disco  $I_2$ .





Conhecendo-se os valores de  $I_j$  ( $j=1,2,\dots,n$ ) e  $k_j$  ( $j=1,2,\dots,n-1$ ) para se desenvolver a solução iterativa do sistema (B.1.10) estima-se de alguma forma a primeira frequência natural. Uma forma de estimar consiste em reduzir o sistema de  $n$  massas em um sistema de 3 massas e adotar-se o valor da primeira frequência natural  $w_1$  deste sistema [1].

Quando a frequência estimada for igual a frequência natural procurada tem-se  $T_r = 0$ .

A magnitude e o sinal de  $T_r$  são, portanto, uma medida de quanto o valor adotado de  $w_1$  está afastado da frequência natural. Deve-se, então, realizar uma seqüência de cálculos até que se obtenha  $T_r = 0$ .

A Tabela B.1 (Tabela de Holzer), mostrada a seguir é uma ilustração do método descrito.

TABELA B.1 - TABELA DE HOLZER

1	2	3	4	5	6	7	8
Nº	I	$\frac{Iw^2}{10^6}$	$\Delta$	$\frac{Iw^2\Delta}{10^6}$	$\sum \frac{Iw^2\Delta}{10^6}$	$\frac{k}{10^6}$	$\sum \frac{Iw^2\Delta}{k}$
1	$I_1$	$\frac{I_1w^2}{10^6}$	$\Delta_1$			$k_1/10^6$	6 / 7
2	$I_2$		$\Delta_2 = \Delta_1 - \delta_1$			$k_2/10^6$	
3 ⋮	$I_3$						
n	$I_n$		$\Delta_n = \Delta_{n-1} - \delta_{n-1}$		$\sum_{j=1}^n \frac{Iw^2\Delta}{10^6} = 0$	$k_n/10^6$	

Na Tabela B.1 tem-se:

1. A primeira coluna indica o número de massa do sistema;
2. A segunda coluna mostra o momento de inércia de cada massa;
3. A terceira coluna é o produto da inércia de cada massa pelo valor da frequência natural;
4. A quarta coluna é a amplitude relativa mostrada em (B.1.9);
5. A quinta coluna é formada pelo produto da terceira e quarta colunas. É o conjugado de inércia em cada massa;
6. A sexta coluna é o somatório do conjugado de inércia deste a primeira massa até a massa em que se está calculando seu valor;
7. A sétima coluna é o coeficiente de rigidez torsional associado ao trecho do eixo intermediário;
8. A oitava coluna é obtida pela divisão da sexta pela sétima coluna e mostra a diferença entre as amplitudes de deslocamento angular de dois discos adjacentes.

## B.2 - Método de Holzer para Sistemas com Redução

A utilização do método de Holzer em sistema com redução poderá ser feito de duas maneiras, a saber:

1. Modificação do sistema original para o equivalente reduzido, utilizando-se o procedimento mostrado no Apêndice A. Após isso, aplicação do método de Holzer ao novo sistema

ma, adotando-se o procedimento mostrado em B.1.

2. Utilização do método de Holzer modificado para aplicação direta em sistemas reduzidos.

Este último procedimento [5] parece ser o mais adequado de ser adotado em programas de computador. Apresenta a vantagem de não requerer a determinação do sistema equivalente e será o procedimento utilizado no Programa Holzer do Apêndice D.

É apresentado a seguir o desenvolvimento da tabela de Holzer a partir da consideração de um sistema de seis discos, mostrado na Figura B.2.

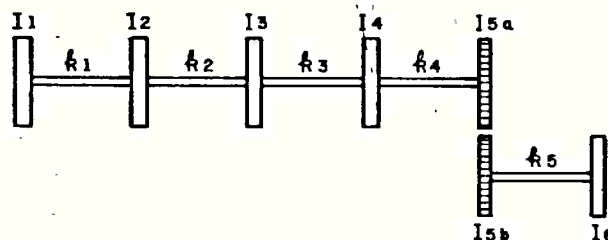


FIGURA B.2 - SISTEMA EQUIVALENTE COM REDUÇÃO

A engrenagem redutora tem uma razão de redução  $r$  dada por:

$$r = \frac{1}{n} = \frac{N_b}{N_a} \quad ; \quad N_b < N_a \quad (B.2.1)$$

onde:

$N_a$  é a velocidade do eixo antes da redutora 5a,

$N_b$  é a velocidade do eixo depois da redutora 5a.

A tabela de Holzer para sistema com redução, inicialmente, é semelhante a mostrada na Tabela B.1 até a engrenagem 5a.

Nas engrenagens, tem-se a equação:

$$k_4(\theta_{5a} - \theta_4) + (I_{5a} \ddot{\theta}_{5a} + I_{5b} r^2 \frac{\ddot{\theta}_{5b}}{r}) + k_5 r^2 \left( \frac{\dot{\theta}_{5b}}{r} - \frac{\dot{\theta}_6}{r} \right) = 0 \quad (\text{B.2.2})$$

ou então

$$k_4(\theta_{5a} - \theta_4) + (I_{5a} \ddot{\theta}_{5a} + I_{5b} r^2 \ddot{\theta}_{5a}) + k_5 r^2 \left( \theta_{5a} - \frac{\theta_6}{r} \right) = 0 \quad (\text{B.2.3})$$

Após a engrenagem 5a, deve-se multiplicar os momentos de inércia  $I_j$  e os coeficientes  $k_j$  por  $r^2$ , e os valores dos ângulos  $\theta$  devem ser divididos por  $r$ .

Adotando-se as amplitudes relativas, tem-se:

$$\frac{\theta_{01}}{\theta_{01}} = 1 = \Delta_1 ; \quad \frac{\theta_{02}}{\theta_{01}} = \Delta_2 ; \quad \text{etc.}$$

Admitindo-se um movimento de vibração torcional representado pela equação:

$$\theta_i = \theta_{0i} \text{ sen } \omega t \quad (i=1,2,\dots,6) \quad (\text{B.2.4})$$

obtem-se:

$$\sum_1^4 I \omega^2 \Delta + I_{5a} \omega^2 \Delta_{5a} + I_{5b} \omega^2 r^2 \Delta_{5a} = k_5 r^2 \left( \Delta_{5a} - \frac{\Delta_6}{r} \right) \quad (\text{B.2.5})$$

ou então,

$$\frac{1}{r} \sum_1^{5a} I \omega^2 \Delta + I_{5b} \omega^2 r^2 \Delta_{5a} = k_5 (r^2 \Delta_{5a} - \Delta_6) \quad (\text{B.2.6})$$

O ângulo de torção no trecho do eixo 5 é:

$$\Delta_{sh5} = r\Delta_{5a} - \Delta_6 = \frac{1}{k_5} \left[ \frac{1}{r} \sum_1^{5a} Iw^2\Delta + I_{5b}w^2r\Delta_{5a} \right] \quad (B.2.7)$$

No último disco tem-se:

$$k_5 r^2 \left( \frac{\theta_6}{r} - \theta_{5a} \right) + I_6 r^2 \frac{\ddot{\theta}_6}{r} = 0$$

ou

$$k_5 (\Delta_6 - r\Delta_{5a}) - I_6 w^2 \Delta_6 = 0 \quad (B.2.8)$$

Substituindo-se o valor de (B.2.8) na expressão (B.2.6), obtém-se:

$$\frac{1}{r} \sum_1^{5a} Iw^2\Delta + I_{5b}w^2r\Delta_{5a} + I_6 w^2 r\Delta_6 = 0 \quad (B.2.9)$$

logo:

$$\frac{1}{r} \sum_1^{5a} Iw^2\Delta + \sum_{5b}^6 Iw^2\Delta = 0 \quad (B.2.10)$$

O conjugado resultante do sistema será dado pela expressão (B.2.10). Note-se que:

$$\Delta_{sh5} = \Delta_{5b} - \Delta_6 = r\Delta_{5a} - \Delta_6 \quad (B.2.11)$$

Obtêm-se, então, para o sistema a tabulação de Holzer mostrada na Tabela B.2.

TABELA B.2 - TABULAÇÃO DE HOLZER PARA O SISTEMA COM REDUÇÃO

Nº	$\frac{Iw^2}{10^6}$	$\Delta$	$\frac{Iw^2\Delta}{10^6}$	$\Sigma \frac{Iw^2\Delta}{10^6}$	$\frac{k}{10^6}$	$\frac{\Sigma Iw^2\Delta}{k/10^6} = \Delta_{sh}$
I <sub>1</sub>						
I <sub>2</sub>						
I <sub>3</sub>						
I <sub>4</sub>		$\Delta^4$				
I <sub>5a</sub>	$\frac{I_{5a}w^2}{10^6}$	$\Delta_{5a} = \Delta_4 - \Delta_{sh^4}$	$\frac{I_{5a}\Delta_{5a}w^2}{10^6}$	$\Sigma \frac{I\Delta w^2}{10^6}$		$\Delta_{sh^4}$
REGIÃO DE TRANSIÇÃO						
I <sub>5b</sub>	$\frac{I_{5b}w^2}{10^6}$	$r\Delta_{5a}$	$I_{5b}\Delta_{5a}rw^2$	$\frac{1}{r} \Sigma \frac{I_{5a}Iw^2\Delta}{10^6} + I_{5b}\Delta_{5a}w^2$		
I <sub>6</sub>	$\frac{I_6w^2}{10^6}$	$\Delta_6 = r\Delta_{5a} - \Delta_{sh^5}$	$\frac{I_{5a}\Delta_6w^2}{10^6}$	$\Sigma \frac{Iw^2\Delta}{10^6} = 0$		

### B.3 - Sistemas com Ramificações

Seja o sistema representado esquematicamente na Figura B.3.

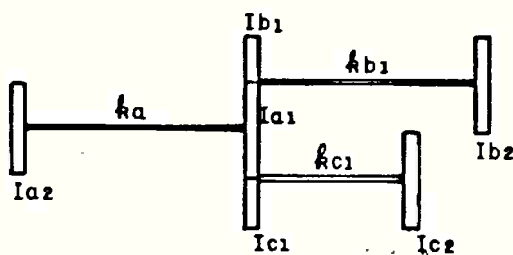


FIGURA B.3—ESQUEMA DE UM SISTEMA COM RAMIFICAÇÕES

O sistema apresenta as razões de redução  $r_B$  e  $r_C$  respectivamente por:

$$r_B = \frac{N_b}{N_a} ; \quad r_C = \frac{N_c}{N_a}$$

onde:

$N_a$  é a velocidade no eixo de coeficiente de rigidez  $k_a$ ,  
 $N_b$  é a velocidade no eixo de coeficiente de rigidez  $k_{b1}$ ,  
 $N_c$  é a velocidade no eixo de coeficiente de rigidez  $k_{c1}$ .

Nos sistemas equivalentes os parâmetros são |5|:

$$k_{ae} = k_a$$

$$k_{be} = r_b^2 k_{b1}$$

$$k_{ce} = r_c^2 k_{c1}$$

(B.3.1)



$$I_{a1e} = I_{a1} \quad I_{a2e} = I_{a2} \quad I_{b1e} = r_b^2 I_{b1} \quad (B.3.2)$$

$$I_{b2e} = I_{b2} r_b^2 \quad I_{c1e} = r_c^2 I_{c1} \quad I_{c2e} = r_c^2 I_{c2}$$

A inércia total das engrenagens  $I_g$  é dada por:

$$I_g = I_{a1} + I_{b1e} + I_{c1e} \quad (B.3.3)$$

Quando o sistema vibrar com a frequência natural  $\underline{w}$  tem-se para cada disco de momento de inércia  $I_{a2}$  a equação do movimento |5|:

$$I_{a2} w^2 \theta_{a2} = k_a (\theta_{a2} - \theta_{a1}) = T_a \quad (B.3.4)$$

onde:

$T_a$  é o conjugado que atua no tramo a,

$(\theta_{a2} - \theta_{a1})$  é o ângulo de torção no tramo a.

Dividindo-se ambos os termos da equação (B.3.4) por  $\theta_{a1}$ , obtém-se:

$$(k_a - I_{a2} w^2) \frac{\theta_{a2}}{\theta_{a1}} = k_a \quad (B.3.5)$$

Seja  $w_a^2 = \frac{k_a}{I_{a2}}$ , onde  $w_a$  é a frequência natural do tramo a.

Resulta então:

$$I_{a2} (w_a^2 - w^2) \frac{\theta_{a2}}{\theta_{a1}} = k_a \quad (B.3.6)$$

$$I_{a2} \frac{\theta_{a2}}{\theta_{a1}} = \frac{k_a}{\omega_a^2 - \omega^2} \quad (4.3) \quad (B.3.7)$$

Aplicando-se o raciocínio semelhante para os tramos b e c, obtém-se:

$$I_{b2e} \frac{\theta_{b2e}}{\theta_{b1e}} = I_{b2e} \frac{\theta_{b2e}}{\theta_{a1}} = \frac{k_{be}}{\omega_b^2 - \omega^2} \quad (B.3.8)$$

$$I_{c2e} \frac{\theta_{c2e}}{\theta_{a1}} = \frac{k_{ce}}{\omega_c^2 - \omega^2} \quad (B.3.9)$$

Para que o sistema esteja em equilíbrio, o somatório dos conjugados na engrenagem de momento de inércia  $I_a$  (deverá ser igual a zero.

Assim, deve-se ter:

$$T_a + T_g + T_b + T_c = 0 \quad (B.3.10)$$

ou então,

$$I_{a2} \theta_{a2} \omega^2 + I_g \theta_g \omega^2 + I_{b2e} \theta_{b2e} \omega^2 + I_{c2e} \theta_{c2e} \omega^2 = 0 \quad (B.3.11)$$

Como  $\theta_g = \theta_{a1}$ , dividindo-se (B.3.11) por  $\omega^2 \theta_g$ , tem-se:

$$I_{a2} \frac{\theta_{a2}}{\theta_g} + I_g + I_{b2e} \frac{\theta_{b2e}}{\theta_g} + I_{c2e} \frac{\theta_{c2e}}{\theta_g} = 0 \quad (B.3.12)$$

Finalmente, obtém-se:

$$I_g = \frac{k_a}{\omega_a^2 - \omega^2} + \frac{k_{be}}{\omega_b^2 - \omega^2} + \frac{k_{ce}}{\omega_c^2 - \omega^2} \quad (B.3.13)$$

Para um sistema de  $n$  ramificações, tem-se então:

$$I_g = \frac{k_a}{w_a^2 - w^2} + \frac{k_{be}}{w_b^2 - w^2} + \dots + \frac{k_{ne}}{w_{cn}^2 - w^2} \quad (\text{B.3.14})$$

As raízes da equação (B.3.14) podem ser obtidas por métodos de cálculo numérico.

Para determinação de frequências naturais de sistemas com ramificações e  $n$  massas, primeiramente simplifica-se o sistema para um semelhante ao da Figura B.3; assim o valor das raízes  $w_a$ ,  $w_b$  e  $w_c$  da equação (B.3.13) são as estimas iniciais das três primeiras frequências naturais que são utilizadas na aplicação do método de Holzer a sistemas com ramificações.

O procedimento compõe-se das seguintes fases descritas a seguir.

1. Estima das frequências iniciais extraíndo-se as raízes da equação (B.3.14);
2. Começando-se pelo tramo  $b$  admite-se  $A_{b2e} = 1$  e determina-se  $A_{b1e}$ ;
3. No tramo  $e$ , faz-se  $A_{c2e} = 1$  e calcula-se  $A_{c1e}$ ;
4. Se  $A_{c1e}$  for  $\neq$  de  $A_{b1e}$ , faz-se  $A_{c2e} = \frac{A_{b1e}}{A_{c1e}}$  e repete-se o cálculo no tramo  $c$ ;
5. Quando  $w$  for uma frequência natural deve-se ter o somatório dos conjugados  $A + B + C = 0$ .

Repete-se a iteração quantas vezes forem necessárias até que esta condição seja satisfeita. Utilizando-se a estima obtida na solução da equação (B.3.14), o número de iterações diminuirá bastante.

TABELA B.3 - TABULAÇÃO DE HOLZER PARA SISTEMAS COM RAMIFICAÇÕES

1	2	3	4	5	6	7
Massa	$I_{ne} w^2$	$A_n$	$I_{ne} w^2 A_n$	$\sum_{i=1}^n I_{ne} w^2 A_i$	$K_n$	5 / 6
$I_{b2e}$	$I_{b2e} w^2$	$A_{b2e} = 1$	2 x 3	$4_n + 5_n$	$k_{be}$	...
$I_{b1e}$	$I_{b1e} w^2$	$A_{b1e}$	...	A	-	-
$I_{c2e}$	$I_{c2e} w^2$	$A_{c2e} = 1$	...	...	$k_{ce}$	...
$I_{c1e}$	$I_{c1e} w^2$	$A_{e1e}$	...	...	-	-
$I_{c2e}$	$I_{c2} w^2$	$A_{c21} = \frac{A_{b1e}}{c_{1e}}$	...	B	$k_{ce}$	...
$I_{c1e}$	$I_{c1e} w^2$	$A_{c1i}$	...	→	-	-
$I_{a1e}$	$I_{a1e} w^2$	$A_{a1e}$	C	A + B + C	$k_a$	...
$I_{a2}$	$I_{a2} w^2$	$A_{a2}$	...	→ D	-	-

Na frequência natural do sistema deve-se ter  $D = 0$ .

## APÊNDICE C

### MÉTODO TABULAR PARA CÁLCULO DA SOMATÓRIA DE VETORES

É apresentada neste apêndice a formulação do método tabular empregado para cálculo da somatória de vetores que entra na determinação da resposta em vibração torcional do sistema.

Define-se como somatória de vetores:

$$\sum_{j=1}^n \vec{\Delta}_{ij}^{\ell}$$

onde:

$\Delta_{ij}$  ( $j=1,2,\dots,n$ ) é a amplitude relativa (tomada como referência a primeira massa) da  $j$ -ésima massa no  $i$ -ésimo modo de vibrar;

$$\Delta_{ij} = \frac{\theta_{ij}}{\theta_{i1}} \quad (C.1)$$

em que:

$\theta_{ij}$  ( $j=1,2,\dots,n$ ) é a amplitude de vibrar, idem;  
a direção dos vetores  $\vec{\Delta}_{ij}^{\ell}$  é baseada na defasagem entre os harmônicos de ordem  $\ell$  e o conjugado nos diversos cilindros do motor, tomando-se como referência o cilindro 1.

Portanto, o cálculo da somatória de vetores requer o conhecimento da curva de vibrar do modo em consideração ( $i$ ) e

da defasagem entre os harmônicos ( $\ell$ ) do conjugado nos cilindros, sendo que esta última depende da ordem do harmônico, da defasagem geométrica do eixo de manivelas do motor e da ordem de queima.

A uma dada configuração do eixo de manivelas corresponde uma única ordem de queima para motores de 2 tempos, porém, mais de uma ordem em motores de 4 tempos.

Para determinação da defasagem entre os harmônicos adota-se como referência o cilindro 1. A defasagem  $\alpha_{k\ell}$  do harmônico de ordem  $k$  no  $k$ -ésimo cilindro a sofrer ignição para um motor com cilindro em linha é dada por:

$$\alpha_{k\ell} = (k-1) \frac{360 \cdot C_1}{m} \ell \quad (C.2)$$

onde:

$C_1$  é uma constante que depende do tipo de motor;

$C_1 = 1$  motor de 2 tempos

$C_1 = 2$  motor de 4 tempos

$m$  é o número de cilindros do motor.

Chama-se diagrama de fase o diagrama que mostra a defasagem dos harmônicos do conjugado em um dado motor.

A Figura C.1, apresenta como ilustração a configuração do eixo de manivelas e os diagramas de fase para o primeiro modo de vibrar de motores de cinco e seis cilindros respectivamente. Ela apresenta estes diagramas para o caso dos motores serem de dois e quatro tempos, sendo que para o último tipo é indicado a ordem de queima do motor. O número de ordem do harmôni-

co está indicado abaixo do diagrama de fase que lhe corresponde.

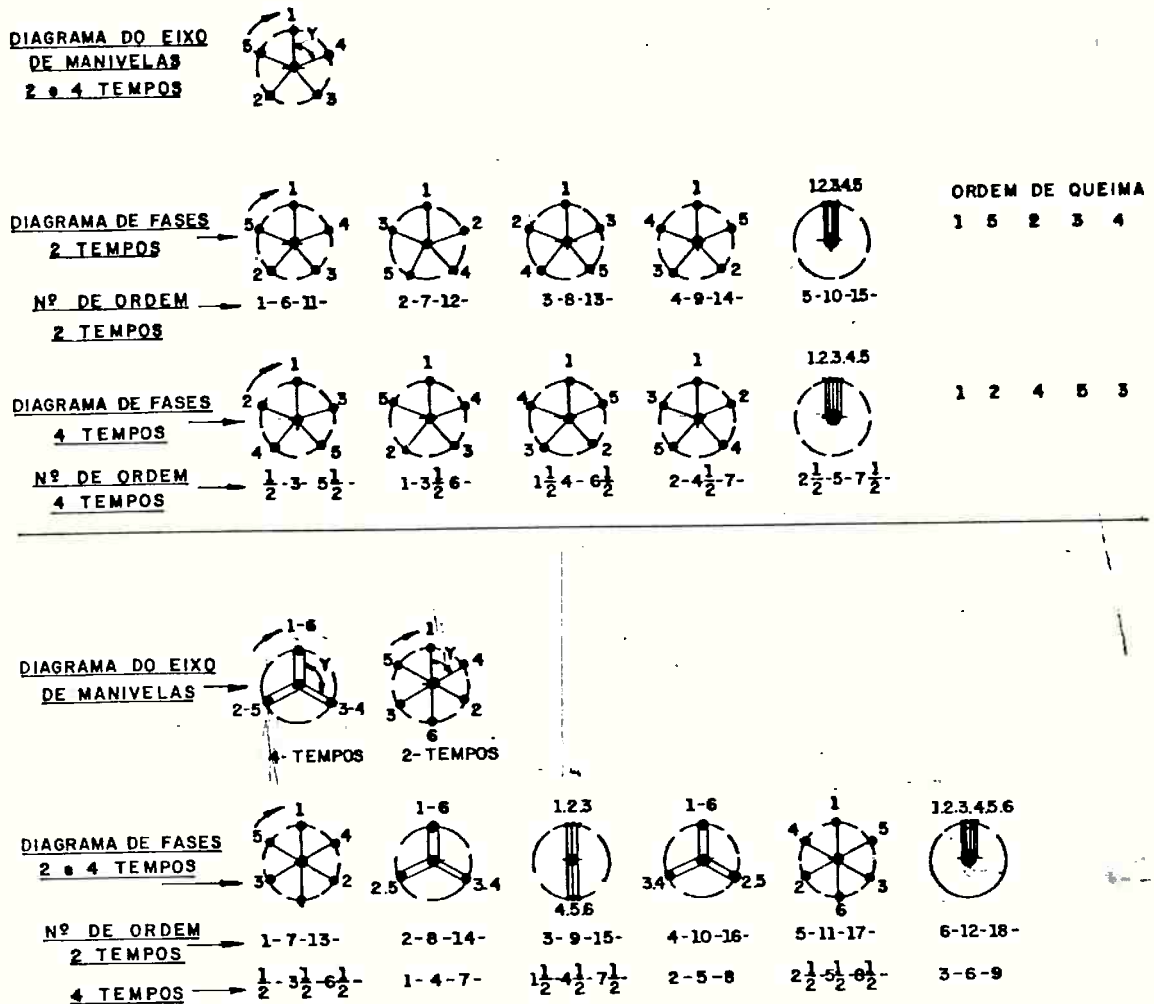


FIGURA C.1-

**DIAGRAMAS DE FASES PARA MOTORES DE CINCO (5) E SEIS (6) CILINDROS**

Um exame detalhado da Figura C.1 permite concluir que se estes motores puderem girar nos dois sentidos de rotação existirão os seguintes grupos de número de ordem com o mesmo diagrama de fase:

Motor de cinco cilindros - 2 tempos(ângulo básico de fase  $360/5 = 72^\circ$ )

Grupo 1 - números de ordens 1,6,11,etc. e 4,9,14, etc.

Grupo 2 - números de ordens 2,7,12,etc. e 3,8,13,etc.

Grupo 3 - números de ordens 5,10,15,etc. e todas as ordens múltiplas do número de cilindros (ordens principais).

Motor de cinco cilindros - 4 tempos.(ângulo básico de fase  $720/5 = 144^\circ$ )Grupo 1 - números de ordens  $1/2, 3, 5 1/2, etc$  e  $2, 4 1/2, 7, etc.$ Grupo 2 - números de ordens  $1, 3 1/2, 6, etc$  e  $1 1/2, 4, 6 1/2, etc$ Grupo 3 - números de ordens  $2 1/2, 5, 7 1/2, etc$  e todas as ordens múltiplas da metade do número de cilindros.

Uma análise semelhante pode ser feita para o motor de seis cilindros, concluindo-se que existem quatro grupos distintos do mesmo tipo dos mostrados para o motor de cinco cilindros, como se pode facilmente verificar na Figura 1.

Generalizando-se, tem-se que para motores de 2 ou 4 tempos o número de grupos de diagramas de fase diferentes é dado por:

$$\frac{m+1}{2} \quad \text{se } \underline{m} \text{ for impar}$$

$$\frac{m+2}{2} \quad \text{se } \underline{m} \text{ for par}$$

Para motores de 2 tempos cada grupo conterá os seguintes números de ordem:

grupo de fase	número de ordem
1º	1 $m \pm 1$ $2m \pm 1$
2º	2 $m \pm 2$ $2m \pm 2$
⋮	⋮    ⋮    ⋮
m	m $2m$ $3m$



Para motores de 4 tempos deve-se substituir  $m$  por  $\frac{m}{2}$  no número de ordem dos grupos de fase.

A Figura C.2 mostra a curva do primeiro modo de vibrar de um sistema constituído por um motor de 6 cilindros acionando uma carga. Pode-se observar nesta figura as amplitudes relativas  $\Delta_{ij}$  usadas para construção do diagrama de vetores.

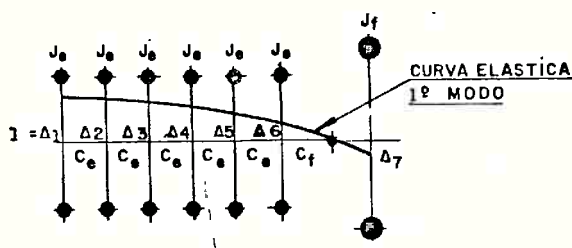


FIGURA C.2- CURVA ELÁSTICA DO 1º MODO DE VIBRAÇÃO DE UM MOTOR DE 6 CILINDROS

A partir dos dados das Figuras C.1 e C.2 é possível construir o diagrama de vetores da Figura C.3 que permite calcular:

$$\sum_{j=1}^6 \Delta_{ij}$$

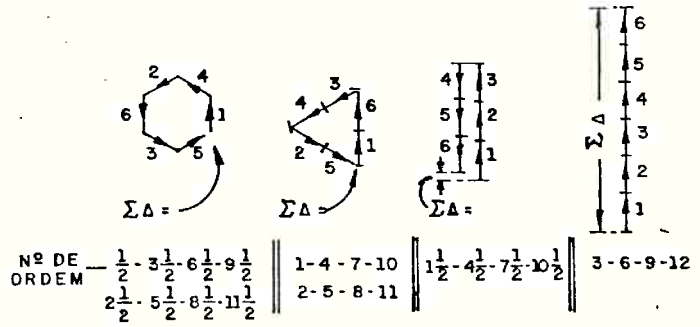


FIGURA C.3 - DIAGRAMA DE SOMATORIO DE VETORES PARA UM MOTOR DE SEIS (6) CILINDROS

Na Figura C.3 estão mostrados os diagramas resultantes para motores de 2 e 4 tempos e para diferentes ordens de harmônico.

Para fins de computação, em vez da construção do diagrama de vetores recorre-se a um método tabular para cálculo de  $\sum_{j=1}^m \vec{\Delta}_{ij}^{\ell}$ . Para este cálculo convém observar que:

$$\sum_{j=1}^m \vec{\Delta}_{ij}^{\ell} = \sqrt{\left( \sum_{j=1}^m \Delta_{ij} \sin \delta_{\ell j} \right)^2 + \left( \sum_{j=1}^m \Delta_{ij} \cos \delta_{\ell j} \right)^2}$$

onde:

$m$  indica o número de cilindros do motor,

$\delta_{\ell j}$  é o ângulo de fase do harmônico de ordem  $\ell$  no cilindro  $j$ .

A Tabela C.1 ilustra o método tabular empregado para cálculo da somatória de vetores |2|.

TABELA C.1 - MÉTODO TABULAR PARA CÁLCULO DO SOMATÓRIO DOS VETORES DO HARMÔNICO  $\lambda$  NO MODO  $i$

Seja $j=1,2,\dots,6$		1º Grupo ( $1, m \pm 1, m \pm 2$ )			2º Grupo ( $2, m \pm 2, 2m \pm 2$ )			...		Grupo $\frac{m+1}{2}$ ou $\frac{m+2}{2}$ ( $m$ ímpar) ou $\frac{m+2}{2}$ ( $m$ par) ( $m, 2m, 3m, \dots$ )	
Nº do cilindro	Ordem de queima $\Delta_{ij}$	Ângulo de fase $\delta_{\lambda j}$	$\Delta_{ij} \cdot \text{sen } \delta_{\lambda j}$	$\Delta_{ij} \cdot \text{cos } \delta_{\lambda j}$	Ângulo de fase $\Delta_{ij}$	$\Delta_{ij} \cdot \text{sen } \delta_{\lambda j}$	$\Delta_{ij} \cdot \text{cos } \delta_{\lambda j}$	...	Ângulo de fase $\Delta_{ij}$	$\Delta_{ij} \cdot \text{sen } \delta_{\lambda j}$	$\Delta_{ij} \cdot \text{cos } \delta_{\lambda j}$
1	$\Delta_{i1}$	0			0			...	0		
2	$\Delta_{i3}$	$\delta_{\lambda j} = \frac{360}{m}$			$2\delta_{\lambda j}$			...	$m\delta_{\lambda j}$		
3	$\Delta_{i5}$	$2\delta_{\lambda j}$			$4\delta_{\lambda j}$			...	$2m\delta_{\lambda j}$		
4	$\Delta_{i6}$	$3\delta_{\lambda j}$			$6\delta_{\lambda j}$			...	$3m\delta_{\lambda j}$		
5	$\Delta_{i4}$	$4\delta_{\lambda j}$			$8\delta_{\lambda j}$			...	$4m\delta_{\lambda j}$		
6	$\Delta_{i2}$	$(m-1)\delta_{\lambda j}$			$2(m-1)\delta_{\lambda j}$			...	$m(m-1)\delta_{\lambda j}$		
SOMA			$\Sigma \Delta_{ij} \cdot \text{sen } \delta_{\lambda j}$	$\Sigma \Delta_{ij} \cdot \text{cos } \delta_{\lambda j}$		$\Sigma \Delta_{ij} \cdot \text{sen } \delta_{\lambda j}$	$\Sigma \Delta_{ij} \cdot \text{cos } \delta_{\lambda j}$	...		$\Sigma \Delta_{ij} \cdot \text{sen } \delta_{\lambda j}$	$\Sigma \Delta_{ij} \cdot \text{cos } \delta_{\lambda j}$
SOMATÓRIO DOS VETORES $\sqrt{\sum_{j=1}^m \Delta_{ij}^2 \text{sen}^2 \delta_{\lambda j} + \Delta_{ij}^2 \text{cos}^2 \delta_{\lambda j}}$											

## APÊNDICE D

### O PROGRAMA DE COMPUTADOR

#### D.1 - DESCRIÇÃO DO PROGRAMA DE COMPUTADOR

Este apêndice descreve o programa de computador desenvolvido para cálculo de frequências naturais e de amplitudes de resposta e correspondente tensões para vibração torcional de eixo. Este programa consiste de um programa principal, sete subrotinas e três seções. A seguir é descrita cada uma destas seções e é apresentado um fluxograma que ilustra as principais ligações entre os vários segmentos do programa.

##### - Programa Principal

No programa principal são identificados quatro partes:

- i) Iniciação e Leitura de Dados;
- ii) Cálculo da Frequência Natural;
- iii) Cálculo das Tensões e Amplitudes de Ressonância;
- iv) Cálculo e Gráfico das Tensões de Flanco.

A seção i) estende-se da primeira instrução à instrução 17. Deve-se destacar as funções das variáveis indexadas LANG e NOPE. A primeira registra o valor do ângulo da manivela de cada cilindro para motores com 7,11,13,14,16,17 e 19 cilindros. Para os demais números de cilindros o programa adota um espaçamento angular constante dado pelo quociente entre  $360^{\circ}$  e o número de cilindros. Para os números acima relacionados este quociente resultaria em números fracionários, razão pela qual foi estabelecido o vetor LANG. Os valores de LANG inicializados na primeira instrução DATA do programa não são definitivos, podendo ser modificados à critério do fabricante dos motores. Quan

to à variável NOPE ela registra os nomes de todos os componentes do sistema de acordo com a nomenclatura da B & W (por exemplo) ou de outro qualquer fabricante do motor.

Logo a seguir da instrução 9000 encontram-se os valores iniciais de PRECI, KR, KW. A variável PRECI designa a precisão de parada da tabela de Holzer. O valor de PRECI, em kpcm, representa o máximo tolerado para o conjugado residual, ou seja, para um valor tentativo da frequência natural, caso o conjugado total na extremidade do sistema seja menor ou igual a PRECI, o programa considera que este valor tentativo é a frequência natural procurada. Foi escolhido para PRECI o valor 1000 kpcm, o qual, em todos os testes efetuados mostrou-se bastante satisfatório, KR e KW designam a leitora de cartões e a impressora, respectivamente. Para o B6700 da USP, KR é igual a 5 e KW igual a 6. O processamento em outros computadores pode exigir modificações nestes valores. Neste caso deve-se alterá-los não só o programa principal como também em algumas subrotinas.

Prosseguindo são encontrados até a instrução 17 todos os comandos de leitura do programa. Estas leituras são detalhadas no Manual do Usuário do Programa.

Após algumas instruções de significado secundário inicia-se na instrução 450 o laço mais externo do programa. Neste laço o contador I = 1,7 percorre cada um dos modos de vibrar solicitados. Estão previstos no máximo sete modos de vibrar, sendo que a variável NDOS(1), lida pelo programa, guarda o número de cada modo desejado. Assim sendo, para cada modo o programa

calcula a frequência natural, as tensões de ressonância e, por fim, as tensões de flanco. Deste modo as três seções restantes do programa principal estão contidas dentro do laço DO 50 I = 1,7.

A primeira delas, seção ii) Cálculo da Frequência Natural, estende-se até a instrução 621. A primeira providência tomada é a de se estimar o valor da frequência natural desejada. Três procedimentos foram estabelecidos. O primeiro é aplicável aos modos de vibrar igual ou superior ao terceiro, sendo que, nestes casos, a estimativa adotada é o valor resultante do acréscimo de 5% sobre a frequência natural do modo imediatamente menor. Assim, por exemplo, para o 5º modo de vibrar o primeiro valor tentado para sua frequência natural é igual a 1,05 vezes a frequência natural do 4º modo de vibrar. O segundo procedimento é aplicável aos primeiro e segundo modos. Nestes casos a subrotina CHUTE produz uma estimativa destas frequências segundo modelos simplificados (Apêndice B). O terceiro procedimento, utilizado opcionalmente, é aquele no qual o valor tentativo é um dado lido pelo programa. O manual do usuário descreve este procedimento. Em seguida, por intermédio de sucessivas utilizações da subrotina HOLZ, são calculados todos os elementos da tabela de Holzer (amplitudes, conjugados de inércia, etc.), e a frequência natural do modo de vibrar em estudo. Nesta busca a frequência é variada de 10 em 10 por cento até ocorrer troca de sinal do conjugado residual, quando então novos valores são obtidos por interpolação dos dois anteriores.

Calculada a frequência natural, são feitas as impressões da tabela final de Holzer (instruções 600 a 621). Para estas impressões são calculadas as tensões específicas nas várias massas, o valor máximo destas tensões, os produtos conjugado x amplitude, fator de amortecimento x conjugado x amplitude, etc. A subrotina INDIC calcula a potência de dez dos valores do conjugado em cada peça, local e total, e da tensão específica de forma que, na impressão, os valores a serem impressos não excedam o FORMAT especificado.

A seção iii) Cálculo das Tensões e Amplitudes de Ressonância, está desenvolvida desde a instrução 629 até a instrução 650. Inicialmente são estabelecidas as ordens de vibrar para as quais serão calculadas as tensões. Duas alternativas foram previstas. Na primeira o usuário especifica as ordens de vibrar desejadas. Na segunda, na falta de opção do usuário, o programa especifica todas as ordens cujas rotações críticas resultem compreendidas entre 0,3 a 2 vezes a rotação nominal do motor. Em qualquer dos casos somente são adotadas as ordens de vibrar para os quais são disponíveis as curvas de harmônico do conjugado, informação essencial para o cálculo das tensões de ressonância. Três gráficos destes diagramas foram incorporados opcionalmente ao programa sendo todos referentes a motores B&W. Seus números, 222280, 222279 e 215019 referem-se, respectivamente, a motores de quatro tempos, motores de dois tempos e motores de dois tempos sem turbocarregador. Nos diagramas 222280 e 222279 constam curvas da ordem 1/2 à ordem 12, sendo a máxima pressão média indicada igual a 18Kg/cm<sup>2</sup>. Finalmente o diagrama 215019 contém as curvas para as ordens de 1 a 15 e para a máxi-

ma pressão média indicada de 8 Kg/cm<sup>2</sup>.

Estabelecidas as ordens de vibrar são calculados para cada uma delas, os valores das seguintes variáveis:

- a) rotação crítica
- b) pressão crítica (pressão média indicada na velocidade crítica)

Esta pressão é, no máximo, igual à pressão média indicada do motor.

No caso de grupos geradores esta pressão é sempre igual à pressão média indicada do motor.

- c) valor do harmônico do conjugado para a ordem de vibrar e pressão crítica (utilização da subrotina CURVA)
- d) conjugado devido ao momento de inércia variável pela subrotina FORM
- e) soma de vetores, utilizando a subrotina FIBAS e algumas instruções do programa principal
- f) tensões estáticas
- g) tensão de ressonância
- h) amplitude de ressonância

A tensão estática de cada ordem de vibrar pode ser decomposta em uma parte "direta" e outra sob o título de "sub-harmônica" (conjugados secundários). Esta última, de valor relativo quase desprezível em relação à primeira, exige para ser calculada dados particulares não disponíveis quando da elaboração do programa. No entanto, foi mantida no programa com vistas à sua inclusão no futuro sendo que, atualmente, seu valor é ze-



ro qualquer que seja a ordem de vibrar.

Todos os cálculos anteriormente mencionados são realizados pelas expressões constante da seção 3.7.4.1.

A seção iii) encerra-se com as instruções de impressão de seus resultados.

Finalmente a seção iv) Cálculo e Gráfico das Tensões de Flanco é responsável pelas demais instruções do programa principal. Esta seção inicia-se pelo cálculo das velocidades de rotação para as quais serão calculadas as tensões. O critério adotado foi o de incluir a rotação nominal do motor, todas as rotações críticas relativas às ordens de vibrar da seção iii) e, por fim, completar 50 velocidades com valores equiespaçados entre limites definidos pelo usuário ou pelo programa (0,3 a 2 vezes a rotação nominal do motor).

Para cada uma das velocidades são calculados todos os valores listados na seção iii), ou seja, harmônico do conjugado, conjugado devido ao momento de inércia variável, etc. e a tensão de flanco propriamente dita. Esta tensão, para as rotações críticas assume, evidentemente, o valor da tensão de ressonância.

Os cálculos mencionados no parágrafo anterior são repetidos para cada ordem de vibrar especificada na seção iii), sendo que, para cada velocidade, os três maiores valores são somados e impressos no final sob o título "SUMMATION".

A impressão das tensões de flanco são feitas de sete em sete ordens de vibrar, quando, naturalmente, for o caso.

Em seguida são obtidas as coordenadas do gráfico das

tensões de flanco. Estes gráficos são traçados pela impressora, adotando-se para cada ordem de vibrar uma letra diferente, sendo esta simbologia impressa pelo programa. As letras I e M são reservadas para simbolizar o eixo das rotações e aqueles pontos por onde passam mais de uma curva, respectivamente. A escala do gráfico é ditada pelo maior valor impresso. São reservadas 95 colunas para o traçado do gráfico.

- Subrotina CHUTE

Esta subrotina é empregada na estimativa da frequência natural do primeiro e segundo modos de vibrar. Ela emprega a expressão sugerida por Den Hartog [2] para cálculo das frequências naturais de um sistema simplificado de três massas.

Para tanto a subrotina concentra as massas do sistema em três pontos. Como ponto central para concentração das massas adota-se a engrenagem redutora, quando for o caso. Não existindo tal engrenagem adota-se a posição da massa de maior inércia situada entre o motor e a extremidade do sistema (utilizados). Os demais pontos de concentração são os relativos às extremidades do sistema em estudo.

Definidos estes três pontos as massa são divididas entre eles estabelecendo-se três massas virtuais. De forma semelhante os eixos são combinados de maneira a se obter os dois eixos que complementam o sistema simplificado de três massas, ao qual são aplicadas as expressões (referência [1]) para cálculo das frequências naturais dos dois primeiros modos de vibrar.

São dados de entrada na subrotina:

LL - modo de vibrar em estudo

NMASS - número de massas do sistema

NCIL - número de cilindros se motor em linha  
número de cilindros/bancada se motor em V

XJ - momentos de inércia das diversas massas

XK - constantes de mola dos diversos eixos

A subrotina fornece na saída o valor de W2, estimativa do quadrado da frequência natural do modo de vibrar LL.

- Subrotina FORM

Subrotina simples que calcula o conjugado devido ao momento de inércia variável das massas alternativas a partir dos dados de entrada:

AUX1 - diâmetro dos cilindros

AUX2 - curso dos êmbolos

RPMC - rotação crítica da ordem de vibrar em estudo

L - número da ordem de vibrar sendo trabalhada

GOSC - massa oscilante (M alt)

XLRR - valor de L/R

Consiste de quatro expressão para as ordens de vibrar 1, 2, 3 e 4.

O resultado do cálculo é transferido ao programa principal pela variável FORMS.

- Subrotina HOLZ

Esta subrotina é a responsável pela busca da frequência natural de um determinado modo de vibrar. Recebe como dados de entrada:

NMASS - número de massas do sistema

- PRECI - precisão que determina a parada da busca
- INO - modo de vibrar
- XJ - momentos de inércia das diversas massas
- XK - constantes de mola dos diversos eixos
- W2 - primeira tentativa para a frequência natural
- NRED - reduções de rotação existentes no sistema

De posse dos dados de entrada a subrotina monitora o cálculo da tabela de Holzer utilizando a primeira tentativa da frequência natural (W2) e a subrotina FCA0. Ao terminar este cálculo o valor do conjugado total na última massa (designado por SJW2B (NMASS)) é comparado com PRECI. Sendo menor a subrotina devolve o comando para o programa principal assinalando W2 como a frequência natural. Sendo maior, uma nova estimativa para a frequência natural (W2) é estabelecida pela subrotina de acordo com as seguintes regras:

- para modos de vibrar ímpares (1,3,5,7,...)  
Se o conjugado residual manteve o sinal do cálculo anterior e, este sinal, é positivo aumentar o valor de W2 em 10%.  
Se o conjugado residual manteve o sinal do cálculo anterior e, este sinal, é negativo diminuir W2 em 10%.
- para modos de vibrar pares (2,4,6,...)  
Se o conjugado residual manteve o sinal do cálculo anterior e, este sinal, é positivo diminuir W2 em 10%.

Se o conjugado residual manteve o sinal do cálculo anterior e, este sinal, é negativo crescer  $W_2$  em 10%.

- para qualquer modo

Se o conjugado residual trocou de sinal em relação ao cálculo anterior a próxima estimativa é obtida pela interpolação linear entre os dois últimos cálculos que conduz, em princípio, SJW2B(NMASS) ao valor zero.

Se for a segunda tentativa segue-se a regra de variação de 10% de acordo com a paridade do modo vista cima.

Estas regras garantem que, desde que a primeira estimativa esteja no período que envolve a frequência desejada, este valor é obtido com a precisão decorrente de PRECI.

- Subrotina INDIC

Subrotina cuja função é obter as potências de dez pelas quais SJW2B, XJW2B e TW devem ser divididas de sorte que, na impressão, os resultados destas variáveis caibam nos formatos F especificados.

Recebe como dados de entrada:

SS - vetor SJW2B, XJW2B ou TW  
 SJW2B - conjugado total em cada massa  
 XJW2B - conjugado local em cada massa  
 TW - tensão específica torsional em cada massa  
 NMASS - número de massas do sistema  
 NPI - número de colunas no FORMAT de impressão reservadas para a parte inteira

Como saída a subrotina informa IND, a potência de dez pela qual todos os valores de SS devem ser divididos.

- Subrotina FCAO

É a responsável pelo cálculo da tabela de Holzer em si. É acionada pela subrotina HOLZ para cada valor de W2, frequências obtido por tentativa incorporada naquela subrotina.

Considera a existência ou não de reduções no sistema. Como entrada recebe a frequência-tentativa W2, o número de massas NMASS e as reduções NRED. Devolve para a HOLZ e para o programa principal, por intermédio do COMMON/NODOS/, os valores:

BETA - amplitude em cada massa  
XJW2B - conjugado de inércia em cada massa  
SJW2B - conjugado total em cada massa  
SJW2K - ângulo de torção em cada trecho do eixo intermediário

- Subrotina FIBAS

A função desta subrotina é a de obter o grupo em que determinada ordem de vibrar (XX) deve ser colocado de sorte a se calcular a soma de vetores. Basicamente esta subrotina determina o fator (FAT) que deve multiplicar o ângulo obtido pelo quociente  $360^\circ / (\text{número de cilindro})$ , para que os cálculos das diversas parcelas que compõem a soma de vetores sejam feitos.

Portanto, são dados de entrada:

NCIL - número de cilindros  
NTEMP - número de tempos do motor  
XX - ordem de vibrar

Como saída identifica-se FAT.

- Subrotina CURVA

Esta subrotina é que monitora o cálculo dos harmônicos de conjugado de excitação. Os seus dados de entrada são:

KTIPO - número do diagrama de harmônicos do conjugado utilizado (215019, 222279 ou 222280) fornecidos pelo fabricante do motor

Z - ordem de vibrar em estudo

X - pressão crítica para a qual deseja-se o harmônico do conjugado.

Com estes dados a subrotina aciona uma das três funções, P1, P2 ou P3, respectivamente relativos aos diagramas 215019, 222279 e 222280, onde é calculado o harmônico do conjugado da ordem Z e para a pressão X:

Como saída desta subrotina tem-se Y que é o valor do harmônico do conjugado.

- Função P1

Esta função contém um polinômio para cada ordem de vibrar constante do diagrama 215019. Estes polinômios, expressos na pressão crítica, foram obtidos por regressão e fornecem o valor do harmônico do conjugado. São a representação matemática das curvas do diagrama 215019.

- Função P2

Equivalente à P1 porém relativa ao diagrama 222279.

- Função P3

Equivalente à P1 porém relativa ao diagrama 222280.

Ao longo de todo o programa foram colocadas algumas verificações elementares, as quais, não sendo satisfeitas, pro-

vocam a interrupção do programa acompanhada de uma mensagem elucidativa sobre a interrupção.



## MANUAL DO USUÁRIO DO PROGRAMA

DADOS DE ENTRADA

Neste apêndice são apresentadas as instruções para utilização do programa

Todos os dados são perfurados em cartões de 80 colunas. A seguir encontra-se a descrição destes cartões:

CARTÃO 1

FORMATO(6A6,3(I2,1X)

(MOTOR(I),I=1,2),(ESTAL(I),I=1,2),(OBRAV(I),I=1,2),LDIA,LMES,LANO

(MOTOR(I),I= 1,2)	- designação do motor	- colunas 1 a 12
(ESTAL(I),I=1,2)	- nome do estaleiro	- colunas 13 a 24
(OBRAV(I),I=1,2)	- designação da obra na Villares	- colunas 25 a 36
LDIA	- dia do processamento	- colunas 37 e 38
LMES	- mês do processamento	- colunas 40 e 41
LANO	- ano do processamento	- colunas 43 e 44

CARTÃO 2

FORMATO(11A6,1X,I1,1X,A6)

(NOME(I),I=1,11),NTEMP,TIPMO

(NOME(I),I=1,11)	- descrição geral da obra	- colunas 1 a 66
NTEMP	- número de tempos (2 ou 4)	- coluna 68
TIPMO	- tipo do motor (linha ou V)	- colunas 70 a 75

OBSERVAÇÃO: Se motor em linha perfurar a palavra LINHA a partir da coluna 70; se em V perfurar a letra V na coluna 70.

CARTÃO 3

FORMATO(F10.0,A6)

FIV,GERAD

- FIV - ângulo entre as bancadas do motor em V, expresso em graus. Se o motor for em linha deixar em branco este espaço - colunas 1 a 10
- GERAD - designa que o utilizador é um gerador. Neste caso perfurar a palavra GERADOR a partir da coluna 11. Demais casos deixar em branco este campo.

CARTÃO 4FORMATO(2F8.0,2(1X,I5),IX,2A6,1X,A6,  
1X,I6,3(1X,F7.0))

XLRR,GOSC,CILBR,STROK,DRWIG(1),DRWIG(2),STDNR,HARIM,PI,PE,PMAX

- XLRR - relação L/R - colunas 1 a 8  
L: comprimento da conectora (biela)  
R: raio do eixo de manivela
- GOSC - massa oscilante em quilos - colunas 9 a 16
- CILBR - diâmetro dos cilindros em milímetros (algarismo das unidades deve ser colocado na coluna 22) - colunas 18 a 22
- STROK - curso dos êmbolos em milímetros (algarismo das unidades deve ser colocado na coluna 28) - colunas 24 a 28
- DRWIG(1) e DRWIG(2) - designação dos desenhos referentes ao sistema em estudo - colunas 30 a 41
- STDNR - número "standard"; também serve para complementar designação dos desenhos - colunas 43 a 48
- HARIM - número do diagrama de harmônicos do con-  
jugado. Deve ser um dos seguintes:

	motor 4 tempos - 222280	
	motor 2 tempos - 222279	
	motor 2 tempo sem turbo	
	carregador - 215019	- colunas 50 a 55
PI	- pressão indicada em $\text{kp}/\text{cm}^2$	- colunas 57 a 63
PE	- pressão efetiva em $\text{kp}/\text{cm}^2$	- colunas 65 a 71
PMAX	- pressão máxima em $\text{kp}/\text{cm}^2$	- colunas 73 a 79

OBSERVAÇÃO: As variáveis XLRR, GOSC, PI, PE e PMAX são variáveis reais, devendo o usuário perfurar o ponto referente à vírgula do número ou seguir o formato especificado. As variáveis CILBR, STROK e HARIM são inteiras, portanto sem ponto.

CARTÃO 5

FORMATO(4(I6,1X),F6.1,1X,I2)

IHP,BHP,NCIL,NMASS,RPM,NORD

IHP	- potência indicada em HP (algarismo das unidades deve ser colocado na coluna 6)	- colunas 1 a 6
BHP	- potência no freio em HP (algarismo das unidades deve ser colocado na coluna 13)	- colunas 8 a 13
NCIL	- número de cilindros se motor em linha; número de cilindros por bancada se motor em V (algarismo das unidades deve ser colocado na coluna 20)	- colunas 15 a 20
NMASS	- número de massas constituintes do sistema (incluindo cilindros) (algarismo das unidades deve ser colocado na coluna 27)	- colunas 22 a 27

RPM - velocidade de rotação do motor em rotações por minuto - colunas 29 a 34

NORD - número de ordens de vibrar para as quais são desejadas as tensões de ressonância. Esta opção só deve ser usada em casos in comuns, pois, se NORD é feito igual a zero, o programa adota todas as ordens de vibrar que levam a rotações críticas com preendidas de 0,3 a 2 vezes RPM.

Uma vez especificado pelo usuário NORD diferente de zero, as mesmas ordens de vibrar são utilizadas pelo programa para todos os modos (algarismo das unidades deve ser colocado na coluna 37)

- colunas 36 a 37

OBSERVAÇÃO: As variáveis IHP, BHP, NCIL, NMASS e NORD são inteiras, portanto sem ponto. RPM é real.

CARTÃO 6

FORMATO(26(1X,I2)

(IORDQ(I),I=1,número de cilindros)

IORDQ(I) - ordem de queima; cada IORDQ(I) representa o número do cilindro dentro da ordem de queima, sucessivamente do primeiro ao último\*. Cada número ocupa duas colunas separadas por uma em branco, a partir da co

\* PARA MOTORES EM V INFORMAR A ORDEM DA BANCADA A E DEPOIS, NO MESMO CARTÃO, A ORDEM DA BANCADA B.

luna 2. Assim, se a ordem de queima é 1  
-5 -4 -3 -6 -2, este cartão seria:

coluna 1 0 1 0 5 0 4 0 3 0 6 0 2

CARTÃO 7

FORMATO(26(1X,I2))

(NDOS(I),I=1,7)

NDOS(I) - variável que guarda os modos de vibrar cu-  
jos cálculos são desejados. Podem ser es-  
pecificados até 7 modos. Os modos requeri-  
dos devem estar em ordem crescente sendo  
o formato igual ao do cartão anterior. As-  
sim sendo, desejando-se calcular os modos  
1, 3 e 6, este cartão teria o aspecto:

coluna 1 0 1 0 3 0 6

CARTÃO 8FORMATO(I2,3(1X,F10.0),2X,I2,2X,  
2(1X,F10.0))

(NTIPO(I),XJ(I),XK(I),XW(I),NRED(I),R(I),RMASS(I),I=1,NMASS)

OBSERVAÇÃO: Devem ser empregados tantos cartões 8 quantas forem  
as massas do sistema (NMASS), cujo valor foi dado  
no cartão 5. Ou seja, um cartão para cada massa.

NTIPO(I) - número do tipo da massa de acordo com a  
nomenclatura adotada.

(algarismo das unidades deve ser coloca-  
do na coluna 2)

- colunas 1 e 2

XJ(I) - valor de  $WD^2$  em  $Kg/m^2$  (medida do momento  
de inércia)

- colunas 4 a 13

XK(I) - valor do inverso do coeficiente de rigidez, multiplicado por  $10^{10}$ , do eixo situado antes da massa (para a primeira massa deixar em branco), em rad/kpcm - colunas 15 a 24

OBSERVAÇÃO: Quando a massa XJ(I) for um acoplamento flexível XK(I+1) não deve ser nulo.

XW(I) - módulo de resistência da seção do eixo logo após a massa em  $\text{cm}^3$  (para a última massa deixar em branco) - colunas 26 a 35

NRED(I) - só preenchido se for uma engrenagem com razão diferente de 1. Neste caso NRED indica o número de dentes da massa I, seja ela um pinhão ou uma roda da engrenagem. (algarismo das unidades deve ser colocado na coluna 40) - colunas 36 a 40

R(I) - fator de amortecimento R da massa I em porcentagem - colunas 43 a 52

RMASS(I) - massa rotativa em  $\text{kgm}^2$  - colunas 54 a 63

OBSERVAÇÃO: As variáveis XJ, XK, XW, R e RMASS são reais devendo o usuário perfurar o ponto ou seguir a especificação do formato. As demais variáveis são inteiras, portanto sem pontos.

#### CARTÃO 9

#### FORMATO(F10.0)

FRE

FRE - variável opcional que exprime o valor tentativa para a frequência natural do modo de vibrar que se deseja calcular. Esta op

ção somente deve ser usada quando um só modo de vibrar está em estudo (vide cartão 7). Não sendo usada deixar o cartão em branco.

- colunas 1 a 10

CARTÃO 10

FORMATO(2F10.0)

VINF,VSUP

VINF - velocidade de rotação mínima para o cálculo das tensões de flanco e, consequentemente, para traçado de seus gráficos. Expresso em rpm, é um dado posicional.

- colunas 1 a 10

VSUP - velocidade de rotação máxima para o cálculo das tensões de flanco e, consequentemente, para traçado de seus gráficos. Expresso em rpm, é um dado posicional.

- colunas 11 a 20

OBSERVAÇÃO: VINF e VSUP somente devem ser especificados quando deseja-se detalhar o gráfico das tensões de flanco em uma certa faixa das velocidades de operação do motor. O usuário não especificando VINF e VSUP o programa adota a faixa de 0,3 a 2 vezes a rotação do motor. Neste último caso este cartão deve ser deixado em branco.

CARTÃO 11

FORMATO(15(F4.1,1X))

(XORDV(I,I=1,NORD) (OPCIONAL)

XORDV(I) - números das ordens de vibrar nos quais de-seja-se calcular as tensões de ressonância. É um cartão opcional que só deve ser

incluído quando NORD é diferente de zero (vide cartão 5). Cada dado ocupa 4 colunas. Entre 2 dados deve ser deixada uma coluna em branco. São usados quantos cartões forem necessários.

CARTÃO 12

FORMATO(2I5)

INOM,JOSC - cálculo das tensões entre as massas JOSC e JOSC+1 quando INOM = 1.

CARTÃO 13

FORMATO(I5)

INOGV - quando INOGV = 1 desenha o gráfico das tensões de flanco.

CARTÃO 14

FORMATO(I5)

NFALHA - indica que o cilindro de nº (NFALHA) não estão funcionando. Caso contrário, deixar em branco.

OBSERVAÇÕES:

- 1) Os cartões de 1 a 14 são obrigatórios. O cartão 11 somente é usado quando NORD é diferente de zero.
- 2) Em um mesmo processamento é possível calcular mais de um problema distinto. Para tanto devem ser colocados os cartões 1 a 10 ou 11 de cada problema, sucessivamente, na massa de cartões de dados.
- 3) Após todos os cartões de dados deve ser colocado um cartão em branco como cartão final da massa de dados.



- 4) Havendo no sistema duas engrenagens, estas devem estar se<sub>paradas</sub> por pelo menos uma massa. Assim, os pares de variá<sub>veis</sub> NRED(I) que expressam as relações de redução (vi<sub>de</sub> cartão 8) serão introduzidos no programa separadamente, o que é absolutamente necessário. Não havendo tal massa inter<sub>mediária</sub> no sistema real, o usuário pode colocar uma massa virtual com todas as características iguais à zero (XJ, XK, NRED, R, RMASS; (vide cartão 8) à exceção de XW. Para XW a<sub>dotar</sub>, por exemplo, o valor 1.

D.2 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO - MOTOR 14V23LU

MAQUINA PRINCIPAL 4SCSR COM 14 CILINDROS EM V 45 GRAUS  
 L/R= 4.000 G DSC= 57.4 KP  
 STD.NR. HARMONISK IMPULS NR. 222280

CYL. BORE 225 MM, STROKE 300 MM, SHAFTING DRG. NO.  
 PI= 16.7 KP/CM2, PE= 14.2 KP/CM2, PHAX= 100.0 KP/CM2,  
 2521 IHP 2139 BHP, AT 825 RPM  
 PI= 16.717 KP/CM2, PE= 14.173 KP/CM2  
 2521 IHP 2139 BHP, AT 825.000 RPM

FIRING ORDER : 1 2 4 6 7 5 3  
 NE= 486-0602 VIBS/MIN.

TABLE OF FREQUENCY FOR 1 NODE VIBRATIONS, FREQUENCY= 486 VIRS/MIN.

ANGLE FROM CYL 1 TO CYL N	M A S S	TORSION FACTOR (BEF. MASS)	SPEED RPM	AMPLITUDE RADIANS	TOTAL TORQUE CH3 (AFTER MASS)	T/W	T+A	ROTATING MASS	GEAR	THWIST RADIANS	TORQUE KP.CM.	RHD	R X	R.T.A. KP.CM.	NO.
30	2.4	0.00	825.0	1.0000	1.6	0.0014	1.6	2.4		0.0000	1.6	0.05	0.05	0.00	38
61	28.2	7.50	825.0	1.0000	20.2	0.0163	18.6	28.2		0.0000	18.6	17.00	17.00	3.17	61
38	3.1	0.00	825.0	1.0000	22.2	0.0179	2.0	3.1		0.0000	2.0	0.05	0.05	0.00	38
0 1	39.1	25.68	825.0	0.9994	48.0	0.0386	25.8	33.9		0.0006	25.8	0.90	0.90	0.23	1
51 2	34.5	38.17	825.0	0.9976	70.8	0.0569	22.7	29.3		0.0018	22.7	0.90	0.90	0.20	2
309 3	34.5	38.17	825.0	0.9976	93.4	0.0752	22.5	29.3		0.0027	22.7	0.90	0.90	0.20	3
103 4	40.8	38.17	825.0	0.9913	120.1	0.0966	26.5	35.6		0.0036	26.7	0.90	0.90	0.24	4
257 5	44.8	38.17	825.0	0.9867	149.3	0.1201	28.8	39.6		0.0046	29.2	0.90	0.90	0.26	5
154 6	43.2	38.17	825.0	0.9810	177.3	0.1426	27.5	38.0		0.0057	28.0	0.90	0.90	0.23	6
206 7	40.8	38.17	825.0	0.9743	203.5	0.1637	25.6	35.6		0.0068	26.0	0.90	0.90	0.23	7
23	6.6	24.74	825.0	0.9692	207.9	0.1410	4.1	6.6		0.0050	4.2	0.90	0.90	0.04	23
32	475.0	12.09	825.0	0.9667	510.9	0.3793	293.1	475.0		0.0025	303.2	0.05	0.05	0.15	32
52	93.3	0.00	825.0	0.9667	570.5	0.4982	57.6	93.3		0.0000	59.6	12.00	245.60	141.39	52
38	43.7	3620.13	825.0	1.0986	538.8	0.6701	34.8	43.7		2.0653	-31.7	0.05	0.05	0.02	38
76	19.8	48.40	825.0	-1.1246	524.1	0.6519	16.5	19.8		0.0261	-14.7	2.00	2.00	0.33	76
77	17.7	0.00	825.0	-1.1246	511.0	0.6355	14.0	17.7		0.0000	-13.1	2.00	2.00	0.30	77
78	54.0	0.00	825.0	-1.1246	470.9	0.5856	45.1	54.0		0.0000	-40.1	2.00	2.00	0.90	78
62	3.5	0.00	825.0	-1.1246	468.3	1.1915	2.9	3.5		0.0000	-2.6	2.00	2.00	0.06	62
79	1.5	130.60	825.0	-1.1858	467.1	0.1721	1.4	1.5	1000	0.0612	-1.2	2.00	2.00	0.03	79
80	239.6	0.00	208.8	-0.3000	1798.5	0.6627	14.2	39.6	3952	0.0000	-47.5	2.00	2.00	0.28	80
38	131.0	11.30	208.8	-0.3204	1770.7	0.5772	8.9	31.6		0.0203	-27.7	0.05	0.05	0.00	38
73	4541.0	152.61	208.8	-0.5906	0.0		1045.8	41.0		0.2702	-1770.7	3.00	3.00	31.37	73
							SUM=				0.0			179.65	

R SYST= 10.3201X

DESIGNATION OF MASSES	SUMMATION OF VECTORS	ORDER	VECTOR	SUM	CRIT. RPM
21 CYLINDERS	0.5	0.0304	972.1		
61 DAMPER	1.0	0.0155	486.1		
32 TURNING WHEEL	1.5	0.0081	324.0		
76 GEAR WHEEL	2.0	0.0069	243.0		
78 GEAR WHEEL					
79 GEAR WHEEL					

VILLARES S.PAULO  
 TORSIONAL VIBRATIONS MOTOR 14/23L  
 VILLARES SP  
 OSCAR  
 20/ 6/82  
 MAXIMUM STRESSES IN SECTION BETWEEN MASSES 62 AND 79  
 PI HARMONIC MASS FORCE DIRECT SUBHARM TOTAL  
 TORQUE KP/CM2 6.13 0.00 2.01 0.00 2.01  
 KP/CM2 16.72 7.83 3.92 0.27 0.00 2.01  
 5.21 2.94 0.00 0.10 0.00 0.27  
 4.29 2.45 -0.71 0.05 0.00 0.05  
 9.75 1.32 0.47 0.24 0.00 0.00  
 0.810 0.110 0.039 0.020

FLANK STRESSES IN SECTION BETWEEN MASSES 62 AND 79 IN KP/CR

SUMMATION

RPM	0.5 ORDER	1.0 ORDER	1.5 ORDER	2.0 ORDER	SUMMATION
243.03				C.24	1.14
247.50	0.71	0.24	0.20	C.22	1.28
279.37	0.73	0.27	0.28	0.11	1.67
311.25	0.74	0.31	0.42	C.05	
324.04			0.47		1.47
343.13	0.76	0.36	0.35	0.03	1.43
375.00	0.78	0.44	0.21	0.01	1.50
405.88	0.81	0.56	0.14	0.01	1.68
438.75	0.83	0.74	0.10	0.00	1.89
470.63	0.87	0.94	0.08	C.00	
486.06		1.32			1.86
502.50	0.90	0.89	0.06	0.01	1.66
534.38	C.95	C.66	C.05	C.01	1.52
566.25	1.00	0.48	0.04	C.01	1.46
598.13	1.05	0.37	C.04	C.01	1.45
630.00	1.12	C.29	0.03	C.01	1.43
661.88	1.21	0.24	0.03	C.01	1.54
693.75	1.31	0.21	0.02	C.01	1.63
725.63	1.43	0.18	0.02	0.01	1.75
757.50	1.58	0.16	0.02	C.01	1.92
789.38	1.76	0.14	0.02	0.01	2.14
821.25	2.00	0.13	0.02	C.02	2.17
825.00	2.03	0.13	0.02	C.02	2.42
853.13	2.29	0.12	0.01	C.02	2.75
885.00	2.63	0.11	0.01	C.02	3.10
915.88	2.99	0.10	0.01	C.02	3.34
948.75	3.23	0.09	0.01	C.02	
972.12	9.75				3.31
980.63	3.20	C.09	C.01	C.02	2.99
1012.50	2.89	C.08	0.01	C.02	2.57
1044.38	2.48	C.08	C.01	C.02	2.17
1076.25	2.08	0.07	0.01	C.02	1.84
1108.13	1.76	0.07	0.01	C.02	1.58
1140.00	1.50	0.07	0.01	C.02	1.38
1171.88	1.29	C.06	0.01	C.02	1.21
1203.75	1.13	0.06	0.01	C.02	1.09
1235.63	1.00	0.06	0.01	C.02	C.97
1267.50	0.89	0.06	C.01	C.02	C.80
1299.38	0.80	0.05	0.01	C.02	C.73
1331.25	0.73	0.05	0.01	C.02	C.68
1363.13	0.66	C.05	0.01	C.02	C.63
1395.00	0.61	0.05	0.01	C.02	C.58
1426.88	0.56	C.05	0.00	C.02	C.55
1458.75	0.52	0.05	C.00	C.02	C.51
1490.63	0.48	0.05	C.00	C.02	C.47
1522.50	0.45	0.05	C.00	C.02	C.46
1554.38	C.42	0.04	C.00	C.02	C.43
1586.25	0.39	C.04	0.00	C.02	
1618.13	0.37	C.04	0.00	C.02	C.41
1650.00	0.35	0.04	0.00	C.02	

SYMBOLS

- A= 0-5 ORDER
- P= 1-C ORDER
- C= 1-5 ORDER
- D= 2-C ORDER
- I=RPM AXIS
- M=>1 POINT

FLANK STRESSES DIAGRAMS

RPM

243.0 I D  
 247.5 ICH A  
 279.4 IDH A  
 311.2 D B C A  
 324.0 I C A  
 343.1 D H A  
 375.0 D C B A  
 406.9 DC B A  
 438.8 H BA  
 470.6 H AB  
 486.1 I M B  
 502.5 M M  
 534.4 H B A  
 566.3 M B A A  
 598.1 P P A  
 630.0 M B A  
 661.9 M B A A  
 693.8 MB A A  
 725.6 MB A A  
 757.5 MB A A  
 789.4 MB A  
 821.3 MB A  
 825.0 MP A  
 853.1 MB A  
 885.0 MB A  
 916.9 H A  
 948.8 H A  
 972.1 I A  
 980.6 P A  
 1012.5 P A  
 1044.4 M A  
 1076.3 M A  
 1108.1 H A  
 1140.0 P A  
 1171.9 M A  
 1203.8 M A  
 1235.6 M A  
 1267.5 P A  
 1299.4 M A  
 1331.3 H A  
 1363.1 M A  
 1395.0 H A  
 1426.9 M A  
 1458.8 H A  
 1490.6 M A  
 1522.5 H A  
 1554.4 M A  
 1586.3 M A  
 1618.1 P A  
 1650.0 P A

VILLARES  
 S-PAULO  
 CALCULATION OF  
 TORSIONAL VIBRATIONS  
 MOTOR 14/23L  
 VILLARES SP  
 20/ 6/82  
 0 OSCAR

\*\*STATIC STRESS IN CRANKSHAFT= 0.28 KP/CM2\*\*

\*\*TORSIONAL MOMENT IN ELEMENT 13 TYPE 52 FLGE./FLEX.-CPL.= 91.63 KP.CM\*\*

L/R= 4.000 G OSC= 57.4 KP  
 STD.NR. HARMONISK IMPULS NR. 2722RD  
 PI= 16.717 KP/CM2 PE= 14.173 KP/CM2  
 2521 IHP 2139 BHP\*AT 825.000 FPM

MAQUINA PRINCIPAL 45CSR COM 14 CILINDROS EM V 45 GRAUS  
 CYL. CORE 225 MM. STROKE 300 MM. SHAFTING DRG. NO.  
 PI= 16.7 KP/CM2 PE= 14.2 KP/CM2 PMAX= 100.0 KP/CM2  
 2521 IHP 2139 BHP\*AT 825 RPM

FIRING ORDER: 1 2 4 6 7 5 3  
 TABLE OF FREQUENCY FOR 2 MODE VIBRATIONS, FREQUENCY= 1333 VIBS/MIN.

ANGLE FROM CYL TO CYL N	M A S	TORSION FACTOR RAC/KP.CM (BEF.-MASS)	SPEED RPM	AMPLITUDE RADIANS	TOTAL TORQUE KP.CM	MOM.-OF INERTIA CM3 (AFTER MASS)	T/A KP.CM	ROTATING MASS KG.M2	GEAR	TWIST RADIANS	TORQUE KP.CM	RHO	F Z	RETA A KP.CM	NO.
38	2.4	0.00	825.0	1.0000	1.2	1145	1.2	2.4		0.0000	1.2	0.05	0.05	0.00	38
61	28.2	7.50	825.0	0.9599	15.2	1243	14.0	28.2		0.0001	14.0	17.00	17.00	2.38	61
38	3.1	0.00	825.0	0.9599	16.7	1243	1.5	3.1		0.0000	1.5	0.05	0.05	0.00	38
1	39.1	25.68	825.0	0.9556	36.1	1243	19.3	33.9		0.0043	19.3	0.90	0.90	0.17	1
51	2	38.17	825.0	0.9819	52.9	1243	16.5	29.3		0.0138	16.8	0.90	0.90	0.15	2
305	3	34.5	825.0	0.9817	69.4	1243	15.8	29.3		0.0702	16.5	0.90	0.90	0.14	3
103	4	40.8	825.0	0.9015	88.3	1243	17.7	35.6		0.0265	19.0	0.90	0.90	0.16	4
257	5	38.17	825.0	0.9015	108.4	1243	16.1	39.6		0.0337	20.1	0.90	0.90	0.16	5
154	6	43.2	825.0	0.8601	126.8	1243	15.9	38.0		0.0414	18.5	0.90	0.90	0.14	6
206	7	38.17	825.0	0.8117	143.3	1243	13.4	35.6		0.0484	16.4	0.90	0.90	0.12	7
23	6.6	24.74	825.0	0.7763	145.8	1473	2.0	6.6		0.0354	2.5	0.90	0.90	0.02	23
32	475.0	12.09	825.0	0.7586	324.8	1347	135.8	475.0		0.0176	179.0	0.05	0.05	0.07	32
52	93.1	0.00	825.0	0.7586	360.0	1145	26.7	93.3		0.0000	35.2	12.00	12.00	562.85	52
38	43.7	3620.13	825.0	-12.2721	93.6	804	3268.8	43.7		13.0307	-266.4	0.05	0.05	1.63	38
76	19.8	49.40	825.0	-12.3174	-27.5	604	1492.0	19.8		0.8453	-121.1	2.00	2.00	29.94	76
77	17.7	0.00	825.0	-12.3174	-135.8	604	1333.8	17.7		0.0000	-108.3	2.00	2.00	26.64	77
72	54.0	0.00	825.0	-12.3174	-466.2	804	4069.1	54.0		0.0000	-330.4	2.00	2.00	81.38	72
62	3.5	0.00	825.0	-12.3174	-487.6	393	263.7	3.5		0.0000	-21.4	2.00	2.00	5.27	62
79	1.5	130.60	825.0	-11.6806	-496.3	2714	101.6	1.5	1000	-0.6368	-8.7	2.00	2.00	2.03	79
80	239.6	0.00	208.8	-2.9556	-2313.1	2714	1039.6	39.6	3952	0.0000	-351.7	2.00	2.00	20.79	80
38	131.0	11.30	208.8	-2.6942	-2488.4	3068	472.3	31.6		-0.2614	-175.3	0.05	0.05	0.24	38
73	4541.0	152.61	208.8	1.1033	-0.00		2745.5	41.0		-3.7975	2488.4	3.00	3.00	82.36	73

R SYST= 5.4136%  
 SUM= 15084.3

DESIGNATION OF MASSES	SUMMATION OF VECTORS	MAXIMUM STRESSES IN SECTION BETWEEN MASSES	62 AND 79
	ORDER VIBS/REV	HARMONIC TORQUE KP/CM2	RESON. REASON-
		FORCE KP/CM2	STRESS APPLI.
		DIRECT SUBHARM	MP/CM2 MRAD.
		KP/CM2	
38 FLANGE	1-0	8.16	5.17
23 CAMSHAFT DRIVE	1.5	0.00	1.87
52 FLGE./FLEX.-CPL.	2-0	-5.38	0.74
77 GEAR WHEEL	2.5	0.00	0.00
62 CLUTCH	3-0	0.00	0.00
80 GEAR WHEEL	3.5	-0.90	1.20
	4-0	0.00	17.98
	4.5	-0.04	0.00
	5-0	0.00	0.00
	5-5	0.00	0.00

VILLARES  
S. PAULO

CALCULATION OF  
TORSIONAL VIBRATIONS  
MOTOR 14/23L  
VILLARES SP

0/100  
0 OSCAR



FLANK STRESSES IN SECTION BETWEEN MASSLS 62 AND 79 IN KP/CM2  
 Z ORDER FREQUENCY = 1333-1284 VIBS/MIN

RPM	1.0 ORDER	1.5 ORDER	2.0 ORDER	2.5 ORDER	3.0 ORDER	3.5 ORDER	4.0 ORDER
242.39	0.16	0.08	0.05	0.08	0.24	2.94	0.00
247.50	0.16	0.08	0.04	0.09	0.26	3.81	0.00
266.63	0.17	0.09	0.04	0.10	0.30	5.67	0.00
284.41	0.17	0.09	0.03	0.12	0.36	11.13	0.00
296.25	0.18	0.09	0.02	0.14	0.51	17.98	0.00
321.32	0.18	0.10	0.01	0.19	1.20	12.63	0.00
333.28	0.19	0.10	0.01	0.27	0.52	5.50	0.00
358.22	0.20	0.11	0.04	0.46	0.21	3.22	0.00
380.89	0.21	0.12	0.08	0.85	0.09	2.21	0.00
395.13	0.22	0.13	0.15	0.30	0.03	1.64	0.00
437.04	0.23	0.14	0.29	0.18	0.00	1.29	0.00
444.38	0.24	0.16	0.58	0.13	0.02	1.05	0.00
468.95	0.26	0.19	0.24	0.10	0.03	0.88	0.00
505.86	0.27	0.22	0.59	0.08	0.04	0.75	0.00
533.25	0.29	0.27	0.33	0.06	0.05	0.65	0.00
542.76	0.31	0.36	0.27	0.05	0.06	0.57	0.00
577.67	0.33	0.44	0.25	0.05	0.06	0.50	0.00
615.58	0.34	0.50	0.24	0.04	0.06	0.46	0.00
653.49	0.37	0.68	0.22	0.04	0.07	0.45	0.00
666.56	0.40	0.61	0.21	0.03	0.07	0.40	0.00
690.39	0.44	0.42	0.19	0.03	0.07	0.36	0.00
727.30	0.50	0.29	0.19	0.03	0.08	0.33	0.00
764.21	0.56	0.22	0.18	0.02	0.08	0.30	0.00
801.12	0.64	0.17	0.17	0.02	0.08	0.28	0.00
825.00	0.73	0.14	0.17	0.02	0.08	0.25	0.00
838.03	0.87	0.14	0.17	0.02	0.08	0.24	0.00
874.93	1.05	0.10	0.16	0.02	0.08	0.22	0.00
888.75	1.30	0.09	0.16	0.02	0.09	0.20	0.00
911.84	1.67	0.08	0.16	0.01	0.09	0.19	0.00
948.75	2.10	0.07	0.15	0.01	0.09	0.17	0.00
985.66	2.65	0.06	0.15	0.01	0.09	0.16	0.00
1022.57	3.37	0.06	0.15	0.01	0.09	0.15	0.00
1059.47	4.60	0.06	0.15	0.01	0.09	0.15	0.00
1096.38	6.40	0.06	0.15	0.01	0.09	0.15	0.00
1133.29	8.80	0.05	0.15	0.01	0.09	0.14	0.00
1170.20	12.40	0.05	0.15	0.01	0.09	0.14	0.00
1207.11	17.60	0.05	0.15	0.01	0.09	0.13	0.00
1244.01	24.80	0.05	0.15	0.01	0.09	0.13	0.00
1280.92	34.80	0.04	0.15	0.01	0.09	0.12	0.00
1317.83	49.20	0.04	0.15	0.01	0.09	0.12	0.00
1333.13	68.00	0.04	0.14	0.01	0.09	0.11	0.00
1354.74	93.20	0.04	0.14	0.01	0.09	0.11	0.00
1351.64	127.00	0.04	0.14	0.01	0.09	0.11	0.00
1428.55	174.00	0.04	0.14	0.01	0.09	0.11	0.00
1465.46	238.00	0.04	0.14	0.01	0.09	0.11	0.00
1502.37	324.00	0.04	0.14	0.01	0.09	0.11	0.00
1539.28	438.00	0.04	0.14	0.01	0.09	0.11	0.00
1576.18	594.00	0.04	0.14	0.01	0.09	0.11	0.00
1613.09	800.00	0.03	0.14	0.01	0.09	0.10	0.00
1650.00	1074.00	0.03	0.14	0.01	0.09	0.10	0.00

SYMBOLS

- A= 1.0 ORCFR
- B= 1.5 ORCFR
- C= 2.0 ORCFR
- D= 2.5 ORCFR
- E= 3.0 ORCFR
- F= 3.5 ORCFR
- G= 4.0 ORCFR
- J=RPY AXIS
- M=>1 PCINT

RPM

242.4 I  
247.5 HE  
266.6 I  
284.4 HE  
296.3 I  
321.3 HE  
333.3 G  
358.2 HE  
380.9 I  
395.1 HE  
432.0 M  
444.4 I  
468.9 HDE  
505.9 MMD  
533.3 I  
542.8 PAD  
579.7 MM  
616.6 MM  
653.5 HA  
666.6 IC  
690.4 PA  
727.3 MDCF  
764.2 MHF  
801.1 MHF  
825.0 PMM  
838.0 PMM  
874.9 MMEB  
888.8 I  
911.8 MVAB  
948.8 PMH  
985.7 MMA  
1022.6 MVA  
1059.5 MF  
1096.4 MF  
1133.3 MF  
1170.2 MF  
1207.1 M  
1244.0 M  
1280.9 M  
1317.8 M  
1333.1 I  
1354.7 M  
1391.6 M  
1428.6 M  
1465.5 M  
1502.4 M  
1539.3 M  
1576.2 M  
1613.1 M  
1650.0 M

SYMBOLS  
A= 1.0 ORCFR  
B= 1.5 ORCFR  
C= 2.0 ORCFR  
D= 2.5 ORCFR  
E= 3.0 ORCFR  
F= 3.5 ORCFR  
G= 4.0 ORCFR  
J=RPY AXIS  
M=>1 PCINT

VILLARES  
J-PAULO

CALCULATION OF  
TORSIONAL VIBRATIONS  
MOTOR 14723L  
VILLARES SP

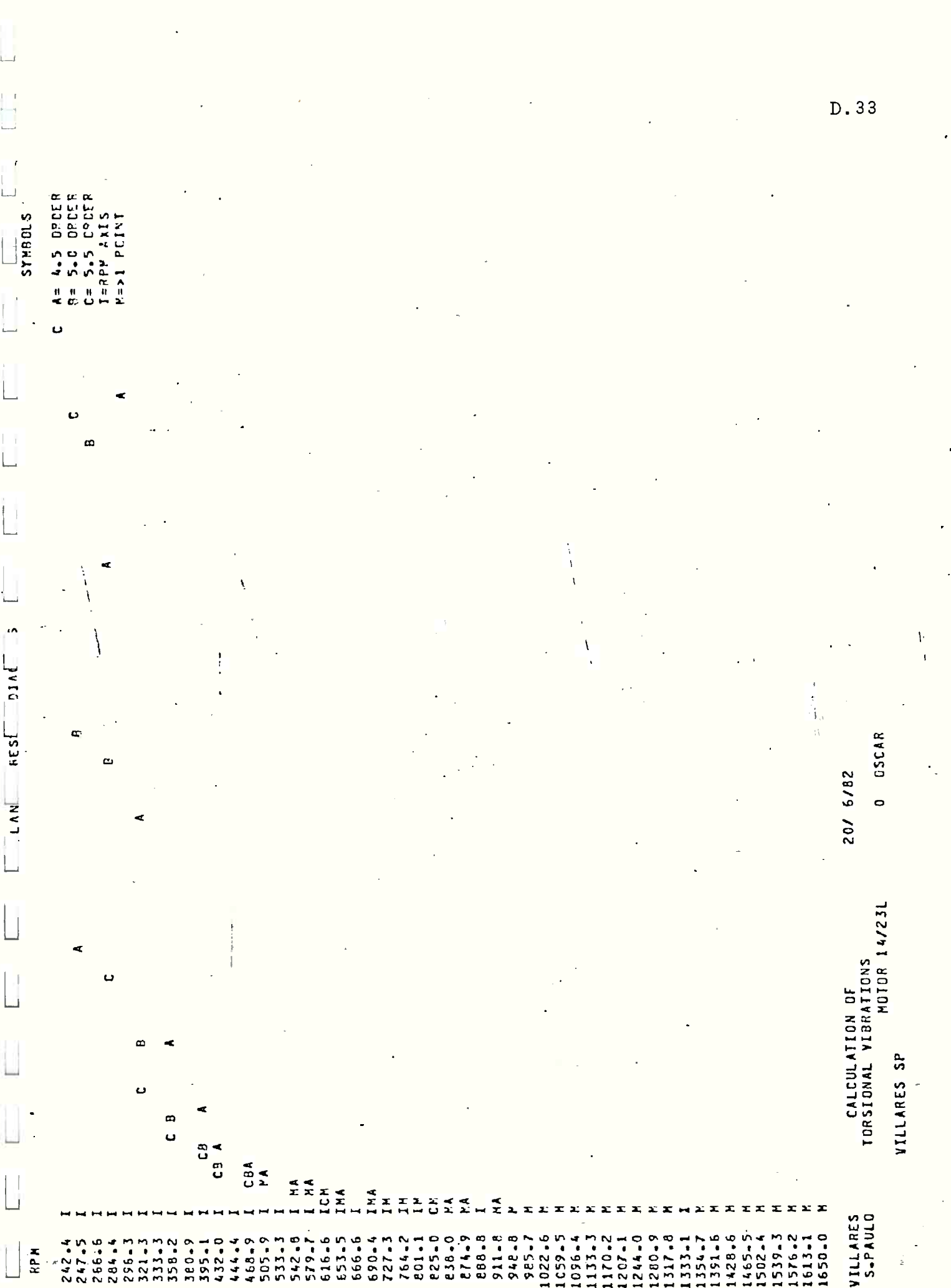
20/ 6782  
0 OSCAR

FLANK STRESSLS IN SECTION BETWEEN MASSES 62 AND 79 IN KP/CP2  
 2 ORDER FREQUENCY = 1333.1284 VIRS/MIN

RPM	4.5 ORDER		5.0 ORDER		5.5 ORDER		SUMMATION
	0.03	0.05	0.01	0.01	0.01	0.10	
242.39							3.34
247.50							4.24
266.63							6.13
284.41							11.67
296.25							13.32
321.32							6.54
333.28							
358.22							
380.89							
395.13							
432.04							
444.38							
468.95							
505.86							
533.25							
542.76							
579.67							
616.58							
653.49							
666.56							
690.39							
727.30							
764.21							
801.12							
825.00							
838.03							
874.93							
888.75							
911.84							
948.75							
985.66							
1022.57							
1059.47							
1096.38							
1133.29							
1170.20							
1207.11							
1244.01							
1280.92							
1317.83							
1333.13							
1354.74							
1391.64							
1428.55							
1465.46							
1502.37							
1539.28							
1576.18							
1613.09							
1650.00							

SYMBOLS

- C A= 4.5 ORDER
- B= 5.0 ORDER
- C= 5.5 ORDER
- I=RPM AXIS
- M=>1 PCINT



RPM

242.4 I  
 247.5 I  
 266.6 I  
 284.4 I  
 296.3 I  
 321.3 I  
 333.3 I  
 358.2 I  
 380.9 I  
 395.1 I  
 432.0 I  
 444.4 I  
 468.9 I  
 505.9 I  
 533.3 I  
 542.8 I  
 579.7 I  
 616.6 I  
 653.5 I  
 666.6 I  
 690.4 I  
 727.3 I  
 764.2 I  
 801.1 I  
 825.0 I  
 838.0 I  
 874.9 I  
 888.8 I  
 911.8 I  
 948.8 I  
 985.7 I  
 1022.6 I  
 1059.5 I  
 1096.4 I  
 1133.3 I  
 1170.2 I  
 1207.1 I  
 1244.0 I  
 1280.9 I  
 1317.8 I  
 1333.1 I  
 1354.7 I  
 1391.6 I  
 1428.6 I  
 1465.5 I  
 1502.4 I  
 1539.3 I  
 1576.2 I  
 1613.1 I  
 1650.0 I

VILLARES  
 S.PAULO

CALCULATION OF  
 TORSIONAL VIBRATIONS  
 MOTOR 14/23L  
 VILLARES SP

20/ 6/82  
 0 OSCAR

\*\*STATIC STRESS IN CRANKSHAFT= 0.18 KP/CM2\*\*

\*\*TORSIONAL MOMENT IN ELEMENT 13 TYPE 52 FLGE-/FLEX-CPL=- 278.91 KP-CM\*\*

CYL. BORE 225 MM, STROKE 300 MM, SHAFTING DRG. NO.  
 PI= 16-7 KP/CM2, PE= 14-2 KP/CM2, PMAX= 100-0 KP/CM2  
 2521 IHP 2139 BHP/AT 825 RPM

FIRING ORDER : 1 2 4 6 7 5 3  
 TABLE OF FREQUENCY FOR 3 NODE VIBRATIONS, FREQUENCY= 3531 VIBS/MIN.

ANGLE FROM CYL I TO CYL N	M A S S	TORSION FACTOR	SPEED AMPLITUDE	TOTAL TORQUE	MGM-CF RESIST.	T/M	T*A	ROTATING MASS	GEAR	TKIST RADIANS	TORQUE	RHO	F	P.T.A NO. KP.CM.
	KG.M2	RAD/KP.CM	RPM	KP.CM.	CM3	KP/CM2	KP.CM.	KG.P2			KP.CM.		X	
		(BEF.MASS)		(AFTER MASS)										
38	2.4	0.00	825.0	1.0000	83.6	0.0730	83.6	2.4	0.0000	0.0000	83.6	0.05	0.05	0.04
61	28.2	7.50	825.0	0.9994	1065.8	0.8574	981.5	28.2	0.0006	0.0006	987.1	17.00	17.00	165.76
38	3.1	0.90	825.0	0.9994	1173.0	0.9437	107.2	3.1	0.0000	0.0000	107.3	0.05	0.05	0.05
0	39.1	25.68	825.0	0.9692	2493.8	2.0062	1280.1	33.9	0.0301	0.0301	1320.7	0.90	0.90	11.52
51	34.5	38.17	825.0	0.8741	3544.7	2.8517	918.5	29.3	0.0952	0.0952	1050.9	0.90	0.90	8.27
309	34.5	38.17	825.0	0.7388	4432.9	3.5663	656.2	29.3	0.1353	0.1353	888.2	0.90	0.90	5.91
103	40.8	38.17	825.0	0.5696	5242.7	4.2174	461.2	35.6	0.1692	0.1692	809.8	0.90	0.90	4.15
257	44.8	38.17	825.0	0.3694	5819.5	4.6818	213.1	39.6	0.2001	0.2001	576.8	0.90	0.90	1.92
154	43.2	38.17	825.0	0.1473	6041.3	4.8603	32.7	38.0	0.2221	0.2221	221.8	0.90	0.90	0.29
206	40.8	38.17	825.0	-0.0833	5922.9	4.7650	9.9	35.6	0.2306	0.2306	-118.4	0.90	0.90	0.09
23	6.6	24.74	825.0	-0.2298	5870.0	3.9851	12.1	6.6	0.1465	0.1465	-52.9	0.90	0.90	0.11
32	475.0	12.09	825.0	-0.3008	691.0	0.6615	1497.6	475.0	0.0710	0.0710	-4979.0	0.05	0.05	0.75
52	93.3	0.00	825.0	-0.3008	-87.0	0.0760	294.2	93.3	0.0000	0.0000	-978.0	12.00	1.12	3.29
38	43.7	36.20	825.0	0.0141	-65.5	0.0814	0.3	43.7	-0.3149	-0.3149	21.5	0.05	0.05	0.00
76	19.8	48.40	825.0	0.0173	-53.5	0.0666	0.2	19.8	-0.0032	-0.0032	11.9	2.00	2.00	0.00
77	17.7	0.00	825.0	0.0173	-42.9	0.0533	0.2	17.7	0.0000	0.0000	10.7	2.00	2.00	0.00
78	54.0	0.00	825.0	0.0173	-10.3	0.0126	0.6	54.0	0.0000	0.0000	32.6	2.00	2.00	0.01
62	3.5	0.00	825.0	0.0173	-8.2	0.0208	0.0	3.5	0.0000	0.0000	2.1	2.00	2.00	0.00
79	1.5	130.60	825.0	0.0184	-7.2	0.0027	0.0	1.5	-0.0011	-0.0011	1.0	2.00	2.00	0.00
80	239.6	0.00	208.8	0.0046	10.3	0.0038	0.2	39.6	0.0000	0.0000	38.8	2.00	2.00	0.00
38	131.0	11.30	208.8	0.0145	31.0	0.0101	0.1	31.6	0.0001	0.0001	20.7	0.05	0.05	0.00
73	4541.0	152.61	208.8	-0.0002	0.0	0.0002	0.0	41.0	0.0047	0.0047	-31.0	3.00	3.00	0.00
							SUM=				0.0			203.27

R SYST= 3-1C36Z

DESIGNATION OF MASSES	SUMMATION OF VECTORS	MAXIMUM STRESSES IN SECTION BETWEEN MASSES	6 AND 7
	ORDER VECTOR VIBS/REV	PI HARMONIC MASS TORQUE KP/CM2	RESPON. RESON.
		FORCE KP/CM2	STRESS APPLI. KP/CM2
		DIRECT SUBHARM TOTAL	STRESS APPLI. KP/CM2
		STATIC STRESS	STRESS APPLI. KP/CM2
38 FLANGE	2.5	4.82	90.76
23 CAMSHAFT DRIVE	3.0	3.91	228.07
52 FLGE-7FLEX-CPL.	3.5	0.00	312.47
77 GEAR WHEEL	4.0	2.50	0.04
62 CLUTCH	4.5	1.56	10.31
80 GEAR WHEEL	5.0	1.04	8.79
79 GEAR WHEEL	5.5	0.00	9.80
73 MAIN PROPELLER	6.0	0.59	14.26
	6.5	0.00	85.17
	7.0	0.32	150.41
	7.5	0.26	67.90

WILLARES  
 S. PAULO  
 VILLARES SP

20/ 6/82

CALCULATION OF  
 TORSIONAL VIBRATIONS  
 MOTOR 14/23L  
 0 OSCAR

8-0	0-4758	441-4	7-01	0-21	0-00	0-43	0-00	0-43	0-00	0-43	0-00	0-43	0-00	0-143
8-5	0-3025	415-4	6-56	0-17	0-00	0-23	0-00	0-23	0-00	0-23	0-00	0-23	0-00	0-076
9-0	0-2649	392-4	6-19	0-14	0-00	0-18	0-00	0-18	0-00	0-18	0-00	0-18	0-00	0-059
9-5	0-3956	371-7	5-87	0-11	0-00	0-20	0-00	0-20	0-00	0-20	0-00	0-20	0-00	0-066
10-0	2-4810	353-1	5-60	0-09	0-00	1-02	0-00	1-02	0-00	1-02	0-00	1-02	0-00	0-339
10-5	3-9826	336-3	5-37	0-08	0-00	1-38	0-00	1-38	0-00	1-38	0-00	1-38	0-00	0-456
11-0	1-3424	321-0	5-17	0-06	0-00	0-38	0-00	0-38	0-00	0-38	0-00	0-38	0-00	0-125
11-5	0-0927	307-1	5-00	0-05	0-00	0-02	0-00	0-02	0-00	0-02	0-00	0-02	0-00	0-007
12-0	0-0001	294-3	4-84	0-04	0-00	0-00	0-00	0-00	0-00	0-00	0-00	0-00	0-00	0-000
12-5	0-0602	282-5	4-71	0-03	0-00	0-01	0-00	0-01	0-00	0-01	0-00	0-01	0-00	0-003
13-0	0-1822	271-6	4-59	0-01	0-00	0-01	0-00	0-01	0-00	0-01	0-00	0-01	0-00	0-003

3 ORDER FREQUENCY = 3531.2998 VIBS/MIN

RPM	2.5 ORDER	3.0 ORDER	3.5 ORDER	4.0 ORDER	4.5 ORDER	5.0 ORDER	5.5 ORDER
247.50	2.50	9.27	9.36	0.00	0.39	0.43	0.52
271.64							
282.50							
294.27							
301.44	2.54	8.62	9.66	0.00	0.41	0.46	0.56
307.07							
321.03							
336.31							
353.13	2.58	7.81	10.04	0.00	0.44	0.51	0.63
355.38							
371.72							
392.37	2.64	6.81	10.53	0.00	0.49	0.57	0.74
409.33							
415.45							
441.41	2.71	5.58	11.14	0.00	0.54	0.66	0.91
463.27							
476.84							
504.47							
517.21	2.79	4.08	11.93	0.00	0.62	0.81	1.24
543.28							
571.15	2.89	2.24	12.93	0.00	0.75	1.09	2.04
588.55							
625.10	3.01	0.04	14.26	0.00	0.96	1.70	5.51
642.05							5.40
679.04	3.15	2.88	16.04	0.00	1.38	3.94	3.24
706.26						8.79	
732.98	3.31	6.49	18.55	0.00	2.52	3.78	1.41
784.73					10.31		
785.92	3.51	11.16	22.30	0.00	5.66	1.51	0.87
825.00	3.67	15.37	26.25	0.01	2.85	1.02	0.67
840.87	3.74	17.41	28.41	0.01	2.18	0.90	0.61
882.82				0.04			
894.81	4.03	26.10	39.92	0.01	1.15	0.62	0.46
948.75	4.40	38.90	67.89	0.00	0.76	0.47	0.37
1002.69	4.86	59.43	139.89	0.00	0.55	0.37	0.30
1008.94			312.47				
1056.63	5.47	97.03	75.49	0.00	0.43	0.31	0.26
1110.58	6.29	182.83	39.58	0.00	0.35	0.26	0.22
1164.52	7.46	401.14	25.90	0.00	0.29	0.22	0.19
1177.10		228.07					
1218.46	9.26	307.22	18.95	0.00	0.25	0.19	0.17
1272.40	12.31	182.84	14.78	0.00	0.22	0.17	0.15
1326.35	18.35	132.60	12.01	0.00	0.19	0.15	0.13
1380.29	32.02	107.00	10.05	0.00	0.17	0.13	0.12
1412.52	90.76						
1434.23	34.46	91.69	8.59	0.00	0.15	0.12	0.11
1488.17	18.91	81.57	7.46	0.00	0.14	0.11	0.10
1542.12	11.89	74.39	6.57	0.00	0.12	0.10	0.09
1586.06	8.48	69.06	5.85	0.00	0.11	0.09	0.08
1650.00	6.51	64.95	5.25	0.00	0.10	0.09	0.08



FLANK STRESSES DIAGRAMS

SYMBOLS  
 A= 2.5 ORDER  
 B= 3.0 ORDER  
 C= 3.5 ORDER  
 D= 4.0 ORDER  
 E= 4.5 ORDER  
 F= 5.0 ORDER  
 G= 5.5 ORDER  
 I=RPN AXIS  
 M=>1 POINT

RPM	H	M	
247.5	I	M	
271.6	I		
282.5	I		
294.3	I		
301.4	H	M	
307.1	I		
321.0	I		
336.3	I		
353.1	I		
355.4	MBC		
371.7	I		
392.4	I		
409.3	MBC		
415.4	I		
441.4	I		
463.3	MBC		
470.8	I		
504.5	I		
517.2	M	C	
543.3	I		
571.2	H	C	
588.5	I		
625.1	M	C	
642.1	I	G	
679.0	H	C	
706.3	I	F	
733.0	M	C	
784.7	I	E	
786.9	M	B	C
825.0	M	B	C
840.9	H	B	C
882.8	D		
894.8	M	B	C
948.8	M	A	
1002.7	M	A	
1008.9	I		
1056.6	M	A	
1110.6	M	A	
1164.5	M	A	
1177.1	I		
1218.5	M	A	C
1272.4	M	A	C
1326.3	M	C	A
1380.3	H	C	A
1412.5	I		
1434.2	H	C	A
1488.2	M	C	A
1542.1	M	C	A
1596.1	M	M	
1650.0	M	M	

VILLARES  
 S.PAULO  
 CALCULATION OF  
 TORSIONAL VIBRATIONS  
 MOTOR 14/23L  
 VILLARES SP  
 20/ 6/82  
 O OSCAR

LINK STRESSES IN SECTION BETWEEN JOISTS AND  
 3 ORDER FREQUENCY = 3531.2998 VIPS/MIN

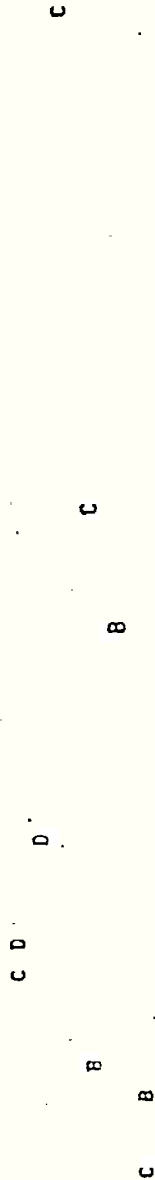
APM	6-0 ORDER	6-5 ORDER	7-0 ORDER	7-5 ORDER	8-0 ORDER	8-5 ORDER	9-0 ORDER
	0.79	5.54	10.60	4.99	0.5A	0.33	0.28
247.50							
271.64							
282.50							
294.27							
301.44							
367.07							
321.03							
336.31							
353.13							
355.38							
371.72							
392.37							
409.33							
415.45							
441.41							
463.27							
470.84							
504.47							
517.21							
543.28							
571.15							
588.55							
625.10							
642.05							
679.04							
706.26							
732.98							
784.73							
786.92							
825.00							
840.87							
882.82							
894.81							
948.75							
1002.69							
1008.94							
1056.63							
1110.58							
1164.52							
1177.10							
1218.46							
1272.40							
1326.35							
1380.29							
1412.52							
1434.23							
1488.17							
1542.12							
1596.06							
1650.00							

FLANK STRESSES DIAGRAMS

SYMBOLS  
 A= 6.0 ORDER  
 R= 6.5 ORDER  
 C= 7.0 ORDER  
 D= 7.5 ORDER  
 E= 8.0 ORDER  
 F= 8.5 ORDER  
 G= 9.0 ORDER  
 I=RPM AXIS  
 M=>1 POINT

RPM

247.5	M	M	C
271.6	I		
282.5	I		
294.3	I	M	C
301.4	I		
307.1	I		
321.0	I		
336.3	I		
353.1	I	BD	C
355.4	M		
371.7	I		
392.4	IO		
409.3	MM	B	D
415.4	I	F	
441.4	I	E	
463.3	MAE	B	
470.8	I		
504.5	I		
517.2	MA	D	
543.3	I		
571.2	M	P	
568.5	I	A	
625.1	P	M	BC
642.1	I		
679.0	MAD	B	C
706.3	I		
733.0	PD	BC	
784.7	I		
786.9	PDUC		
825.0	MDUC		
840.9	PMC		
882.8	I		
894.8	MBC		
949.8	MM		
1002.7	MM		
1008.9	I		
1036.6	PC		
1110.6	MC		
1164.5	MC		
1177.1	I		
1218.5	PC		
1272.4	M		
1326.3	M		
1380.3	M		
1412.5	I		
1434.2	M		
1488.2	M		
1542.1	P		
1596.1	M		
1650.0	M		



VILLARES  
 S-PAULO  
 CALCULATION OF  
 TORSIONAL VIBRATIONS  
 MOTOR 14/23L  
 VILLARES SP  
 20/ 6/82  
 0 OSCAR

FLANK STRESSES IN SECTION BETWEEN MASSES 6 AND 7 IN RP/CMZ  
 3 ORDER FREQUENCY = 3531.2998 VIBS/MIN

RPM	9.5 ORDER	10.0 ORDER	10.5 ORDER	11.0 ORDER	11.5 ORDER	12.0 ORDER	12.5 ORDER
	0.34	1.91	2.90	0.92	0.06	0.00	0.03
247.50							
271.64							0.13
282.50							
294.27							
301.44	0.55	3.52	6.53	2.84	0.28	0.00	0.05
307.07				6.08	0.32		
321.03			22.16				
336.31							
353.13	1.81	16.40					
355.38	3.21	15.27	9.97	1.59	0.06	0.00	0.01
371.72							
392.37	0.85	2.77	2.74	0.59	0.03	0.00	0.01
409.33							
415.45							
441.41							
463.27	0.34	1.34	1.48	0.35	0.02	0.00	0.00
470.04							
504.47	0.20	0.85	0.98	0.23	0.01	0.00	0.00
517.21	0.14	0.60	0.71	0.17	0.01	0.00	0.00
543.28	0.10	0.46	0.54	0.13	0.01	0.00	0.00
571.15	0.08	0.36	0.43	0.11	0.01	0.00	0.00
588.55							
625.10	0.07	0.29	0.36	0.09	0.00	0.00	0.00
642.05							
679.04	0.05	0.25	0.30	0.07	0.00	0.00	0.00
706.26	0.05	0.21	0.25	0.06	0.00	0.00	0.00
784.73	0.04	0.18	0.22	0.06	0.00	0.00	0.00
786.92	0.03	0.16	0.19	0.05	0.00	0.00	0.00
825.00	0.03	0.14	0.17	0.04	0.00	0.00	0.00
840.87							
882.82	0.03	0.12	0.15	0.04	0.00	0.00	0.00
894.81	0.02	0.11	0.13	0.03	0.00	0.00	0.00
948.75	0.02	0.10	0.12	0.03	0.00	0.00	0.00
1002.69	0.02	0.10	0.12	0.03	0.00	0.00	0.00
1008.94							
1056.63	0.02	0.09	0.11	0.03	0.00	0.00	0.00
1110.58	0.02	0.08	0.10	0.03	0.00	0.00	0.00
1164.52	0.02	0.07	0.09	0.02	0.00	0.00	0.00
1177.10	0.01	0.07	0.08	0.02	0.00	0.00	0.00
1218.46	0.01	0.06	0.08	0.02	0.00	0.00	0.00
1272.40	0.01	0.05	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00
1326.35	0.01	0.05	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00
1380.29	0.01	0.05	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00
1412.52							
1434.23	0.01	0.06	0.08	0.02	0.00	0.00	0.00
1488.17	0.01	0.05	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00
1542.12	0.01	0.05	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00
1596.06	0.01	0.05	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00
1650.00	0.01	0.05	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00



FLANK STRESSES IN SECTION BETWEEN MASSES 6 AND 7 IN INP/CN2

3 ORDER FREQUENCY = 3531.2998 VIBS/MIN

13-0 ORDER

SUMMATION

247-50	0-06	29-23
271-64	0-16	
282-50		
294-27		
301-44	0-04	30-80
307-07		
321-03		
336-31		
353-13	0-01	41-25
355-38		
371-72		
392-37		
409-33	0-01	48-32
415-45		
441-41		
463-27	0-01	116-62
470-84		

D.3 - LISTAGENS DO PROGRAMA PRINCIPAL

NDPN519 / P P O N D I  
= = = = =

SET EPRLIST LINEINFO  
FILE 5=FILES

FILE 6=FILE6

```

REAL LINHA(95),MS(50),RMS(50)
INTEGER CILBR,STROK,HAKIM,BHP
DIMENSION NOBE(11),DRWIG(2),IDRDD(26),NDOS(7),TW(40),TANG(26),R(40
1),NDPE(61,3),PMASS(40),NDPIM(40,3),SUBHA(26),AUXP(2,3),STATC(26),A
2LFA(20),MOTOP(2),ESTAL(2),DBRAV(2),ICIL(7),LANG(19,7),VFL(50),STX(
37),ST1(50),ST2(50),ST3(50),GRAF(50,7),VMAX(7),ASTER(8),RHOH(40)
COMMON/FF/XORDV(26),LNSC,XLSP
COMMON/NDOS/BETA(40),XJW2B(40),SJW2B(40),SJW2K(40),NT1PD(40),NREF
1(40),XK(40)
COMMON/FUNC/XJ(40),XK(40)
DATA ICIL/7,11,13,14,16,17,19/,LANG/0,51,103,154,206,257,309,12*0,
10,32,65,98,130,163,196,229,261,294,327,6*0,0,27,55,83,110,138,166,
2194,221,249,276,304,332,6*0,0,25,51,77,103,129,154,180,206,231,257
3,283,309,335,5*0,0,22,45,67,90,112,135,157,180,202,225,247,270,292
4,315,337,3*0,0,22,43,64,85,106,127,149,170,191,211,234,255,276,297
5,318,339,2*0,0,18,37,56,75,94,113,132,151,170,199,208,227,246,265,
6284,303,322,341/
DATA BRANC/1h /,ASTER/1hA,1hB,1hC,1hD,1hE,1hF,1hG,1hH/,EIXD/1
1hI/
DATA NDPE/6H21 FLY,6H22 HOM,6H23 CAM,6H24 SCA,6H25 COM,3*1H ,6H29
1CYL,1H ,6H31 FLY,6H32 TUR,6H33 TUN,6H34 CLU,6H35 CDU,6H36 CHA,6H37
2 SEC,6H38 FLA,6H39 PUL,6H40 PRO,6H41 PRO,6H42 THR,6H43 FLA,6H44 FL
3A,6H42 FLA,6H46 FLA,6H47 BAL,6H48 VEN,2*1H ,6H51 A.C,6H52 FLG,6H53
4 FLW,6H54 MAI,6H55 SPA,5*1H ,6H61 DAN,6H62 CLU,6H63 WAT,6H64 PUM,6
5H65 D.C,6H66 EXT,6H67 FLY,6H68 CDU,6H69 PUL,6H70 CHA,6H71 REV,6H72
6 RED,6H73 MAI,6H74 SPA,6H75 PRO,6H76 GEA,6H77 GEA,6H78 GEA,6H79 GE
7A,6H80 GEA,6H81 GEA,5HWHEEL,6HENT CO,5HSHAFT,5HVENGTR,6HPRESSD,3*1
8H ,5HINDER,1H ,5HWHEEL,6HNING W,6HINC WH,3HTCH,5HPLING,6HIN DRI,6H
9T.DF S,3HNGE,3HLEY,2HPE,6HPELLER,6HUST PE,4*3HNGE,6HANC.WE,6HTILAT
10,2*1H ,6H. GENE,6HE./FLE,6HH./FLE,6HN PRCP,6HRE PGO,5*1H ,3HPER,3
2HTCH,6HER DYN,1HF,6H. GENT,6HRA GER,5HWHEEL,5HPLING,3HLEY,6HIN DRI
3,6HERSING,6HUNCTION,6HN PRCP,6HRE PRO,6HPELLER,6*6H5 WHEE,1H ,6HMPPN
4STR,5HDRIVE,6HC PUMP,1HR,3*1H ,4HMASS,2*1H ,4HWHEEL,3HEEL,2*1H ,2H
5VE,5HHAFTG,3*1H ,5H GEAR,5HARING,4*1H ,4HIGHT,1HR,2*1H ,5HRATOR,6H
6X.CPL.,6HX.CPL.,5HELLER,6HPELLER,7*1H ,6HAMDMTR,1H ,5HRATOR,6HERAT
7CR,3*1H ,2HVE,2*5H GEAR,5HELLER,6HPELLER,5H GEAR,6*1HL/

```

9000 CONTINUE

NULT=0

PREC1=1000.

KR=5

KW=6

READ(KR,15)(NDTDR(I),I=1,2),(ESTAL(I),I=1,2),(DBRAV(I),I=1,2),LDIA  
1,LMES,LANO

15 FORMAT(6A6,3(I2,1X))

IF(MOTOR(1).EQ.6 6)CALL EXIT



```

      READ(KR,10)(N3MCI),I=1,11),NTEMP,TIPMD,FIV,GENAD
10  FORMAT(11A6,1X,11,1X,A6/F10.0,A6)
      READ(KR,20) XLRR,GUSC,CILBR,STROK,DRWIG(1),DRWIG(2),STONR,HARIM,PI
1  PE,PFAX,IHP,BHP,NCIL,NMASS,RPM,NORD
20  FORMAT(2FH,0,2(1X,15),1X,2A6,1X,A6,1X,16,3(1X,F7.0)/4(1X,1X),F6.1,
1  1X,12)
      IF(TIPMD.EQ.0V      0)NCIL=NCIL*2
      READ(KR,30) (IDRDQ(I),I=1,NCIL)
30  FORMAT(26(1X,12))
      IF(TIPMD.EQ.0V      0)NCIL=NCIL/2
      READ(KR,30) (NDQ5(I),I=1,7)
      READ(KR,40)(NTIPO(I),XJ(I),XK(I),XH(I),NRED(I),R(I),RMASS(I),I=1,N
1  MASS)
40  FORMAT((12,3(1X,F10.0),      15,1X,2(1X,F10.0)))
      READ(KR,42)FRE
42  FORMAT(8F10.0)
      READ(KR,42) VINF,VSUP
      IF(NORD.EQ.0) GO TO 17
      READ(KR,32)(XORDV(I),I=1,NORD)
32  FORMAT(15(F4.1,1X))
17  J=0
      READ(5,3)INDE,JOSC
      READ(5,3) INGGV
3  FORMAT(215)
      DO 43 I=1,NMASS
      IF(NTIPO(I).LT.21)GO TO 43
      IF(J.EQ.0) GO TO 46
      DO 44 L=1,J
      IF(NOPE(NTIPO(I)-20,L).EQ.NOPIN(L,1)) GO TO 43
44  CONTINUE
46  J=J+1
      NOPI(MJ,1)=NOPE(NTIPO(I)-20,1)
      NOPI(MJ,2)=NOPE(NTIPO(I)-20,2)
      NOPI(MJ,3)=NOPE(NTIPO(I)-20,3)
43  CONTINUE
      IF(NTEMP.EQ.4.AND.NCIL.NE.NCIL/2*2.AND.FIV.NE.360./NCIL.AND.IDPDC(
1  1).NE.IDRDC(NCIL+1))FIV=360.-FIV
      IF(NTEMP.EQ.4.AND.NCIL.EQ.NCIL/2*2) FIV=360.+FIV
      IF(NORD.EQ.0) GO TO 12
      DO 13 I=1,NORD
      IF(HARIM.EQ.215019.AND.XORDV(I).GT.15.) GO TO 14
      IF(HARIM.EQ.222279.AND.XORDV(I).GT.15.) GO TO 14
      IF(HARIM.EQ.222280.AND.XORDV(I).GT.13.) GO TO 14
13  CONTINUE
      NORDA=NORD
      GO TO 12
14  NORDA=I-1
12  JDIF=J
      IF(NCIL.EQ.7.OR.NCIL.EQ.11.OR.NCIL.EQ.13.OR.NCIL.EQ.14.OR.NCIL.EQ.
1  116.OR.NCIL.EQ.17.OR.NCIL.EQ.19) GO TO 440
      DO 45 I=1,NCIL
45  LANG(IDRDQ(I))=(I-1)*360./NCIL
      GO TO 450
440  DO 441 I=1,7
      IF(CIL(I).EQ.NCIL) GO TO 442
441  CONTINUE
442  DO 443 J=1,NCIL
443  LANG(IDRDQ(J))=LANG(J,I)
450  DO 50 I=1,7
      IF(NORD.NE.0) GO TO 13

```

```

DO 19 L=1,26
SUBHACL)=0.
19 XORDV(L)=0.
18 IF(NDOS(I).EQ.0) GO TO 299
IF(NULT.GE.2) GO TO 540
IF(FRE.NE.0.) GO TO 550
CALL CHUTE (NDOS(I),W2,NMASS,NCIL)
540 IF(NDOS(I).EQ.1.OR.NDOS(I).EQ.2) GO TO 47
IF(NULT.GE.2) GO TO 520
46 NHOLZ=2
GO TO 510
550 W2=(FRE/5.981055)**2
47 W=2.*W2
NHOLZ=NDOS(I)
GO TO 510
520 NHOLZ=NULT+1
W2=1.05*W2ULT
510 CALL HOLZ (NMASS,PREC1,W2,NHOLZ)
W2ULT=W2
NULT=NHOLZ
IF(NHOLZ.NE.NDOS(I)) GO TO 520
C ***CALCULO DE TENSÕES, ETC.....
FREQ=5.981355*SQRT(W2)
WRITE(KW,600) (NOME(J),J=1,11),XLRF,GCSC
600 FORMAT(8I0, 11A6,11X,0L/R=0,F8.3,0 0 OSC=0,F9.1,0 KP0)
WRITE(KW,601) CILNR,STROK,DRWIG(1),DRWIG(2),STDRR,HARIM
601 FORMAT(/0 CYL. BORE0,10,0 MM, STROKE0,10,0 MM,SHAFTING DRC. NO.
1 0,2A6,3X,0 STD.NR. 0,A6,0 ,HARMONISK IMPULS NR. 0,I6)
WRITE(KW,602) PI,PE,PMAX,PI,PE
602 FORMAT(/ 9X,0PI=0,F6.1,0 KP/CM2, PE=0,F6.1,0 KP/CM2, PMAX=0,F6.1
1,0 KP/CM2,0,12X,0PI=0,F8.3,0 KP/CM2, PE=0,F8.3,0 KP/CM2)
NRPM=RPM
WRITE(KW,603)IHP,BHP,NBPM,IHP,BHP,HPM
603 FORMAT(/11X,16,0 IHP0,4X,16,0 BHP,AT0,16,0 NBPM0,33X,16,0 IHP0,4X,1
16,0 BHP,AT0,F9.3,0 RPM0)
WRITE(KW,604) (IORDO(J),J=1,NCIL)
604 FORMAT(/70X,0FIRING ORDER : 0,26I3)
NAUX=FREQ
WRITE(KW,605) NDOS(I),NAUX,FREQ
605 FORMAT(/0 TABLE OF FREQUENCY FOR 0,I2,0 MODE VIBRATIONS, FREQUENCY
1= 0,16,0 VIBS/MIN.0,11X,0NE= 0,F11.4,0 VIBS/MIN.0/)
WRITE(KW,606)
606 FORMAT(0 ANGLE0, 4X,0M A 5 50,4X,0TORSION0,2X,0SPEED0,1X,0AMPLITUDE
10,2X,0TOTAL0,1X,0MOM.PF0,3X,0T/W0,5X,0I*AS/0 FROM0,17X,0FACTOR0,3X
2,0RPM0,12X,0TORQUE RESIST.0,17X,0ROTATING0,2X,0GEAR0,2X,0TWIST0,3X
3,0TORQUE0,3X,0RHD0,5X,0R0,4X,0R*T*A0,2X,0NO.0)
WRITE(KW,607)
607 FORMAT(0 CYL 1 NO.0,3X,0KG.M20,2X,0RAD/KP.CM0,0X,0RADIANS0,2X,0KP.
1CM.0,2X,0CM30,2X,0KP/CM20,3X,0KP.CM.0,5X,0MASS0, 9X,0RADIANS0,2X,0
2KP.CM.0,11X,0Z0,4X,0KP.CM.0)
WRITE(KW,608)
608 FORMAT(0 TCG,16X,0(OFF.MASS)0,23X,0(AFTER MASS)0,13X,0KG.M20)
CALL INDIC(SJH2B,NMASS,IND,4)
IS20=IND
CALL INDIC(XJH2B,NMASS,IND,4)
IX23=IND
N=NMASS-1
XMCIL = 0.
XMAX=0.
DO 120 J=1,N

```

```

TW(J)=ABS(SJW2B(J))/XW(J)
IF(TW(J).LT.XMAX) GO TO 120
IF(NTIPD(J).LE.20.AND.TW(J).GT.XMCIL)XPCIL=TW(J)
XMAX=TW(J)
IMAXT=J
120 CONTINUE
XMAX1 = XMAX
J11 = IMAXT
IF(INDM)1,4,1
1 XMAX1 = TW(JOSC)
J11 = JOSC
4 CALL INDIC(1, NMAS, IND, 1)
IS2W=IND
XIS2B=10.**IS2B
XIX2B=10.**IX2B
XIS2W=10.**IS2W
WRITE(KW,609) IS2B,IS2W,IX2B,IX2W,IX2B
609 FORMAT(3 CYL NO,19X,0-100,22X,12,12X,12,6X,12,31X,12,18X,12/23X,0
1*100,22X,0*100,11X,0*100,5X,0*100,30X,0*100,17X,0*100)
XRPM=RPM
STA=0.
SRTA=0.
IEXPU = 10 - IX2B
DO 60 J=1,NMAS
INRED=0
IXW=XW(J)
XJW2B(J)=XJW2B(J)/XIX2B
SJW2B(J)=SJW2B(J)/XIS2B
TW(J)=TW(J)/XIS2W
TA=XJW2B(J)*ETA(J)
RH0H(J) = R(J)
IF(NTIPD(J).EQ.38) RH0H(J) = 0.05
IF(NTIPD(J).NE.52) GO TO 52
RH0H(J) = (BETA(J)-BETA(J+1)).**2. *R(J)/XK(J+1)/TA*10.**IEXPO
52 RR = RH0H(J)*TA/100.
STA=STA+TA
SRTA=SRTA+RR
IF(NTIPD(J).GT.20)GO TO 70
M=NTIPD(J)
WRITE(KW,613) IANG(M),NTIPD(J),XJ(J),XK(J),XRPM,BETA(J),SJW2B(J)
613 FORMAT(8,2X,13,1X,12,1X,F5.1,1X,F6.2,1X,F6.1,1X,F6.4,1X,F7.1)
GO TO 90
70 WRITE(KW,610) NTIPD(J),XJ(J),XK(J),XRPM,BETA(J),SJW2B(J)
610 FORMAT(8,8,6X,12,1X,F5.1,1X,F6.2,1X,F6.1,1X,F6.4,1X,F7.1)
IF(J.EQ.NMAS) GO TO 90
90 WRITE(KW,611) IXR,TW(J)
611 FORMAT(1H+,52X,16,1X,F6.4)
80 WRITE(KW,620) TA,RMASS(J)
620 FORMAT(1H+,66X,F7.1,2X,F7.1)
IF(NRED(J).NE.0)INRED=NRED(J)
IF(INRED.EQ.0) GO TO 110
WRITE(KW,614)INRED
614 FORMAT(1H+,84X,15)
110 WRITE(KW,616) SJW2B(J),XJW2B(J),R(J),RH0H(J),CR,NTIPD(J)
616 FORMAT(1H+,90X,F6.4,1X,F7.1,1X,F5.2,1X,F6.2,2X,F6.2,1X,14)
IF(NRED(J).NE.0.AND.NRED(J+1).NE.0)XRPI=XRPM*NRED(J)/NRED(J+1)
60 CONTINUE
RH0=SRTA/STA*100.
WRITE(KW,621) STA,SJW2B(NMAS),SRTA,RH0
621 FORMAT(62Y,65UN= 0,F7.1,26X,F7.1,14X,F7.2/90X,0 R SYST=0,F8.4,0%0)

```

```

IF(INDM.EQ.1) WRITE(KW,615) NTIPO(JDSC),NTIPO(JDSC+1)
610 FORMAT(/,50X,'STRESSES CALCULATED IN SECTION BETWEEN MASSES',I5,
10 AND',I5)
WRITE(KW,617) NTIPO(IMAXI),NTIPO(IMAXI+1)
617 FORMAT(/,12X,'DESIGNATION OF MASSES',I8X,'SUMMATION OF VECTORS
1 MAXIMUM STRESSES IN SECTION BETWEEN MASSES ',I3,'0 AND ',I3/50X,'00
2RDER VECTOR CRIT. PI HARMONIC MASS',I6X,'STATIC STRESS',
35X,'ORF50N. RESON.',0)
WRITE(KW,630)(NOPI(M),L=1,3)
630 FORMAT(0 0,0<21 CYLINDERS',9X,3A6,8X,'0VIBS/REV SUM RPM',12X,
10TORQUE FORCE DIRECT SUBHARM TOTAL STRESS AMPLI.',0)
JJ=1
DO 210 L=1,2
DO 210 M=1,3
210 AUXP(L,M)=BRANC
IF(JDIF.EQ.1) GO TO 220
JJ=2
DO 212 M=1,3
212 AUXP(1,M)=NOPI(M,2)
IF(JDIF.EQ.2) GO TO 220
JJ=3
DO 214 M=1,3
214 AUXP(2,M)=NOPI(M,3)
220 WRITE(KW,631)((AUXP(L,M),M=1,3),L=1,2)
631 FORMAT(0 0,3A6,3X,3A6,35X,'OKP/CM2',I4X,'OKP/CM2',2X,'OKP/CM2',1X,'OKP
1/CM2',I4X,'OKP/CM2',1X,'OKP/CM2',2X,'OKP/CM2',1X,'OKP/CM2',0)
DO 216 L=1,NHASS
IF(NTIPO(L).GE.21) GO TO 216
DO 217 M=1,NCIL
IF(NTIPO(L).EQ.IDRDV(M)) GO TO 580
217 CONTINUE
WRITE(KW,632) NTIPO(L)
632 FORMAT(0 *****PROGRAMA SEPA INTERROMPIDO CILINDRO',I3,'0 NAO FOI IN
1CLUIDO NA ORDEM DE CUCINAS)
CALL EXIT
580 ALFAC(M)=BETA(L)
216 CONTINUE
IF(NORD.NE.0) GO TO 431
430 XL1=0.
DO 432 L=1,26
IF(NTEMP.EQ.2.AND.L.GT.15) GO TO 433
XL=L
IF(NTEMP.EQ.4) XL=XL/2.
IF(FREQ/XL.GT.RPM*2.) GO TO 432
IF(XL1.EQ.0.) XL1=XL
IF(FREQ/XL.LT..3*RPM) GO TO 433
432 CONTINUE
433 XL2=XL
IF(XL1.EQ.0.) XL1=XL2
L1=XL1
L2=XL2
IF(NTEMP.EQ.4) L1=2.*XL1
IF(NTEMP.EQ.4) L2=XL2*2.
L=0
DO 436 L=L1,L2
XL=L
IF(NTEMP.EQ.4) XL=XL/2.
J=J+1
XORDV(J)=XL
436 CONTINUE

```

```

NOPDA=J
STMAX=0.
TRMAX=0.
431 DO 215 L=1,NOPDA
IF(HARIM.EQ.215019.AND.XORDV(L).GT.15.) GO TO 215
IF(HARIM.EQ.222279.AND.XORDV(L).GT.15.) GO TO 215
IF(HARIM.EQ.222280.AND.XORDV(L).GT.13.) GO TO 215
DO 218 K=1,2
DO 218 M=1,3
218 AUXP(K,M)=BRANC
RPMC=FREQ/XORDV(L)
C *** PTC CALCULADO CONFORME ENSAIO MOTOR 14V-FREIO FA6
PIC = 2.437E-05*RPMC*RPMC
IF(PIC.GT.PI) PIC=PI
IF(GERAD.NE.BRANC) PIC=PI
IF(HARIM.EQ.222279.AND.PIC.LE.15.1) GO TO 495
IF(HARIM.EQ.222280.AND.PIC.LE.19.1) GO TO 495
IF(HARIM.EQ.215019.AND.PIC.LE.8.1) GO TO 495
WRITE(KN,495) HARIM,PIC
496 FORMAT(6 ***PROGRAMA SERA INTERROMPIDO POR UMA DAS OJAS RAZDES ABA
1IXD:0/5X,01)DIAGRAMA DE HARMONICO DO TORQUE DE NUMER00,18,0 NAO PR
20GRAMADO03/5X,02)PRESSAO INDICADA DO MOTOR,6,65,2,8 KP/CM2,EXCFOF V
3ALORES PREVISTOS05/7X,0NO DIAGRAMA DE HARMONICO DO TORQUE.0)
495 CALL CURVA(HARIM,XORDV(L),PIC,HARTO )
AUX1=CIL3P
AUX2=STROK
CALL FORM(AUX1,AUX2,FORMS,RPMC,L)
C
225 SOMA DE VETORES
XNCIL=NCIL
FI=360./XNCIL
CALL FIBAS(NCIL,FAT,NTMP,XORDV(L))
FI=FAT*FI
SOMA1=0.
SOMA2=0.
DO 300 K=1,NCIL
ANG=(K-1)*FI/360.
NAUX=ANG
ANG=6.28318*(ANG-NAUX)
SOMA1=SOMA1+ALFA(K)*SIN(ANG)
300 SOMA2=SOMA2+ALFA(K)*COS(ANG)
VECSU=SQRT(SOMA1*SOMA1+SOMA2*SOMA2)
C
CORRECAO PARA MOTOR V
IF(TIPMO.EQ.0LINHA 0) GO TO 310
IF(TIPMO.NE.0V 0) GO TO 320
CORV=ABS(2.*COS(.008727*XORDV(L)*FIV))
VECSU=CORV*VECSU
GO TO 310
320 WRITE(KN,640)
640 FORMAT(7 ****DADO SOBRE O TIPO DE MOTOR,LINHA DO V,PERFURADO E PRA
1DD:PROPRAYA INTERROMPIDO0)
CALL EXIT
C
TEMPOES ESTATICAS
310 TDIRE=AUX1*AUX1+AJK2*(HARTO+FORMS)*XMAX1*VECSU/STA*3.92609E-04/XIX
12P
TDIRE=ABS(TDIRE)
TOTAL=TDIRE+SUBMAXL)
IF(TOTAL.GT.STMAX)STMAX=TOTAL
C
RESONANCIA
TRESO=TOTAL*50./XHU
IF(TRESO.GT.TRMAX)TRMAX=TRESO

```

```

STATC(L)=TRESO
AMPLI=TRESO/XMAX*1000.
IF(JDIF.EQ.JJ) GO TO 330
JJ=JJ+1
DO 331 K=1,3
331 AUXP(1,K)=NOPIM(JJ,K)
IF(JDIF.EQ.JJ) GO TO 330
JJ=JJ+1
DO 332 K=1,3
332 AUXP(2,K)=NOPIM(JJ,K)
330 WRITE(KH,645)((AUXP(K,M),M=1,3),K=1,2),XORDV(L),VECSJ,RPNC,PIC,HAR
1TO,FORMS,TDIRE,SUBHACL),TOTAL,TRESO,AMPLI
645 FORMAT(5 0,3A6,3X,3A6, 9X,F4.1,3X,F7.4,2X,F6.1,4X,F5.2,2X,F5.2,1X
1F7.2,1X,F6.2,1X,F5.2,2X,F6.2,2X,F7.2,1X,F6.3)
215 CONTINUE
WRITE(KH,650)LDIA,LMS,LANO,MOTOR(1),MOTOR(2),ESTAL(1),ESTAL(2),OB
1PAV(1),OBPAV(2)
650 FORMAT( /6 VILLARES6,10X,00CALCULATION OF8,15X,2(12,0/0),12/0 S.P
1AULO8,7X,5TORSIONAL VIBRATIONS8/ 30X,2A6,10X,2A6/15X,2A6)
IF(INDGV.EQ.0) GO TO 910
CALCULO DAS VELOCIDADES
IF(VSUP.EQ.0.) GO TO 705
NVEL=50
DELV=(VSUP-VINF)/49.
DO 706 II=1,50
706 VEL(II)=(II-1)*DELV+VINF
GO TO 775
705 NVEL=49-NORDA
DELV=1.7*RPM/(NVEL-1)
II=1
JJ=NORDA
710 IF(JJ.EQ.0) GO TO 730
IF(FREQ/XORDV(JJ).GT..3*RPM) GO TO 730
VEL(II)=FREQ/XORDV(JJ)
JJ=JJ-1
II=II+1
GO TO 710
730 VEL(II)=.3*RPM
IJ=II
II=II+1
740 IF(JJ.EQ.0) GO TO 750
IF(VEL(IJ)+DELV.GT.FREQ/XORDV(JJ)) GO TO 760
750 VEL(II)=VEL(IJ)+DELV
IJ=II
II=II+1
IF(II.GT.49) GO TO 770
GO TO 740
760 VEL(II)=FREQ/XORDV(JJ)
II=II+1
IF(II.GT.49) GO TO 770
JJ=JJ-1
GO TO 740
770 DO 771 K=1,49
IF(VEL(K).EQ.RPM)GO TO 773
IF(VEL(K).GT.RPM)GO TO 772
771 CONTINUE
773 VEL(50)=VEL(49)+DELV
GO TO 775
772 MM=50-K
DO 774 M=1,MM

```

```

774 VEL(51-9)=VEL(50-11)
    VEL(K)=RPM
775 DO 777 K=1,50
    MS(K) = 0.
    ST1(K)=0.
    ST2(K)=0.
777 ST3(K)=0.
    JMIN=1
    JMAX=7
    IF(NORDA.LI.7) JMAX=NORDA
    GO TO 780
900 IF(JMAX.EQ.NORDA) GO TO 910
    JMIN=JMAX+1
    JMAX=JMAX+7
    IF(NORDA.LT.JMAX) JMAX=NORDA
780 WRITE(KW,790)NTIP00(J11),NTIP00(J11+1),W00S(I),FREQ
790 FORMAT(1H,5  FLANK STRESSES IN SECTION BETWEEN MASSES 8,12,8 AND
    16,12,8 IN KP/CM20/10X,12,8 ORDER FREQUENCY =8,F11.4,8 VIBS/MIN8)
805 FORMAT(1H,100X,85UMPHATI08,3X,8PMS8)
    WRITE(KW,800) (XORDV(K),K=JMIN,JMAX)
800 FORMAT(3X,8RPM8,7X,F4.1,8 ORDER8,6(3X,F4.1,8 ORDER8))
    DO 1002 L=1,7
    VMAX(L)=0.
    DO 1002 K=1,50
1002 GRAF(K,L)=0.
    IF(JMAX.LE.NORDA) GO TO 802
    WRITE(KW,805)
802 DO 810 K=1,50
C ***
C MODIFICACAO P/IMPRESSAO DAS TENSOES DE FRAQO EM PONTOS DE RESSONANCIA
    GO TO 824
C ***
    DO 820 L=1,NORDA
    IF(VEL(K).EQ.FREQ/XORDV(L)) GO TO 822
820 CONTINUE
    GO TO 824
822 IF(L.GE.JMIN.AND.L.LE.JMAX)GO TO 825
    WRITE(KW,830) VEL(K)
830 FORMAT(1H ,F7.2)
    GO TO 810
825 LL=L-JMIN+1
    GO TO (841,842,843,844,845,846,847),LL
841 WRITE(KW,831) VEL(K),STATC(L)
831 FORMAT(1H ,F7.2,5X,F8.2)
    GRAF(K,LL)=STATC(L)
    IF(GRAF(K,LL).GT.VMAX(LL))VMAX(LL)=GRAF(K,LL)
    GO TO 810
842 WRITE(KW,832) VEL(K),STATC(L)
832 FORMAT(1H ,F7.2,18X,F8.2)
    GRAF(K,LL)=STATC(L)
    IF(GRAF(K,LL).GT.VMAX(LL))VMAX(LL)=GRAF(K,LL)
    GO TO 810
843 WRITE(KW,833) VEL(K),STATC(L)
833 FORMAT(1H ,F7.2,31X,F8.2)
    GRAF(K,LL)=STATC(L)
    IF(GRAF(K,LL).GT.VMAX(LL))VMAX(LL)=GRAF(K,LL)
    GO TO 810
844 WRITE(KW,834) VEL(K),STATC(L)
834 FORMAT(1H ,F7.2,44X,F8.2)
    GRAF(K,LL)=STATC(L)

```

```

      IF(GRAF(K,LL).GT.VMAX(LL))VMAX(LL)=GRAF(K,LL)
      GO TO 810
845 WRITE(KH,835) VEL(K),STATC(L)
835 FORMAT(1H ,F7.2,F8.2)
      GRAF(K,LL)=STATC(L)
      IF(GRAF(K,LL).GT.VMAX(LL))VMAX(LL)=GRAF(K,LL)
      GO TO 810
846 WRITE(KH,836) VEL(K),STATC(L)
836 FORMAT(1H ,F7.2,F8.2)
      GRAF(K,LL)=STATC(L)
      IF(GRAF(K,LL).GT.VMAX(LL))VMAX(LL)=GRAF(K,LL)
      GO TO 810
847 WRITE(KH,837) VEL(K),STATC(L)
837 FORMAT(1H ,F7.2,F8.2)
      GRAF(K,LL)=STATC(L)
      IF(GRAF(K,LL).GT.VMAX(LL))VMAX(LL)=GRAF(K,LL)
      GO TO 810
C *** PIC CALCULADO CONFORME ENSAIO MOTOR 14V-FREIO FA6
824 PIC = 2.437E-05*PPMC*PPMC
      IF(PIC.GT.PI) PIC=PI
      IF(GERAD.NE.BRANC) PIC=PI
      JL=0
      DO 850 JX=JMIN,JMAX
      JL=JL+1
      IF(VEL(K).NE.FREQ/XDRDV(JX)) GO TO 8001
      STX(JL) = STATC(JX)
      GO TO 8000
8001 CALL FORN(AUX1,AUX2,FORMS,VEL(K),JX)
      CALL CURVA(CHARIM,XDRDV(JX),PIC,HARTO)
      FI=360./XNCIL
      CALL FIBAS(NCIL,FAT,AREMP,XDRDV(JX))
      FI=FAT*FI
      SOMA1=0.
      SOMA2=0.
      DO 930 JB=1,NCIL
      ANG=(JB-1)*FI/360.
      NAUX=ANG
      ANG=6.28318*(ANG-NAUX)
      SOMA1=SOMA1+ALFA(JB)*STX(ANG)
930 SOMA2=SOMA2+ALFA(JB)*COS(ANG)
      VEC SU=SQRT(SOMA1*SOMA1+SOMA2*SOMA2)
      IF(TIPO.EC.CLINHA 8) GO TO 931
      CGRV=ABS(2.*COS(XDRDV(JX))*FIV*.008727))
      VEC SU=CGRV*VECSU
931 TTX=AUX1*AUX1+AUX2*(HARTO*FORMS)*XN*X1+VECSU/STA/XIX2 D*3.92699E-04
      TTX=ABS(TTX)
      STX(JL)=TTX/SQRT((VEL(K)/FREQ*XDRDV(JX))**2-1.)*2*(RHU/50.*VEL(K)
1)/FREQ*XDRDV(JX)**2)
8000 MS(K) = MS(K) + STX(JL)*STX(JL)
      GRAF(K,JL)=STX(JL)
      IF(GRAF(K,JL).GT.VMAX(JL))VMAX(JL)=GRAF(K,JL)
      IF(STX(JL).LE.ST3(K)) GO TO 950
      ST3(K)=STX(JL)
      IF(ST3(K).LE.ST2(K)) GO TO 850
      SS=ST2(K)
      ST2(K)=ST3(K)
      ST3(K)=SS
      IF(ST2(K).LE.ST1(K))GO TO 850
      SS=ST1(K)
      ST1(K)=ST2(K)

```



```

      ST2(K)=S5
850  CONTINUE
      WRITE(KW,880) VEL(K),(STX(JJ),JJ=1,JL)
880  FORMAT(1H, F7.2,7(5X,F8.2))
      IF(JMAX.NE.NDRDA) GO TO 810
      SOMA=ST1(K)+ST2(K)+ST3(K)
      RMS(K) = SQRT(S5(K))
      WRITE(KW,881) SOMA, RMS(K)
881  FORMAT(1H+,106X,F6.2,4X,F6.2)
810  CONTINUE
      VM=0.
      DO 1050 K=1,JL
      IF(VMAX(K).GT.VM)VM=VMAX(K)
1050  CONTINUE
      WRITE(KW,1100)
1100  FORMAT(1H1,48X,8FLANK STRESSES DIAGRAMS8/3X,8RPM8,103X,8SYMBOLS8/)
      JJK=0
      JJJ=0
      DO 1020 K=1,99
      DO 1055 N=1,95
1055  LINHA(K)=BRANC
      LINHA(1)=EIXO
      JL=0
      DO 1010 JK=JMIN,JMAX
      JL=JL+1
      IF(GRAF(K,JL).EQ.0.) GO TO 1010
      IQ=GRAF(K,JL)/VM*94.
      IF(IQ.EQ.0.AND.LINHA(1).EQ.EIXO) GO TO 1080
      IF(LINHA(1+IQ).NE.BRANC) GO TO 1070
1080  LINHA(1+IQ)=ASTER(JL)
      GO TO 1010
1070  LINHA(1+IQ)=ASTER(8)
1010  CONTINUE
      IF(JMIN+JJJ.GT.JMAX) GO TO 1202
      WRITE(KW,1210)VEL(K),(LINHA(LK),LK=1,95),ASTER(K),XORDV(JMIN+JJJ)
      JJJ=JJJ+1
1210  FORMAT(8 0,F6.1,2X,95A1,2X,A1,8=0,F4.1,8 0RDEP8)
      GO TO 1020
1202  JJK=JJK+1
      IF(JJK.GT.2) GO TO 1206
      IF(JJK.EQ.2) GO TO 1203
      WRITE(KW,1204) VEL(K),(LINHA(LK),LK=1,95)
1204  FORMAT(8 0,F6.1,2X,95A1,2X,8I=8RPM AXIS8)
      GO TO 1020
1203  WRITE(KW,1205) VEL(K),(LINHA(LK),LK=1,95)
1205  FORMAT(8 0,F1.1,2X,95A1,2X,8M=>1 POINT8)
      GO TO 1020
1200  WRITE(KW,1215) VEL(K),(LINHA(LK),LK=1,95)
1215  FORMAT(8 0,F6.1,2X,95A1)
1020  CONTINUE
      WRITE(KW,850)LDIA,LNES,LANO,MOTOR(1),MOTOR(2),ESTAI(1),ESTAI(2),88
      1RAV(1),8BRAV(2)
      GO TO 900
910  TCS=STMAX*XMCIL/XMAXI
      WRITE(KW,921) TCS
921  FORMAT(15(/),10X,8**STATIC STRESS IN CRANKSHAFT=8,F6.2,8 KP/CM2**8
      1)
      JB=NPASS-1
      DO 920 L=1,JL
      IF(NTIP(L).NE.52) GO TO 920

```

```

XMON=TRMAX*XK(L)/100.*SJM2B( J11 )/SJM2B(L)
WRITE(KW,922) L,(NUPE(NTIPD(L)-20,J),J=1,3),XMON
922 FORMAT(///10X,'**TORSIONAL MOMENT IN ELEMENT 2, I2, 0 TYPE 0, 3A6, 0=0
1,F10.2,0 KP.C4**0)
920 CONTINUE
50 CONTINUE
999 GO TO 9000
CALL EXIT
END

```

```

=====
SUBROUTINE FCAD(W2,NMASS)
COMMON/NDDBS/BETA(40),XJM2B(40),SJM2B(40),SJM2K(40),NTIPD(40),NRED
1(40),XK(40)
COMMON/FUNC/XJ(40),XK(40)
KW=6
1 BETA(1)=1.
SJM2K(1)=0.
XJM2B(1)=XJ(1)*W2
SJM2B(1)=XJM2B(1)
DO 10 I=2,NMASS
ALFA=1.
SJM2K(I)=SJM2B(I-1)*XK(I)+1.E-10
BETA(I)=BETA(I-1)-SJM2K(I)
IF(NRED(I-1).NE.0.AND.NRED(I).NE.0)BETA(I)=BETA(I)*NRED(I-1)/NRED(
1I)
XJM2B(I)=XJ(I)*BETA(I)*W2
IF(NRED(I-1).NE.0.AND.NRED(I).NE.0)ALFA=1.*NRED(I-1)/NRED(I)
10 SJM2B(I)=SJM2B(I-1)/ALFA+XJM2B(I)
RETURN
END

```

```

=====
SUBROUTINE CHUTE(LL,W2,NMASS,NCIL)
COMMON/NDDBS/BETA(40),XJM2B(40),SJM2B(40),SJM2K(40),NTIPD(40),NRED
1(40),XK(40)
COMMON/FUNC/XJ(40),XK(40)
KW=6
C VERIFICACAO SE HA ENGRENAGEM
ENG=1.
DO 1 I=1,NMASS
IF(NTIPD(I).EQ.NCIL) N=I+1
IF(NRED(I).NE.0) GO TO 2
1 CONTINUE
C NAO HA ENGRENAGEM: TOMAR SE-A P NAIGN TRENCA:
DO 3 I=1,NMASS
IF(NTIPD(I).NE.NCIL) GO TO 3
N=I+1
IF(N.EQ.NMASS-1) GO TO 5
L=NMASS-1
IF(N.EQ.NMASS) GO TO 4
IF(XJ(NMASS-1).GT.XJ(NMASS)) L=L-1
XMAX=0.
DO 6 J=N,L

```

```

IF(XJ(J)-LI.XMAX) GO TO 6
XMAX=XJ(J)
IMAX=J
6 CONTINUE
GO TO 7
3 CONTINUE
5 MEIO=A
GO TO 8
2 MEIO=I
AUX1=NRED(1)
AUX2=NRED(I+1)
ENG=AUX1/AUX2
GO TO 8
4 MEIO=N-1
GO TO 8
7 MEIO=IMAX
8 NMPD=NMASS-MLIO-1
JUMEI=NMPD/2
GERACAO DOS MOMENTOS DE INERCIA
XJ1=0.
XJ2=0.
XJ3=0.
N=N-1
N2=N-ACIL/2
DO 9 I=1,N2
9 XJ1=XJ1+XJ(I)
N2=N2+1
DO 10 I=N2,MEIO
10 XJ2=XJ2+XJ(I)
NAUX=MEIO+1
NAUX1=MEIO+JUMEI
IF(JUMEI.EQ.0) GO TO 22
DO 11 I=NAUX,NAUX1
11 XJ2=XJ2+ENG*ENG*XJ(I)
22 NAUX1=NAUX1+1
DO 12 I=NAUX1,NMASS
12 XJ3=XJ3+ENG*ENG*XJ(I)
XK1=0.
XK3=0.
DO 13 I=1,MEIO
13 XK1=XK1+XK(I)
DO 14 I=NAUX,NMASS
14 XK3=XK3+XK(I)/ENG/ENG
C CALCULO DA PARTE PRINCIPAL
A=1./XK1/XJ1+1./XK3/XJ3+(XK1+XK3)/XK1/XK3/XJ2
IF(LL.GT.1) GO TO 15
15 W2=.5*(A-SQRT(A*A-4.*(XJ1+XJ2+XJ3)/XK1/XK3/XJ1/XJ2/XJ3))*1.E10
GO TO 99)
16 W2=.5*(A+SQRT(A*A-4.*(XJ1+XJ2+XJ3)/XK1/XK3/XJ1/XJ2/XJ3))*1.E10
99) RETURN
END

```

```

=====
SUBROUTINE HOLE(NMASS,PRECI,W2,LL)
COMMON/NO DBS/BCIAC(40),XSWP(40),SW2P(40),SW2K(40),NIPD(40),NRED
1(40),XK(40)
COMMON/FUNC/XJ(40),XK(40)

```

```

      INTS=0
      W20=W2
      GO TO 1
C     NOVA ESTIMATIVA DE W
      5 IF(W20.NE.W2) GO TO 3
      SSO=SJW2B(NMASS)
      W2=W2*1.1
      IF(SJW2B(NMASS).LT.0..AND..IND.NE.IND/2*2) W2=W2/1.21
      IF(SJW2B(NMASS).GT.0..AND..IND.EQ.IND/2*2) W2=W2/1.21
      GO TO 1
      3 IF(INTS.EQ.1) GO TO 15
      AUX1=SSO/ABS(SSO)
      AUX2=SJW2B(NMASS)/ABS(SJW2B(NMASS))
      IF(AUX1*AUX2.LT.0.) GO TO 15
      SSO=SJW2B(NMASS)
      W20=W2
      W2=W2*1.1
      IF(SJW2B(NMASS).LT.0..AND..IND.NE.IND/2*2) W2=W2/1.21
      IF(SJW2B(NMASS).GT.0..AND..IND.EQ.IND/2*2) W2=W2/1.21
      GO TO 1
      15* INTS=1
      W=W20-SSO*(W2-W20)/(SJK2B(NMASS)-SSO)
      W20=W2
      SSO=SJK2B(NMASS)
      W2=W
      1 CALL FCAD(W2,NMASS)
      IF(ABS(SJK2B(NMASS)).GT.PREC1) GO TO 5
      RETURN
      END

```

```

=====
      SUBROUTINE FORMS(AUX1,AUX2,FORMS,RPMC,L)
      COMMON/FF/XORDV(26),GOSC,XLRR
      IF(XORDV(L).EQ.1..OR..XORDV(L).EQ.2..OR..XORDV(L).EQ.3..OR..XORDV(L).
      1EQ.4.) GO TO 420
      FORMS=0.
      GO TO 225
      420 IF(XORDV(L).NE.1.) GO TO 226
      FORMS=GOSC*AUX2*RPMC**2/XLRR/AUX1/AUX1*1.77913E-05
      GO TO 225
      226 IF(XORDV(L).NE.2.) GO TO 227
      FORMS=-GOSC*AUX2*RPMC**2/AUX1/AUX1*3.55826E-05
      GO TO 225
      227 IF(XORDV(L).NE.3.) GO TO 228
      FORMS=-GOSC*AUX2*RPMC**2/XLRR/AUX1/AUX1*5.33739E-05
      GO TO 225
      228 FORMS=-GOSC*AUX2*RPMC**2/XLRR/XLRR/AUX1/AUX1*1.77913E-05
      225 RETURN
      END

```

```

=====
      SUBROUTINE INDICSS(NMASS,IND,NP1)
      DIMENSION SS(40)
      IND=0

```

```

XLIM=10.*NPI
XMAX=0.
DO 1 I=1,NHASS
IF(ABS(SS(I)).LT.XMAX) GO TO 1
XMAX=ABS(SS(I))
1 CONTINUE
2 IND=IND+1
XMAX=XMAX/10.
IF(XMAX.GE.XLIM) GO TO 2
RETURN
END

```

```

=====
SUBROUTINE FIBAS(NCIL,FAT,NTEMP,XX)
X=XX
IF(NTEMP.EQ.4) X=2.*XX
XNCIL=NCIL
IORD=X
NDIA=(NCIL+1)/2
IF(NCIL.EQ.NCIL/2*2) NDIA=(NCIL+2)/2
NAUX=X/NCIL
IF(X/NCIL-NAUX.GT.1.E-05) GO TO 3
FAT=NCIL
GO TO 999
3 IF(IORD.GE.NDIA) GO TO 5
FAT=IORD
GO TO 999
5 I=IORD-NCIL
2 IF(ABS(I).LT.NDIA) GO TO 4
I=I-NCIL
GO TO 2
4 FAT=ABS(I)
999 RETURN
END

```

```

=====
SUBROUTINE CURVA(KTIPD,7,X,Y)
COMMON/A/IIJ
KN=6
IF(KTIPD.NE.215019) GO TO 100
IIJ=Z
Y=P1(X)
GO TO 2000
100 IF(KTIPD.NE.222279) GO TO 200
IIJ=Z
Y=P2(X)
GO TO 2000
200 IF(KTIPD.NE.222200) GO TO 300
IIJ=2*Z
Y=P3(X)
GO TO 2000
300 WRITE(KN,400) KTIPD
400 FORMAT(6 *****PROGRAMA SERA INTERROMPIDO POR ERRORES INCORRETA SA V
1 ARIAVEL BARIND,7)

```

2000 RETURN  
END

```
=====
FUNCTION P1(X)
COMMON/A/IIJ
GO TO (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15),IIJ
1 P1=3.1625*.473214*X
GO TO 2000
2 P1=3.470834.349405*X
GO TO 2000
3 P1=2.55+.19107*X
GO TO 2000
4 P1= 1.68889*.125*X
GO TO 2000
5 P1=1.1+.0625*X
GO TO 2000
6 P1=.76+.02625*X
GO TO 2000
7 P1=.501436+2.28974E-02*X-2.15801E-03*X*X
GO TO 2000
8 P1=.322097+9.70739E-03*X-9.13425E-04*X*X
GO TO 2000
9 P1=.21+.0025*X
GO TO 2000
10 P1=.13+.00125*X
GO TO 2000
11 P1=.079
GO TO 2000
12 P1=.05
GO TO 2000
13 P1=.03
GO TO 2000
14 P1=.02
GO TO 2000
15 P1=.01
2000 CONTINUE
RETURN
END
```

```
=====
FUNCTION P2(X)
COMMON/A/IIJ
X2=X*X
X3=X*X2
X4=X*X3
X5=X*X4
X6=X*X5
GO TO (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15),IIJ
1 P2=3.214+.3295*X+.03875*X2-3.889E-05*X3
GO TO 2000
2 P2=3.53+.3935*X+4.15E-03*X2+1.422E-03*X3
GO TO 2000
3 P2=2.7+6.154E-02*X+.1385*X2-3.0764E-02*X3+2.7055E-03*X4-7.08E-05*X5
```

```

15
GO TO 2000
4 P2=1.84+.207*X-.0289*X2+3.824E-03*X3-1.144E-04*X4
GO TO 2000
5 P2=1.245+.1278*X-1.054E-02*X2+1.437E-03*X3-3.78E-05*X4
GO TO 2000
6 P2=.85+7.53E-02*X-1.558E-02*X2+3.589E-03*X3-3.16E-04*X4+9.81E-06*X
15
GO TO 2000
7 P2=.63-.075*X+7.382E-02*X2-2.036E-02*X3+2.505E-03*X4-1.4378E-04*X5
1+3.1288E-06*X6
GO TO 2000
8 P2=.416474+1.3875E-02*X+2.86E-03*X2-8.0323E-04*X3+3.47E-05*X4
GO TO 2000
9 P2=.2838+2.2E-02*X-3.58E-03*X2+5.8E-05*X3+4.17E-06*X4
GO TO 2000
10 P2=.185+1.03E-02*X-3.665E-03*X2+6.9E-04*X3-1.16E-04*X4+9.81E-06*X5
1-2.845E-07*X6
GO TO 2000
11 P2=.123+5.134E-03*X-9.65E-04*X2+4.425E-05*X3+1.5E-06*X4-4.266E-08*
1X5
GO TO 2000
12 P2=9.3E-02+1.925E-03*X+2.389E-03*X2-5.6E-04*X3+4.29E-05*X4-1.024E-
10E*X5
GO TO 2000
13 P2=.068+4.21E-03*X+7.394E-05*X2-1.3898E-07*X3+5.818E-07*X4
GO TO 2000
14 P2=.06-7.56E-04*X+1.83E-03*X2-3.2739E-04*X3+2.43E-05*X4-6.4E-07*X5
GO TO 2000
15 P2=.053+5.09E-05*X+1.079E-03*X2-1.81E-04*X3+1.164E-05*X4-2.56E-07*
1X5
2000 CONTINUE
RETURN
END

```

=====

FUNCTION P3(X)

COMMON/A/I1J

X2=X\*X

X3=X\*X2

X4=X\*X3

X5=X\*X4

X6=X\*X5

X7=X\*X6

GO TO (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23  
1,24,25,26), I1J

1 P3=.909+.246\*X+3.96648E-03\*X2

GO TO 2000

2 P3=1.812+.1727\*X+1.237E-02\*X2

GO TO 2000

3 P3=1.91+4.48E-02\*X+4.33E-02\*X2-3.11E-03\*X3+8.91E-05\*X4

GO TO 2000

4 P3=1.754+.0797\*X+2.79E-02\*X2-2.42E-03\*X3+8.43E-05\*X4

GO TO 2000

5 P3=1.597+.208\*X-6.29E-02\*X2+1.221E-02\*X3-8.565E-04\*X4+2.081E-05\*X5

GO TO 2000

6 P3=1.2+.3026\*X-8.307E-02\*X2+1.31E-02\*X3-8.5E-04\*X4+1.995E-05\*X5

```

GO TO 2000
7 P3=1.031+3.772E-02*X+1.581E-02*X2-1.076E-03*X3+5.8955E-05*X4
GO TO 2000
8 P3=.802+3.883E-02*X+1.356E-02*X2-1.559E-03*X3+5.794E-05*X4
GO TO 2000
9 P3=.6297+.4877*X-.3532*X2+.10933*X3-1.65556E-02*X4+1.3156E-03*X5-5
1.264E-05*X6+8.366E-07*X7
GO TO 2000
10 P3=.5+4.49E-02*X+3.47E-03*X2-6.8E-04*X3+3.025E-05*X4
GO TO 2000
11 P3=.4-1.39E-02*X+3.787E-02*X2-9.574E-03*X3+1.067E-03*X4-5.514E-05*
1X5+1.008E-06*X6
GO TO 2000
12 P3=.31+2.067E-02*X+1.203E-02*X2-4.475E-03*X3+6.376E-04*X4-3.89E-05
1*X5+8.523E-07*X6
GO TO 2000
13 P3=.3+5.72E-03*X+7.17E-04*X2-2.072E-05*X3+2.24E-06*X4
GO TO 2000
14 P3=.24-2.772E-04*X+2.729E-03*X2-2.651E-04*X3+9.596E-06*X4
GO TO 2000
15 P3=.1917+1.16E-02*X-1.2E-04*X2-7.316E-05*X3+4.736E-06*X4
GO TO 2000
16 P3=.15+8.51E-03*X+4.588E-04*X2-1.16E-04*X3+5.5167E-06*X4
GO TO 2000
17 P3=.12+5.93E-03*X+2.276E-03*X2-4.185E-04*X3+2.36E-05*X4-3.616E-07*
1X5
GO TO 2000
18 P3=.1+.0152*X-5.512E-03*X2+1.397E-03*X3-1.64E-04*X4+8.44E-06*X5-1.
1536E-07*X6
GO TO 2000
19 P3=.08+5.197E-03*X+5.711E-04*X2-3.329E-05*X3-1.08E-06*X4+2.45E-07*
1X5
GO TO 2000
20 P3=.065+4.62E-03*X+2.06E-04*X2+4.206E-06*X3-7.658E-06*X4+3.99E-07*
1X5
GO TO 2000
21 P3=.06+5.066E-03*X-9.076E-04*X2+1.934E-04*X3-1.886E-05*X4+5.135E-0
17*X5
GO TO 2000
22 P3=.053-1.13E-02*X+1.192E-02*X2-3.92E-03*X3+6.2166E-04*X4-5.1E-05*
1X5+2.067E-06*X6-3.256E-08*X7
GO TO 2000
23 P3=.042-8.4257E-03*X+6.33984E-03*X2-2.68456E-03*X3+4.18497E-04*X4-
13.37032E-05*X5+1.33958E-06*X6-2.06076E-08*X7
GO TO 2000
24 P3=.035+4.346E-03*X-1.143E-03*X2+3.476E-04*X3-2.828E-05*X4+6.151E
1-07*X5
GO TO 2000
25 P3=.025-1.34E-02*X+1.175E-02*X2-3.59E-03*X3+5.29E-04*X4-4.07E-05*X
15+1.557E-06*X6-2.315E-08*X7
GO TO 2000
26 P3=.013+3.21E-03*X-1.9E-03*X2+3.78E-04*X3-3.02E-05*X4+0.513E-07*X5
2000 CONTINUE
RETURN
END

```

=====



D.4 - LISTAGEM DO PROGRAMA AUTOVALORES

E6700 F U P T R A N C O M P I L A T I O N M A R K 2.9.003

L S C A K  
= = = = =

```

*****
PROGRAMA PA E CALCULO DE FREQUENCIA NATURAL DE VIBRACAO TORSIONAL
PELO METODO MATRICIAL DE AUTO-VALORES E AUTO-VETORES
*****

```

```

DIMENSION A(60,60), R(60,60), AJ(3,20), AK(3,20), BETA(60), RALFA(
1120), RZ(7200), W(60), L(4), M(3), NI(3), RN(3), FRE(60), IN
2T(60), AMPL(60,60), WK(7200)

```

```

REAL NOME(20)

```

```

IA=60

```

```

IE=60

```

```

IZ=60

```

```

WRITE(6,300)

```

```

READ(5,100) NOME

```

```

READ(5,101) IUNID

```

```

READ(5,101) IJOB

```

```

READ(5,101)(NI(I),I=1,3)

```

```

READ(5,102)(RN(I),I=1,3)

```

```

DO 1 I=1,3

```

```

READ(5,102)(AJ(I,J),J=1,NI(I))

```

```

READ(5,102)(AK(I,J),J=1,NI(I)-1)

```

```

1 CONTINUE

```

```

WRITE(6,200) NOME

```

```

WRITE(6,301)

```

```

IF(IUNID.EQ.1) GO TO 2

```

```

WRITE(6,302)

```

```

GO TO 50

```

```

2 WRITE(6,303)

```

```

50 I=1

```

```

DO 3 J=1,NI(I)-1

```

```

WRITE(6,201)I,J,AJ(I,J),AK(I,J)

```

```

3 CONTINUE

```

```

DO 4 I=2,3

```

```

DO 4 J=2,NI(I)

```

```

WRITE(6,201)I,J,AJ(I,J),AK(I,J-1)

```

```

4 CONTINUE

```

```

WRITE(6,306)

```

```

I=1

```

```

WRITE(6,202)I,AJ(1,NI(I)), RN(I)

```

```

DO 5 J=2,3

```

```

WRITE(6,202)I,AJ(1,1), RN(I)

```

```

5 CONTINUE

```

```

C
C EDUCAD DO SISTEMA A PARTIR DO TRAMO 1

```

```

DO 6 J=2,3

```

```

RNA=(RN(I)/RN(1))*2

```

```

DO 7 J=1,NI(I)

```

```

AJ(I,J)=RNA+AJ(1,J)

```

```

7 CONTINUE

```

```

DO 6 J=1,NI(I)-1

```

```

AK(I,J)=RNA+AK(1,J)

```

```

6 CONTINUE

```

```

AJ(1,NI(1))=AJ(1,NI(1)) + AJ(2,1) + AJ(3,1)
DL 57 K=2,3
DL 57 J=1,NI(K)-1
AJ(K,J)=AJ(K,J+1)
57 CONTINUE
NI(2)=NI(2)-1
NI(3)=NI(3)-1
N=NI(1) + NI(2) + NI(3)

```

```

C MONTAGEM DA MATRIZ DE RIGIDEZ

```

```

C PRIMEIRO TRAMO

```

```

A(1,1)=AK(1,1)
A(1,2)=-AK(1,1)
DL 8 J=3,N
A(1,J)=0.
E CONTINUE
IF(NI(1)-2)9,9,10
10 DL 11 I=2,NI(1)-1
DL 51 J=1,N
IF(J.EQ.(I-1)) GO TO 12
A(I,J)=0.
51 CONTINUE
GO TO 11
12 A(I,J)=-AK(1,J)
A(I,J+1)=AK(1,J)+AK(1,J+1)
A(I,J+2)=-AK(1,J+1)
MA=J+3
DL 11 J=MA,N
A(I,J)=0.
11 CONTINUE

```

```

C
C JUNCAO

```

```

9 DL 13 J=1,N
IF(J.EQ.(NI(1)-1)) GO TO 14
A(NI(1),J)=0.
13 CONTINUE
GO TO 53
14 A(NI(1),J)=-AK(1,J)
A(NI(1),J+1)=AK(1,J) + AK(2,1) + AK(3,1)
A(NI(1),J+2)=-AK(2,1)
MA=J+3
DL 52 J=MA,N
A(NI(1),J)=0.
52 CONTINUE
53 A(NI(1),NI(1) + NI(2) + 1)=-AK(3,1)

```

```

C
C SEGUNDO E TERCEIRO TRAMO

```

```

L(1)= NI(1) + 1
L(2)=NI(2) + L(1)
L(3)= NI(3) + L(2)
M(2)= NI(1) - 1
M(3)= NI(1) + NI(2) - 1
IL=0
DL 15 K=2,3
DL 16 I=L(K-1),L(K)-1
IF(I.GT.L(K)-1) GO TO 16
DL 17 J = 1,N
IF(J.EQ.(I-1)) GO TO 21
A(I,J)=0.
17 CONTINUE

```

```

21 IF(K.EQ.3) GO TO 19
18 A(I,J) = -AK(K,J-M(K))
A(I,J+1) = AK(K,J-M(K)) + AK(K,J-M(K)+1)
A(I,J+2) = -AK(K,J-M(K)+1)
LJ=J+3
20 DO 16 J=LA,N
A(I,J)=0.
16 CONTINUE
I=L(K)-1
DO 22 J=1,N
IF(J.EQ.(L(K)-2)) GO TO 55
A(I,J) = 0.
22 CONTINUE
GO TO 15
55 A(I,J) = -AK(K,J-M(K))
A(I,J+1) = AK(K,J-M(K))
LJ=J+2
DO 56 J=LA,N
A(I,J)=0.
56 CONTINUE
GO TO 15
19 IF(IU.EQ.1) GO TO 18
IU=1
IF(NI(3).EQ.1) GO TO 54
A(I,J) = 0.
A(I,J+1) = AK(3,J-M(3)) + AK(3,J-M(3)+1)
A(I,J+2) = -AK(3,J-M(3)+1)
A(I,NJ(1)) = -AK(3,1)
LJ = J+3
GO TO 20
54 A(I,NI(1)) = -AK(3,1)
A(I,J)=0.
A(I,J+1) = AK(3,1)
15 CONTINUE

```

C  
C MONTAGEM DA MATRIZ DE INERCIA

```

L(1)=1
DO 23 I=2,4
L(I)=L(I-1) + NI(I-1)
23 CONTINUE
DO 24 K=1,3
DO 24 I=L(K),L(K+1)-1
DO 24 J=1,N
IF (I.EQ.J) GO TO 25
R(I,J)=0.
GO TO 24
25 R(I,J)=AJ(K,J-L(K)+1)
24 CONTINUE

```

C  
C CALCULO DOS AUTO-VALORES  
CALL FIGZF(A,IA,B,IB,N,IJOB,FALFA,BETA,RZ,I4,WK,IER)  
DO 26 I=1,N  
W(I) = FALFA(2\*I-1)/BETA(I)  
26 CONTINUE

C  
C POTINA PARA ORDENAR FREQUENCIAS E AMPLITUDES  
DO 67 K=1,N  
INT(K) = K  
67 CONTINUE  
DO 27 K=1,N-1

```

DL 27 J=K+1,N
IF(W(K).LE.W(J)) GO TO 27
AUX = W(K)
W(K) = W(J)
W(J) = AUX
IAUX=INT(K)
INT(K) = INT(J)
INT(J) = IAUX
27 CONTINUE
WRITE(6,304)
IF(W(1).GT.0.) GO TO 28
IF(ABS(W(1)).GT.0.01) GO TO 29
W(1)= ABS(W(1))
GO TO 28
29 WRITE(6,305)
L1=2
GO TO 31
28 L1=1
31 DL 30 I=L1,N
W(I)=SQRT(W(I))
FRE(I)=W(I)+9.549297
WRITE(6,203) I, W(I), FRE(I)
30 CONTINUE
C
C CALCULO F IMPRESSAO DAS AMPLITUDES
IF(IJCP.E0.0) GO TO 60
DL 61 I=1,N
WRITE(6,207) I, W(I)
IF(INT(I)-1) 64,64,64
62 I2 = 0
GO TO 63
64 I2 = 2*N*(INT(I)-1)
63 K = 0
DL 65 J=I2+1,2*N+I2,2
K = K+1
AMPL(I,K) = FZ(J)
65 CONTINUE
K = 1
WRITE(6,204) K
DL 66 J=L(K),L(K+1)-1
WRITE(6,205) J, AMPL(I,J)
66 CONTINUE
DL 61 K=2,3
J2=1
AUX=AMPL(I,NI(1))*FN(1)/RN(K)
WRITE(6,206) K, J2, AUX
DL 61 J=L(K),L(K+1)-1+K
J2=J-L(K)+1
AUX = AMPL(I,J)*RN(1)/FN(K)
WRITE(6,205) J2, AUX
61 CONTINUE
60 STOP
100 FFORMAT(20A4)
101 FFORMAT(3I5)
102 FFORMAT(8F10.0)
200 FFORMAT(1H1, 5(/),1X,20A4)
201 FFORMAT(/,1X,T25,I5,T44,I5,T62,F14.6,T82,E14.6)
202 FFORMAT(/,1X,32X,I1,16X,E14.6,10X,F6.3)
203 FFORMAT(/,47X,I2,13X,E14.6,5X,E14.6)
204 FFORMAT(/,1X,T42,I2)

```

```

205 FCPMAT(1H,1X,T62,I2,T79,E12.4,/)
206 FCPMAT(1X,T42,I2,T62,I2,T79,E12.4,/)
207 FCPMAT(1H1,///,40X, PESPOSIAS PARA A FREQUENCIA DE ,I2,'A. DR
1DEM',41X,43(' '),///,34X,FREQUENCIA NATURAL DE VIBRACAO TORCIDO
2NAL = ,F12.4, (RADIANDS/SEGUNDO),//,45X,AMPLITUDE DE VIBRACA
30 EM CADA INERCIA,///,T40,TRAMO,T58,POSICAO,T80,AMPLITUDE)
300 FCPMAT(1X,23(//),46X,NUCLFO DE DESENVOLVIMENTO E PESQUISA DO NAVI
10',46X,45(' '),//,25X,PROGRAMA PARA CALCULO DE FREQUENCIA NATURAL D
2E VIBRACAO POR AUTO-VALORES E AUTO-VECTORES,/25X,87(' '))
301 FCPMAT(10(//),50X,INERCIA E RIGIDEZ DE CADA TRAMO,/,50X,32(' '))
1//,T27,TRAMO,T45,POSICAO,T67,INERCIA
302 FCPMAT(1X,T66,'KGF*CM**2',T85,'KGF*CM/RAD')
303 FCPMAT(1X,T66,'LBF*IN**2',T85,'LBF*IN/RAD')
304 FCPMAT(1H1,10(//),42X,MODDO DE VIBRAR,16X,FREQUENCIA NATURAL,/,
14X,14(' '),16X,18(' '),//,67X,RAD/SEG.,10X,VIBS./MIN.,//)
305 FCPMAT(30X, A PRIMEIRA FREQUENCIA ESTA COM VALOR NEGATIVO, E FORA
1 LA PPECISAO DO PROGRAMA. SAO DADAS APAIXO AS FREQUENCIAS DE ORDE
2M SUPERIOR)
306 FCPMAT(//,1X,59X, J U N C A O,/,60X,11(' '),//,30X,TRAMO,20X,
1INERCIA,20X,REDUCAD,/)
END

```

SEG

D.5 - PROGRAMA AUTOVALORES - SAPIV

3 / D B E A M E L E M E N T S

NUMBER OF PFAMS = 19  
 NUMBER OF GEOMETRIC PROPERTY SETS = 13  
 NUMBER OF FIXED END FORCE SETS = 0  
 NUMBER OF MATERIALS = 1

MATERIAL PROPERTIES

MATERIAL NUMBER	YOUNG'S MODULUS	POISSON'S RATIO	MASS DENSITY	WEIGHT DENSITY
1	.2600E+01	0.3000	0.	0.

BEAM GEOMETRIC PROPERTIES

SECTION NUMBER	AXIAL AREA A(1)	SHEAR AREA A(2)	SHEAR AREA A(3)	TORSION J(1)	INERTIA I(2)	INERTIA I(3)
1	.1000E+01	0.	0.	.5760E+07	.1000E+01	.1000E+01
2	.1000E+01	0.	0.	.1640E+09	.1000E+01	.1000E+01
3	.1000E+01	0.	0.	.1270E+09	.1000E+01	.1000E+01
4	.1000E+01	0.	0.	.1180E+09	.1000E+01	.1000E+01
5	.1000E+01	0.	0.	.2200E+08	.1000E+01	.1000E+01
6	.1000E+01	0.	0.	.2940E+08	.1000E+01	.1000E+01
7	.1000E+01	0.	0.	.3720E+08	.1000E+01	.1000E+01
8	.1000E+01	0.	0.	.6250E+08	.1000E+01	.1000E+01
9	.1000E+01	0.	0.	.4220E+08	.1000E+01	.1000E+01
10	.1000E+01	0.	0.	.3790E+08	.1000E+01	.1000E+01
11	.1000E+01	0.	0.	.1680E+07	.1000E+01	.1000E+01
12	.1000E+01	0.	0.	.8560E+06	.1000E+01	.1000E+01
13	.1000E+01	0.	0.	.2720E+08	.1000E+01	.1000E+01

ELEMENT LOAD MULTIPLIERS

	A	F	U	D
X=DIR	0.	0.	0.	0.
Y=DIR	0.	0.	0.	0.
Z=DIR	0.	0.	0.	0.



3/D BEAM ELEMENT DATA

BEAM NUMBER	NODE I	NODE J	NODE K	MATERIAL NUMBER	SECTION NUMBER	ELEMENT A	ELEMENT B	END LOADS C	END LOADS D	END CODES I	END CODES J
1	1	2	21	1	1	0	0	0	0	0	0
2	2	3	21	1	2	0	0	0	0	0	0
3	3	4	21	1	3	0	0	0	0	0	0
4	4	5	21	1	3	0	0	0	0	0	0
5	5	6	21	1	3	0	0	0	0	0	0
6	6	7	21	1	3	0	0	0	0	0	0
7	7	8	21	1	3	0	0	0	0	0	0
8	8	9	21	1	3	0	0	0	0	0	0
9	9	10	21	1	3	0	0	0	0	0	0
10	10	11	21	1	4	0	0	0	0	0	0
11	11	12	21	1	5	0	0	0	0	0	0
12	12	13	21	1	6	0	0	0	0	0	0
13	13	14	21	1	7	0	0	0	0	0	0
14	14	15	21	1	8	0	0	0	0	0	0
15	15	16	21	1	9	0	0	0	0	0	0
16	16	17	21	1	10	0	0	0	0	0	0
17	17	18	21	1	11	0	0	0	0	0	0
18	18	19	21	1	12	0	0	0	0	0	0
19	19	20	21	1	13	0	0	0	0	0	0

NODE (N)	NODES DEFINING (N1)	CONSTRAINT (NK)	DIRECTION (NL)	CODE KD	CODE KK	GENERATION CODE (KN)	SPECIFIED DISPLACEMENT	SPECIFIED ROTATION	SPRING RATE
1	2	0	0	0	1	0	0.	0.	.1220E+03
2	1	0	0	0	1	0	0.	0.	.1785E+02
3	1	0	0	0	1	0	0.	0.	.3600E+02
4	1	0	0	0	1	0	0.	0.	.3600E+02
5	1	0	0	0	1	0	0.	0.	.3600E+02
6	1	0	0	0	1	0	0.	0.	.3600E+02
7	1	0	0	0	1	0	0.	0.	.3600E+02
8	1	0	0	0	1	0	0.	0.	.3600E+02
9	1	0	0	0	1	0	0.	0.	.3600E+02
10	1	0	0	0	1	0	0.	0.	.3600E+02
11	1	0	0	0	1	0	0.	0.	.5086E+02
12	1	0	0	0	1	0	0.	0.	.8318E+02
13	1	0	0	0	1	0	0.	0.	.1369E+03
14	1	0	0	0	1	0	0.	0.	.1473E+02
15	1	0	0	0	1	0	0.	0.	.8540E+01
16	1	0	0	0	1	0	0.	0.	.1356E+02
17	1	0	0	0	1	0	0.	0.	.1239E+02
18	1	0	0	0	1	0	0.	0.	.2029E+02
19	1	0	0	0	1	0	0.	0.	.1049E+03
20	1	0	0	0	1	0	0.	0.	.3907E+02

E Q U A T I O N P A R A M E T E R S

TOTAL NUMBER OF EQUATIONS = 20  
BANDWIDTH = 8  
NUMBER OF EQUATIONS IN A BLOCK = 20  
NUMBER OF BLOCKS = 1

N O D A L L O A D S ( S T A T I C ) O R M A S S E S ( D Y N A M I C )

NODE NUMBER	LOAD CASE	X-AXIS FORCE	Y-AXIS FORCE	Z-AXIS FORCE	X-AXIS MOMENT	Y-AXIS MOMENT	Z-AXIS MOMENT
1	0	0.	0.	0.	.142200E+03	0.	0.
2	0	0.	0.	0.	.178500E+02	0.	0.
3	0	0.	0.	0.	.360000E+02	0.	0.
4	0	0.	0.	0.	.360000E+02	0.	0.
5	0	0.	0.	0.	.360000E+02	0.	0.
6	0	0.	0.	0.	.360000E+02	0.	0.
7	0	0.	0.	0.	.360000E+02	0.	0.
8	0	0.	0.	0.	.360000E+02	0.	0.
9	0	0.	0.	0.	.360000E+02	0.	0.
10	0	0.	0.	0.	.360000E+02	0.	0.
11	0	0.	0.	0.	.508600E+02	0.	0.
12	0	0.	0.	0.	.831800E+02	0.	0.
13	0	0.	0.	0.	.136900E+03	0.	0.
14	0	0.	0.	0.	.147300E+02	0.	0.
15	0	0.	0.	0.	.854000E+01	0.	0.
16	0	0.	0.	0.	.135600E+02	0.	0.
17	0	0.	0.	0.	.123900E+02	0.	0.
18	0	0.	0.	0.	.202900E+02	0.	0.
19	0	0.	0.	0.	.104850E+03	0.	0.
20	0	0.	0.	0.	.390700E+02	0.	0.

STRUCTURE LOAD CASE	ELEMENT A	LOAD B	MULTIPLIERS C	D
1	0.000	0.000	0.000	0.000

## E I G E N V A L U E   A N A L Y S I S

DETERMINANT SEARCH SOLUTION IS CARRIED OUT

## CONTROL INFORMATION

FLAG FOR ADDITIONAL PRINTING	=	0
EQ.0, SUPPRESS		
EQ.1, PRINT		
STURM SEQUENCE CHECK FLAG (*)	=	0
EQ.0, PERFORM CHECK		
EQ.1, PASS		
MAXIMUM ITERATION CYCLES (*)	=	16
CONVERGENCE TOLERANCE (*)	=	.1000E-04
CUT-OFF FREQUENCY (CPS)	=	.1000E+09
NUMBER OF STARTING ITERATION VECTORS TO BE READ FROM TAPE 10 (*)	=	0

(\*) APPLICABLE TO SUBSPACE  
ITERATION SOLUTIONS ONLY

SOLUTION IS SOUGHT FOR FOLLOWING EIGENPROBLEM

NUMBER OF EQUATIONS	=	20
HALF BANDWIDTH OF STIFFNESS MATRIX	=	8
NUMBER OF EQUATION BLOCKS	=	1
NUMBER OF EQUATIONS PER BLOCK	=	20
NUMBER OF EIGENVALUES REQUIRED	=	20

VED FCF THE FOLLOWING EIGENVALUES

0000368012F+01	.526567214808E+04	.352117614016E+05	.644132085432E+05	.117141576844E+06	.381630634903E+06
6966760440F+06	.749309282608F+06	.146386898764E+07	.252616616128E+07	.295082191006E+07	.329262773101E+07
9752560076F+07	.711721838216E+07	.714013966240E+07	.936567298768F+07	.113560084976E+08	.127843315880F+08

2252318911E+08 .159101105865E+08

FOLLOWING ARE PHYSICAL ERROR BOUNDS ON THE EIGENPAIRS

9835513228F+04	.117664097463E+08	.147648522188E+09	.116284946260E+09	.405860063341E+08	.759979810192E+10
725545196F+09	.135632127739F+10	.2231443555667E+10	.428808396145E+11	.644923009120E+10	.594124791272E+09
6329587081F+11	.839037321664F+11	.633705006528E+11	.329606094609E+09	.865331811424E+10	.173107023389F+08
7802977296F+11	.37454221596E+09				

## PRINT OF FREQUENCIES

MODE NUMBER	CIRCULAR FREQUENCY (RAD/SEC)	FREQUENCY (CYCLES/SEC)	PERIOD (SEC)
1	.1000E+01	.1592E+00	.6283E+01
2	.7256E+02	.1155E+02	.8659E-01
3	.1876E+03	.2987E+02	.3348E-01
4	.2905E+03	.4624E+02	.2163E-01
5	.3452E+03	.5494E+02	.1820E-01
6	.6178E+03	.9832E+02	.1017E-01
7	.7463E+03	.1188E+03	.8419E-02
8	.8656E+03	.1378E+03	.7259E-02
9	.1210E+04	.1926E+03	.5193E-02
10	.1589E+04	.2530E+03	.3953E-02
11	.1718E+04	.2734E+03	.3658E-02
12	.1815E+04	.2888E+03	.3463E-02
13	.2213E+04	.3522E+03	.2839E-02
14	.2668E+04	.4246E+03	.2355E-02
15	.2672E+04	.4253E+03	.2351E-02
16	.3060E+04	.4871E+03	.2053E-02
17	.3370E+04	.5363E+03	.1865E-02
18	.3576E+04	.5691E+03	.1757E-02
19	.3902E+04	.6210E+03	.1610E-02
20	.3989E+04	.6348E+03	.1575E-02

## PRINT OF EIGE. VECTORS

## APÊNDICE E

### FOTOGRAFIAS DOS ENSAIOS

É mostrado neste apêndice um conjunto de fotografias tiradas durante a fase de montagem dos equipamentos de medidas e a realização dos ensaios.

FIGURA E-1 - Mostra detalhes do motor 8V23LU, vendo-se ainda o eixo intermediário e o freio hidráulico.

FIGURA E-2 - Mostra o dinamômetro hidráulico utilizado nos ensaios dos motores.

FIGURA E-3 - Mostra outra vista do sistema motor-eixo-freio-hidráulico.

FIGURA E-4 - Mostra alguns aparelhos de medida utilizados no ensaio, bem como a Figura E-5.

FIGURA E-6 - Mostra o eixo intermediário e os componentes dos aparelhos de medida que funcionam junto ao eixo.

FIGURA E-7 - Mostra o osciloscópio em operação durante os ensaios.

FIGURA E-8 - Mostra os indicadores do freio hidráulico na bancada de teste.

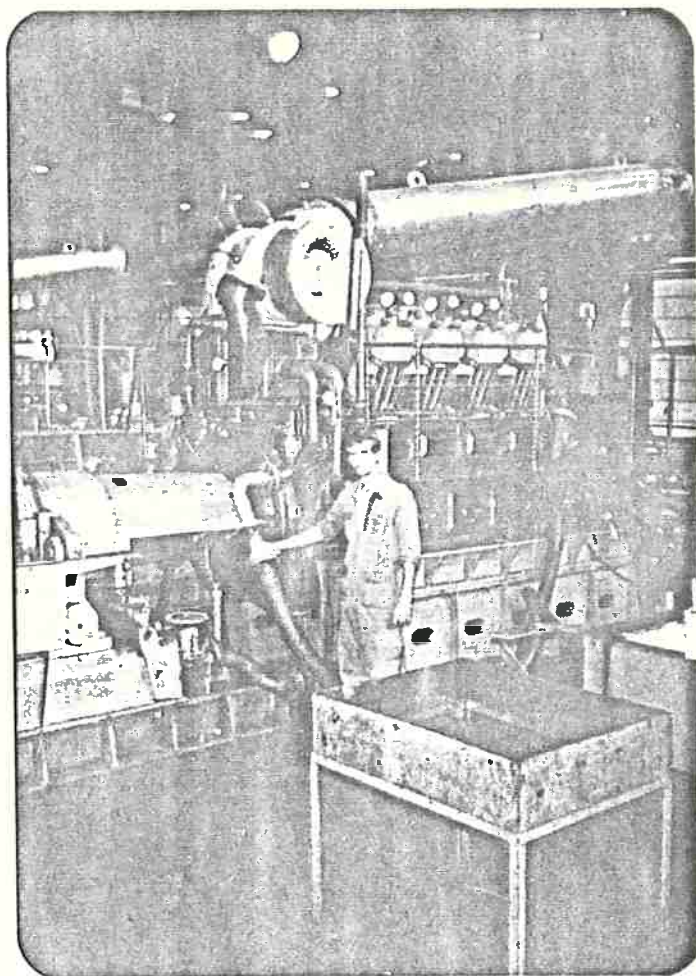


FIGURA E.1 - DETALHES DO MOTOR 8V23LU EM ENSAIO VENDO-SE O EIXO INTERMEDIÁRIO E O FREIO HIDRÁULICO FA-6

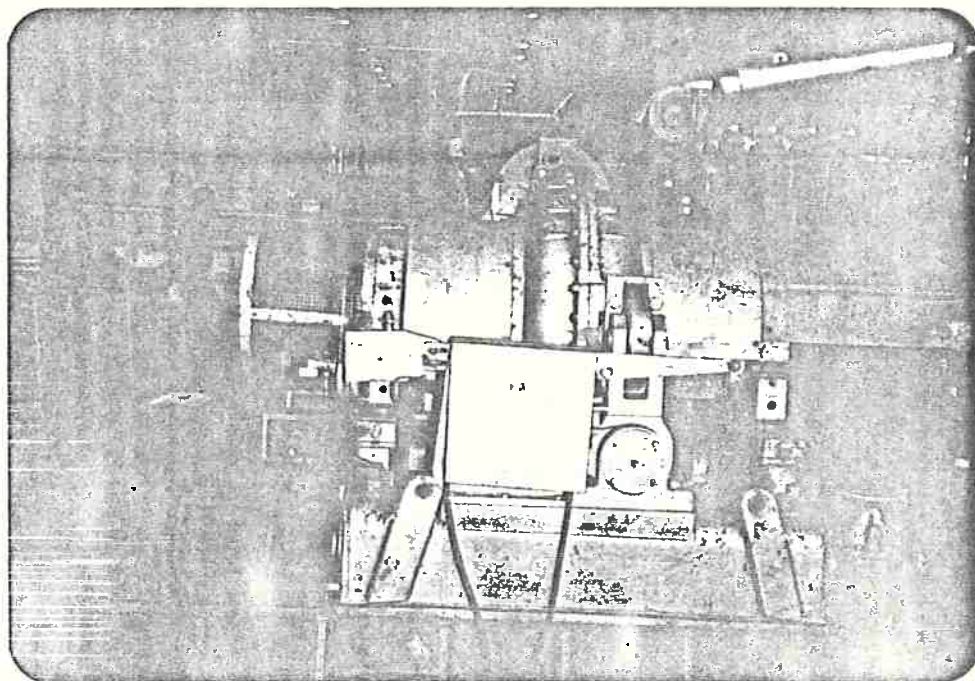


FIGURA E.2 - FREIO HIDRÁULICO FA-6



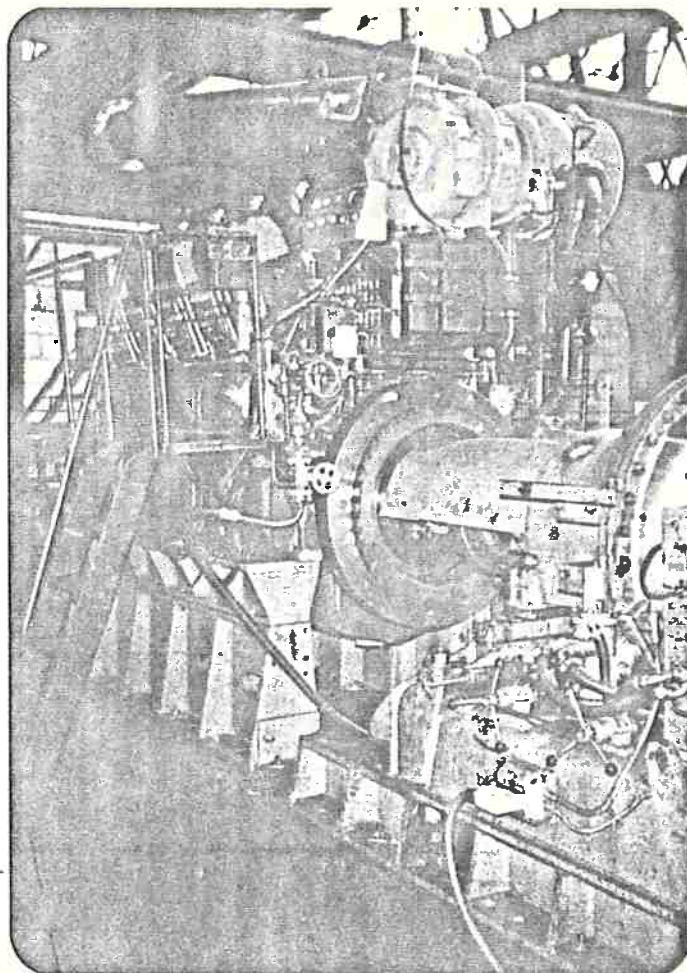


FIGURA E.3 - SISTEMA MOTOR-EIXO INTERMEDIÁRIO-FREIO HIDRÁULICO

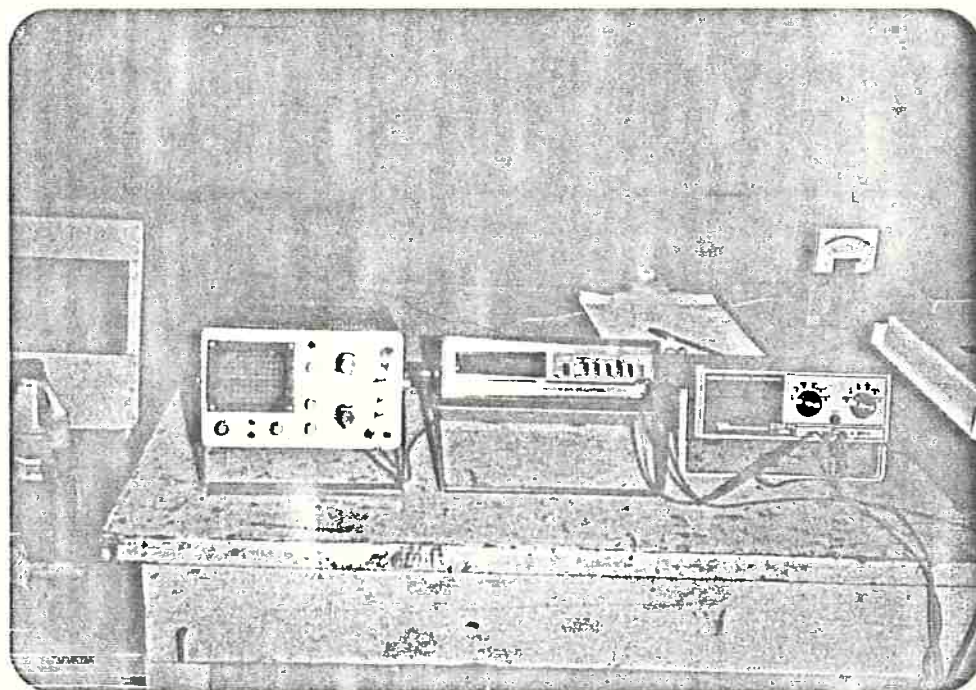


FIGURA E.4 - APARELHOS DE MEDIDA, CONSISTINDO DO OSCILOSCÓPIO, FREQUENCÍMETRO E MEDIDOR DA AMPLITUDE DO SINAL

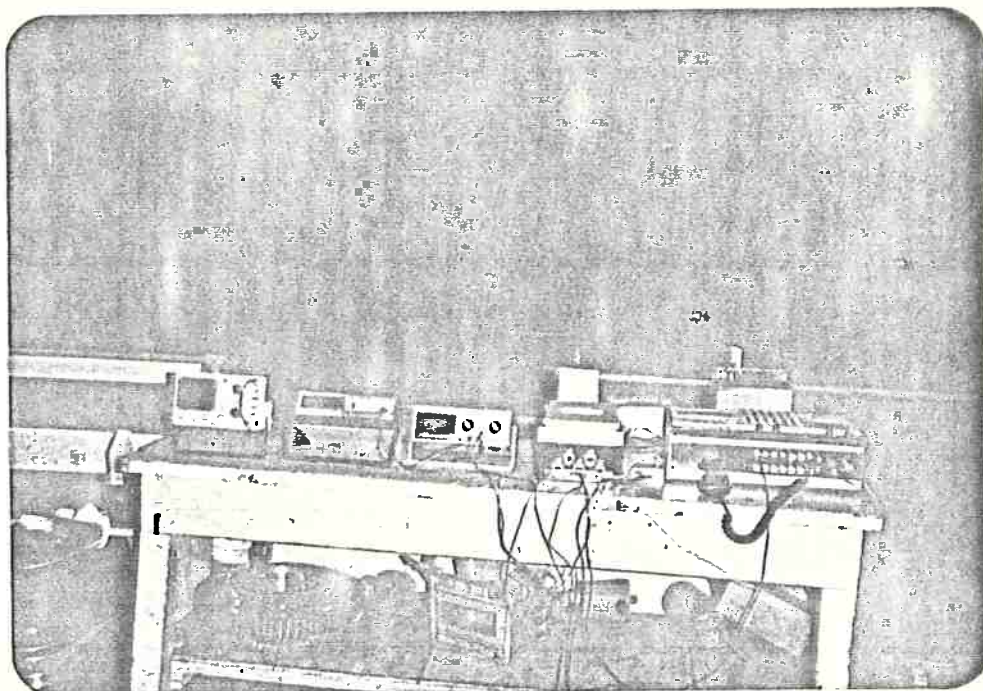


FIGURA E.5 - APARELHOS DE MEDIDA - DA ESQUERDA PARA A DIREITA - OSCILOSCÓPIO, FREQUENCÍMETRO, MEDIDOR DO SINAL, DEMODULADOR E GRAVADOR, UTILIZADOS NO ENSAIO

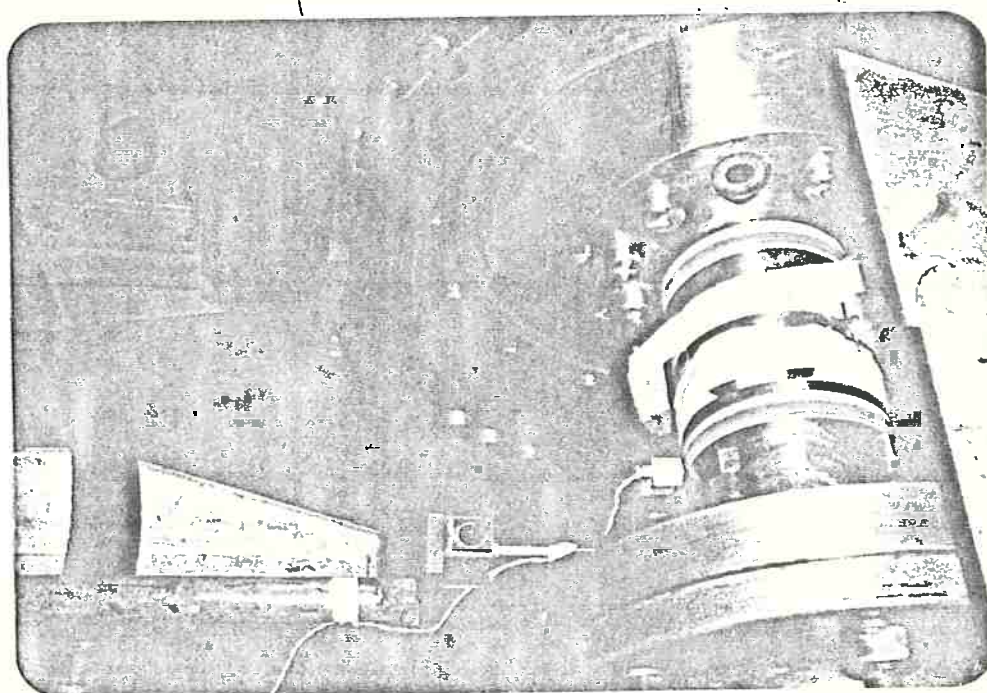


FIGURA E.6 - VISTA DO EIXO INTERMEDIÁRIO CONTENDO A ANTENA TRANSMISSORA, ANTENA RECEPTORA EXTERNA, OSCILADOR PR9910 E BATERIA

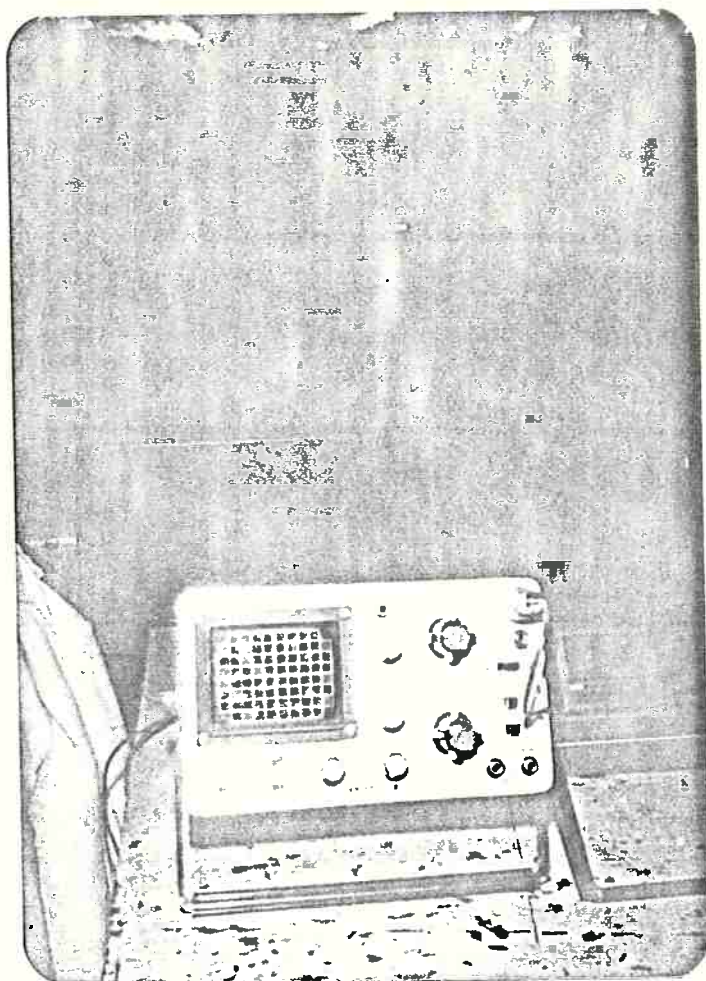


FIGURA E.7 - OSCILOSCÓPIO

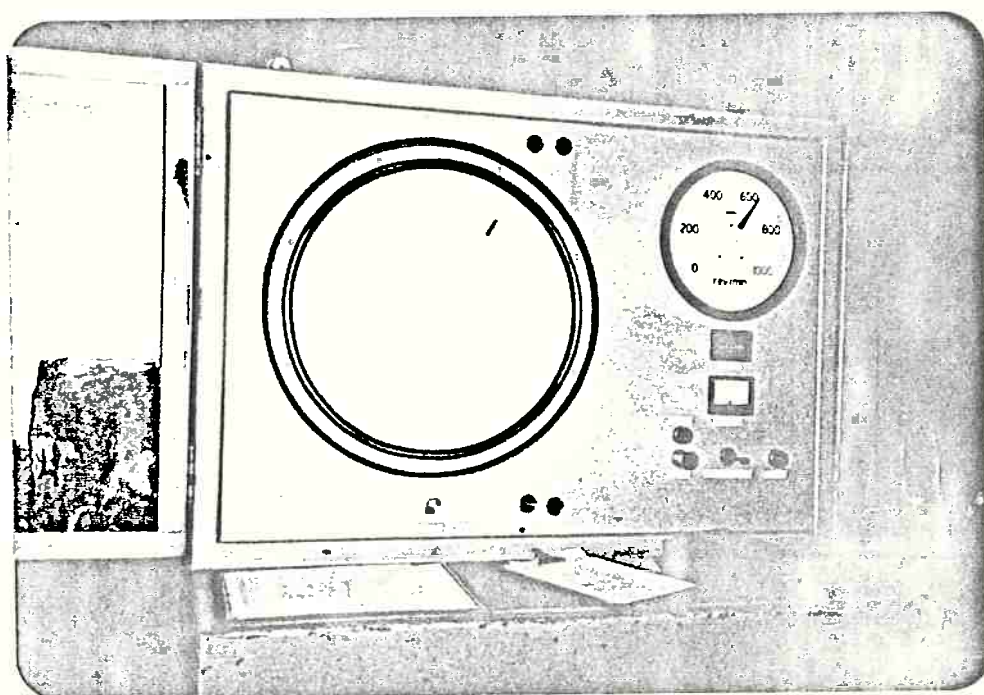


FIGURA E.8 - APARELHOS INDICADORES DE CONJUGADO E VELOCIDADE NO EIXO, PERTENCENTES AO FREIO HIDRÁULICO

APENDICE F

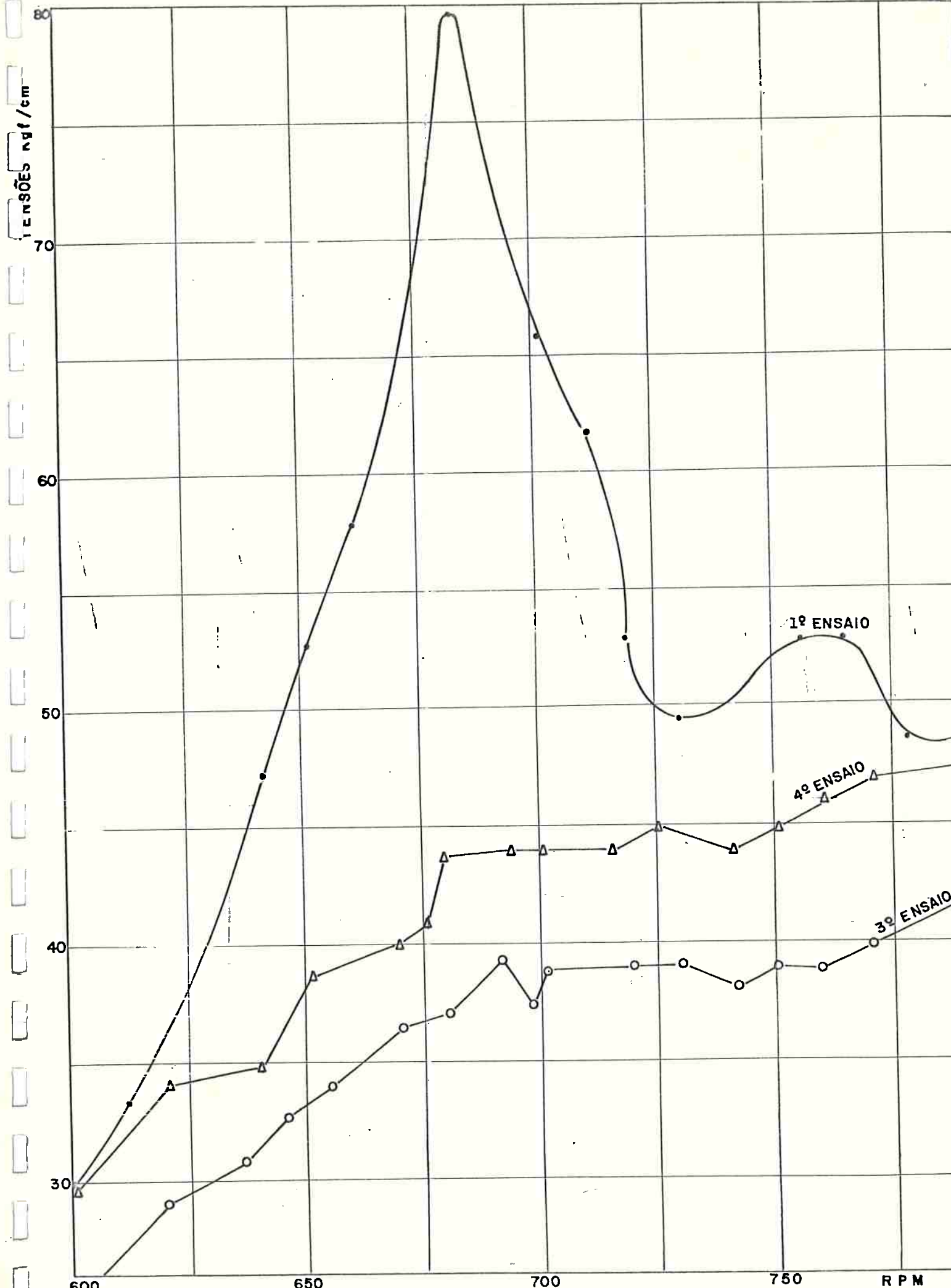


FIGURA F.1 - RESPOSTA TOTAL - COMPARAÇÃO COM O 1º ENSAIO - RESULTADOS