

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ✓
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS

PROGRAMA PARA O CÁLCULO DE
COBERTURA PÊNSEL EM CASCA PROTENDIDA DE ELEMENTOS PRÉ-
MOLDADOS COM APLICAÇÃO AO PROJETO DE RESERVATÓRIOS
CILÍNDRICOS DE CONCRETO

ENG. ANTONIO CARLOS RIGITANO

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a
obtenção do título de Mestre em Engenharia de Estruturas.

COMISSÃO JULGADORA

PROF. ASSOCIADO ROBERTO LUIZ DE ARRUDA BARBATO (Orientador)
PROF. TITULAR DANTE A.O. MARTINELLI
PROF. DR. JASSON RODRIGUES DE FIGUEIREDO FILHO

SUPLENTES

PROF. DR. FRANCISCO DOS SANTOS ROCHA
PROFa Dra ANA LUCIA H. DE CRESCE EL DEBS

SÃO CARLOS, MARÇO DE 1993

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Associado Roberto L.A. Barbato, pela amizade, clareza e objetividade de sua orientação, sem as quais seria impossível desenvolver esta Dissertação.

Aos colegas do Departamento de Computação da UNESP de Bauru, em especial à Profa Kiyomi Nakasato, pelos ensinamentos de programação.

Aos colegas do Departamento de Engenharia e Tecnologia Civil da UNESP de Bauru, pelo apoio e pela oportunidade dada para meu ingresso na carreira docente.

Aos meus pais Wilma e Pedro.

À Maria Helena, ao Henrique, à Laura e à Luisa.

RESUMO

Apresentam-se subsídios para o cálculo de cobertura pênsil em casca protendida de elementos pré-moldados de concreto ou de argamassa armada com aplicação ao projeto de reservatórios cilíndricos de concreto, mediante o emprego de microcomputador.

Inicialmente são feitas considerações genéricas abordando principais problemas e alguns detalhes construtivos.

O segundo capítulo é dedicado ao estudo dos cabos portantes da cobertura, onde se faz o equacionamento matemático necessário à análise, considerando inicialmente o cabo inextensível e em seguida considerando a sua deformação.

No terceiro e quarto capítulos, com o emprego da Teoria das Cascas de Revolução, estudam-se respectivamente a casca pênsil de cobertura e a parede do reservatório.

No quinto capítulo com o emprego dos estudos realizados, obtem-se equações que permitem determinar os esforços hiperestáticos que surgem nas ligações casca-anel-parede, casca-anel interno e parede-fundo.

No sexto capítulo fazem-se aplicações numéricas tendo em vista esclarecer as possibilidades de uso do programa elaborado RESERVAT em linguagem Turbo-Pascal versão 5.0 (em anexo).

No sétimo capítulo são feitas algumas recomendações para a elaboração do projeto.

ABSTRACT

A contribution to microcomputer aided analysis and design of a circular prestressed shell hanging roof applied to reservoirs is presented.

The first chapter begins with a short explanation of the structure.

In the second chapter the statical analysis for inextensible and deformable cables is developed.

The third and the fourth chapters are devoted to the study of the prestressed shell roof and the cylindrical wall, respectively.

In the fifth chapter the preceding studies are applied to the analysis of a circular tank.

In the sixth chapter a microcomputer aided analysis of the tank is made.

In the seventh and last chapter some design considerations are presented.

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	- Conceitos básicos	1
1.2	- Conteúdo do trabalho	4
2.	ESTUDO DO CABO	6
3.	ESTUDO DA CASCA PÊNSEL DE COBERTURA	18
3.1	- Esforços de membrana	18
3.2	- Esforços de flexão	21
4.	ESTUDO DA PAREDE CILÍNDRICA DO RESERVATÓRIO	30
4.1	- Equação da linha elástica da geratriz	30
4.2	- Esforços de membrana	31
4.3	- Esforços de flexão	32
5.	ESTUDO DO RESERVATÓRIO	35
5.1	- Estudo da ligação casca-anel-parede	35
5.2	- Estudo da ligação casca-anel interno	36
5.3	- Estudo da ligação parede-fundo	38
5.4	- Esforços finais	39
6.	ANÁLISE DO RESERVATÓRIO MEDIANTE O EMPREGO DO PROGRAMA DESENVOLVIDO	41
6.1	- Programa "ARQUIVOS" para entrada de dados	41
6.2	- Programa "RESERVAT" para a análise do reservatório .	49
6.3	- Exemplos aplicativos do programa "RESERVAT"	50
7.	COMENTÁRIOS FINAIS	87
7.1	- Algumas recomendações para a elaboração do projeto .	87
7.2	- Continuação da pesquisa	92
8.	BIBLIOGRAFIA	93
9.	ANEXOS : Listagens dos programas desenvolvidos	97

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

1.1 - Conceitos Básicos

A necessidade de armazenamento e distribuição de água, quando destinadas para as redes públicas, estão sempre condicionadas à construção de reservatórios de grande diâmetro.

Desde os primórdios da civilização, muitas conquistas foram feitas pelos construtores e projetistas no que concerne à forma, a métodos construtivos e à análise dessas obras.

Da escolha de formas, de materiais, de processos de construção e de fatores estéticos, resultará o custo do investimento, que acarretará maior ou menor preço de revenda da água e que afetará de maneira direta toda a comunidade, inclusive comprometendo novos investimentos do poder público ou da iniciativa privada.

Em razão da complexidade da análise estrutural de reservatórios pela Teoria das Cascas de Revolução, o assunto é ainda pouco conhecido pelos profissionais da Engenharia e raramente abordado nos cursos de graduação das Escolas do país.

Deve-se ressaltar a grande variedade de formas que podem ser adotadas no projeto de reservatórios, o que é facilmente visível na paisagem de nossas cidades, onde soluções diferentes são construídas inclusive próximas umas das outras.

Seria interessante, face a complexidade de cálculo, dotar o Engenheiro de uma ferramenta auxiliar para o detalhamento de projetos, o que permite apropriar custos e conseqüentemente escolher a melhor entre as alternativas possíveis de construção de reservatórios.

Desenvolveu-se neste trabalho, tomando como base esse raciocínio, um Programa para o cálculo de esforços de cobertura pênsil em casca protendida de elementos pré-moldados, com aplicação ao projeto de reservatórios cilíndricos de concreto, cujo tipo estrutural consta na Fig. 1, e que passa-se a descrever.

O reservatório é constituído essencialmente por uma parede cilíndrica de espessura constante e coberto por uma casca pênsil formada por dois anéis, cabos radiais ancorados nos anéis e placas trapezoidais pré-moldadas em concreto armado ou argamassa armada.

Após a colocação das placas pré-moldadas apoiadas nos cabos através de ganchos existentes em suas extremidades, carrega-se a cobertura, concretam-se as juntas e após o endurecimento do concreto lançado, retira-se a carga aplicada.

A retirada da carga é equivalente a uma ação de mesma intensidade aplicada de baixo para cima que confere ao conjunto de placas e cabos o comportamento de uma casca pênsil protendida.

A carga de protensão, em função dos resultados que se quer obter, pode ser ou uniformemente distribuída sobre os elementos ou linearmente distribuída sobre o anel central, ou sobre ambos.

É importante salientar que o efeito da protensão garante a estanqueidade da cobertura pois as juntas serão comprimidas, bem como propiciará maior capacidade de absorver cargas acidentais que possam comprometer a integridade do conjunto das placas pré-moldadas.

A alternativa da utilização de coberturas pênseis em reservatórios foi proposta por LEONHARDT [1964] e reservatório com

características semelhantes ao acima descrito foi construído em Bangalore (India) cujos autores do projeto mencionam uma economia da ordem de trinta por cento em comparação a outras soluções convencionais, conforme publicado em IABSE PERIODICA [1982].

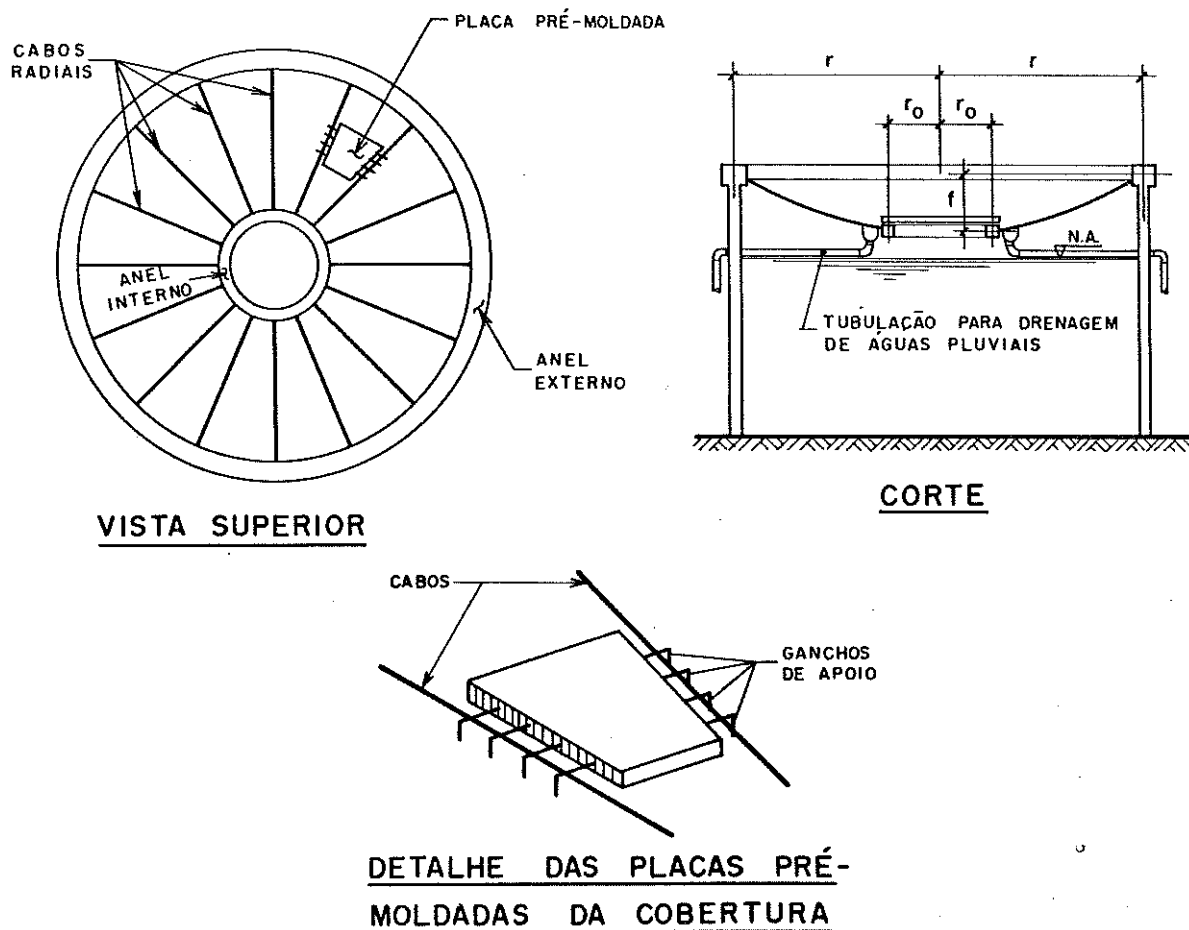


Fig. 1

Coberturas similares à adotada neste trabalho embora com finalidade distinta da proposta encontram-se construídas em Montevideu (Uruguai) descrita em LEONHARDT [1964], em Araraquara (SP) descrita por MARTINELLI [1967], e em Rolândia (PR) descrita e estudada por BARBATO [1975].

1.2 - Conteúdo do trabalho

Após esta breve conceituação da estrutura proposta, descreve-se a seguir o conteúdo do trabalho.

No segundo capítulo estudam-se os cabos da cobertura, submetidos à ação conjunta de cargas distribuídas e concentradas.

A carga distribuída tem intensidade variável e é oriunda do peso próprio das placas, da carga de protensão e de uma carga accidental.

A carga concentrada que atua na extremidade inferior do cabo é oriunda do peso próprio do anel, da carga de protensão aí aplicada e demais apetrechos porventura necessários.

Deduz-se para esse carregamento a equação da curva de equilíbrio do cabo e indicam-se as expressões que permitem determinar o comprimento total do cabo, a tração, a inclinação em pontos genéricos, bem como a obtenção da força horizontal constante H que ocorre no cabo, calculada por um processo de tentativas.

Em seguida apresentam-se expressões para o estudo da deformação do cabo, de fundamental importância para que se defina o meridiano da casca pênsil de cobertura do reservatório.

Não são considerados nesse estudo a variação de temperatura e os deslocamentos dos apoios, vide BARBATO [1975].

Finalizando o capítulo apresentam-se exemplos de aplicação das expressões estudadas.

No terceiro capítulo, estuda-se a casca de revolução com meridiano definido pela equação da curva do cabo e solicitada por carregamentos uniformemente e linearmente distribuídos, com simetria radial.

O carregamento distribuído corresponde à carga de protensão (de baixo para cima) e eventuais cargas acidentais que podem majorar ou minorar os efeitos da carga de protensão.

O carregamento linear também corresponde a uma carga de protensão e a outras cargas acidentais e permanentes que possam se sobrepor a ela.

Deduzem-se as equações para o regime de membrana e analisa-se o regime de flexão com a aproximação da casca esférica equivalente. Para a resolução da casca esférica empregam-se as soluções de GECKELER e GRAVINA, que fornecem expressões para determinar os esforços de flexão gerados nas bordas externa e interna, respectivamente.

No quarto capítulo estuda-se a parede do reservatório, em regimes de membrana e de flexão, admitindo neste caso comportamento de tubo longo.

No quinto capítulo estudam-se as ligações dos componentes da estrutura, que são casca-anel-parede, casca-anel interno e parede-fundo através de equações de compatibilidade de deslocamentos.

No sexto capítulo descreve-se a utilização dos programas desenvolvidos para microcomputador na linguagem Turbo Pascal 5.0, empregando-se a teoria estudada nos capítulos precedentes. O primeiro deles denominado "ARQUIVOS" permite grande facilidade na geração de arquivos de dados, quando pretende-se estudar diversas opções de dimensões e carregamentos da estrutura. O segundo, denominado "RESERVAT" fornece os esforços necessários ao cálculo da estrutura.

Finalizando o capítulo apresentam-se exemplos aplicativos desses programas. Os resultados obtidos podem ser utilizados para cálculo somente da cobertura ou somente de reservatórios cilíndricos, dentro das hipóteses do modelo adotado.

Modificações no modelo estudado poderão ser incluídas no programa, o que é um incentivo à continuidade deste trabalho.

No sétimo e último capítulo são feitas algumas recomendações para o projeto.

CAPÍTULO II

2. ESTUDO DO CABO

Considere-se um elemento de cabo de comprimento ds , sob a ação dos esforços indicados na Fig. 2.1.

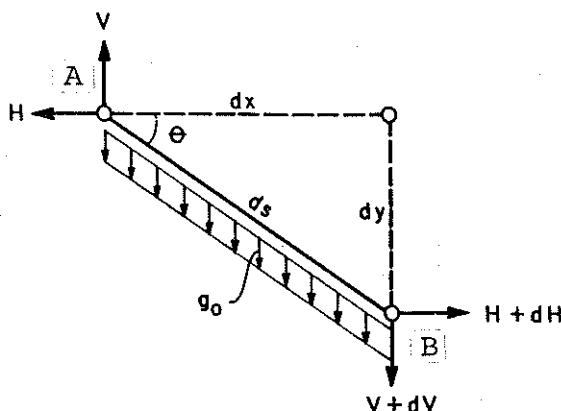


Fig. 2.1

Fazendo-se o equilíbrio de forças verticais e horizontais e tomando-se momento em relação ao ponto B, obtêm-se, após desprezar os infinitésimos de ordem superior:

$$dV + g_0 ds = 0 \quad (2.1)$$

$$dH = 0 \quad (2.2)$$

$$Vdx - Hdy = 0 \quad (2.3)$$

Introduzindo-se o valor de V obtido em (2.3) na equação (2.1), e observando em (2.2) que H é constante e que $ds^2 = dx^2 + dy^2$, obtém-se a equação diferencial

$$y'' = - \frac{g_0}{H} \sqrt{1 + (y')^2} \quad (2.4)$$

cuja integração define a configuração de equilíbrio do cabo solicitado por carregamento vertical distribuído ao longo de seu comprimento.

Quando o carregamento g_0 é constante ao longo do cabo, a integração da equação (2.4) conduz a uma curva denominada catenária.

Na cobertura pênsil de planta circular, o carregamento atuante nos cabos é de intensidade variável $g_0 = g(x)$, conforme Fig. 2.2, o que dificulta sobremaneira a integração de (2.4).

Sendo g o carregamento atuante por unidade de área da cobertura suposto constante, n o número de cabos, dI a área de influência que carrega o cabo na ordenada $(r - x)$, Fig. 2.2, obtém-se a ordenada de carga dQ :

$$dI = \frac{2\pi(r-x)ds}{n} \quad (2.5)$$

$$dQ = dI \cdot g \quad (2.6)$$

sendo

$$g(x) = dQ/ds \quad (2.7)$$

substituindo (2.5) e (2.6) em (2.7) tem-se

$$g(x) = \frac{2\pi(r-x)g}{n} \quad (2.8)$$

Introduzindo-se na equação (2.4) o valor de $g(x)$ dado por (2.8) e fazendo $A = \Pi g/nH$ resulta

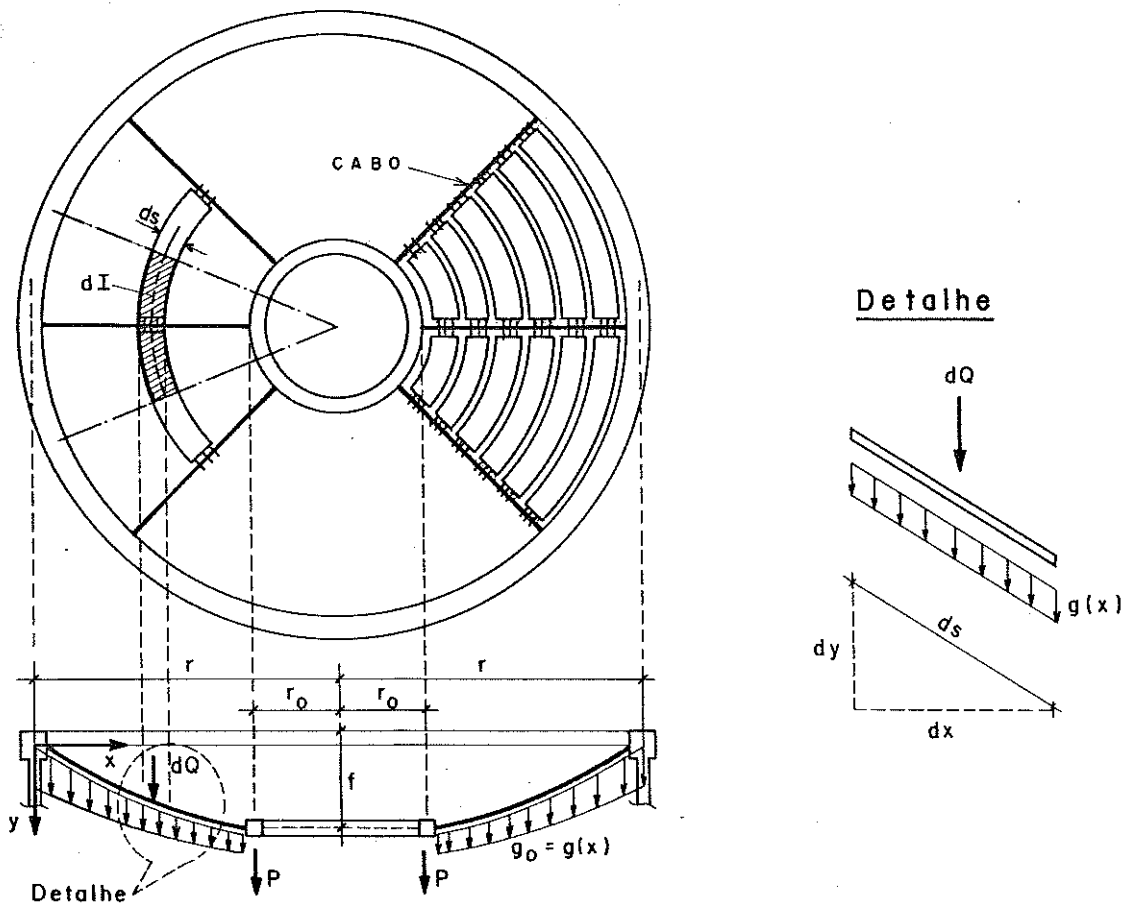


Fig. 2.2

$$y'' = 2A(x-r) \sqrt{1 + (y')^2} \quad (2.9)$$

Esta equação diferencial de segunda ordem se reduz a uma equação diferencial de primeira ordem através de troca de variável fazendo :

$$y' = z \quad (2.10)$$

derivando

$$y'' = dz/dx \quad (2.11)$$

substituindo (2.10) e (2.11) em (2.9)

$$\frac{dz}{dx} = 2A(x-r) \sqrt{1+z^2} \quad (2.12)$$

separando as variáveis

$$\frac{dz}{\sqrt{1+z^2}} = 2A(x-r)dx \quad (2.13)$$

integrando

$$\ln \left(z + \sqrt{1+z^2} \right) = 2A \left(\frac{x^2}{2} - rx \right) + C_1 \quad (2.14)$$

que pode ser escrita como

$$\operatorname{arcsch} z = A(x^2 - 2rx) + C_1 \quad (2.15)$$

Explicitando z e tendo em vista (2.10)

$$y' = \operatorname{Sh}[A(x^2 - 2rx) + C_1] \quad (2.16)$$

que integrada novamente fornece a expressão da curva do cabo

$$y = \int \operatorname{Sh}[A(x^2 - 2rx) + C_1] dx + C_2 \quad (2.17)$$

A integração de (2.17) pode ser feita através do desenvolvimento do seno hiperbólico por Série de Mac Laurin

$$\operatorname{Sh} t = t + \frac{t^3}{3!} + \frac{t^5}{5!} + \frac{t^7}{7!} + \dots \quad (2.18)$$

onde

$$t = A(x^2 - 2rx) + C_1 \quad (2.19)$$

Conforme BARBATO [1975], a adoção dos dois primeiros termos da Série conduz a valores suficientemente precisos para os fins da prática, resultando daí a expressão da curva do cabo

$$\begin{aligned}
 y = & \left(\frac{x^3}{3} - x^2 r \right) A + x C_1 + \left(\frac{x^7}{42} - \frac{x^6 r}{6} \right) A^3 + \\
 & + \left(\frac{x^5}{10} A + \frac{x^3}{6} C_1 \right) (C_1 + 4Ar^2) A - \frac{x^4}{6} (3C_1 + 2Ar^2) r A^2 + \\
 & - \frac{x^2}{2} r C_1^2 A + x \frac{C_1^3}{6} + C_2
 \end{aligned} \tag{2.20}$$

A constante de integração C_1 é determinada em função da inclinação do cabo no ponto de aplicação da carga P , Fig. 2.3

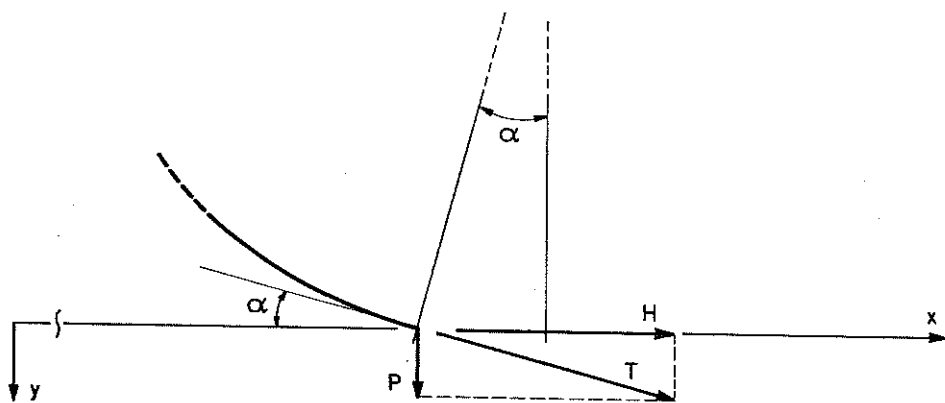


Fig. 2.3

Sendo

$$Y' (x = r - r_0) = \operatorname{tg} \alpha = P/H \tag{2.21}$$

que substituída em (2.16) fornece

$$C_1 = \operatorname{arcsh} (P/H) - A(r_0^2 - r^2) \tag{2.22}$$

A constante C_2 é nula pois para $x = 0$ tem-se $y = 0$ em (2.20).

O cálculo da força horizontal H é feito por tentativas através da equação (2.20) onde se admitem conhecidos o vão $(r-r_0)$ do cabo, a flecha f da cobertura, o carregamento g , o número de cabos n e sabendo-se que para $x = (r-r_0)$, tem-se $y = f$.

Quando o carregamento g estiver uniformemente distribuído na projeção horizontal da cobertura, Fig. 2.4,

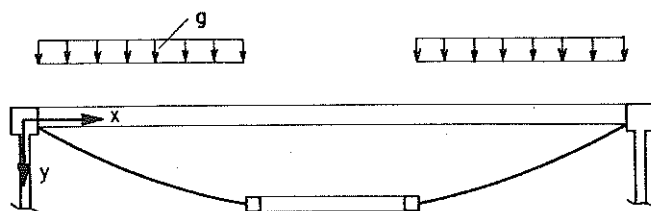


Fig. 2.4

obtem-se a expressão da curva "y" do cabo de forma menos laboriosa e segundo BARBATO [1975], o valor da força H é obtido pela expressão :

$$H = \frac{\pi g}{nf} \left[\frac{(r-r_0)(r+2r_0)}{3} + \frac{nP}{\pi g} \right] (r-r_0) \quad (2.23)$$

O valor de H obtido em (2.23) através do carregamento g uniformemente distribuído na projeção horizontal da cobertura, conforme Fig. 2.4, é obviamente inferior ao valor de H obtido por tentativas através de (2.20) que considera o carregamento g atuante por unidade de área da cobertura, Fig. 2.5.

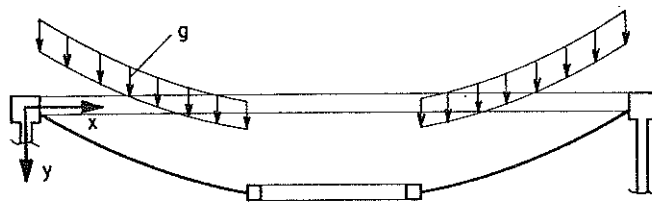


Fig. 2.5

Quando se propõe obter H através de (2.20) como foi feito neste trabalho, torna-se necessário arbitrar um valor da força horizontal para dar início ao processo de tentativas.

Por diminuir sobremaneira o trabalho numérico envolvido na solução, adotou-se como valor inicial de H o dado por (2.23).

Determinada a força horizontal H, outros elementos importantes podem ser obtidos.

Os ângulos de inclinação nos apoios, Fig. 2.6 são calculados através de (2.16).

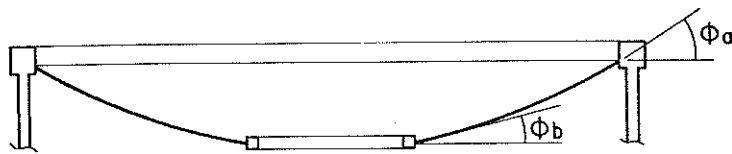


Fig. 2.6

O comprimento do cabo compreendido entre os pontos de suspensão é obtido através da expressão do Cálculo Diferencial, por exemplo veja PISKUNOV [1969]

$$s = \int_0^{r-r_0} \sqrt{1 + (y')^2} dx \quad (2.24)$$

que integrada através da substituição da função hiperbólica por Série de Mac Laurin resulta conforme BARBATO [1975]

$$\begin{aligned} s = b + & \left[\left(\frac{b^5}{10} - \frac{b^4}{2} r \right) A^2 + \frac{b^3}{3} (C_1 + 2Ar^2) A - b^2 \text{Ar} C_1 + \frac{b C_1^2}{2} \right] + \\ & + \left[\left(\frac{b^9}{216} - \frac{b^8 r}{24} \right) A^4 + \left(\frac{b^7 A^2}{42} + \frac{b^3 C_1^2}{18} \right) (C_1 + 6Ar^2) A + \right. \\ & - \left. \left(\frac{b^6}{18} A + \frac{b^4}{12} C_1 \right) (3C_1 + 4Ar^2) Ar^2 + \right. \\ & \left. + \frac{b^5}{60} (3C_1 + 24Ar^2 C_1 + 8A^2 r^4) A^2 - \frac{b^2}{6} \text{Ar} C_1^3 + \frac{b}{24} C_1^4 \right] \quad (2.25) \end{aligned}$$

onde

$$b = (r - r_0) \quad (2.26)$$

A tração em um ponto genérico do cabo é dada por, Fig.

2.7

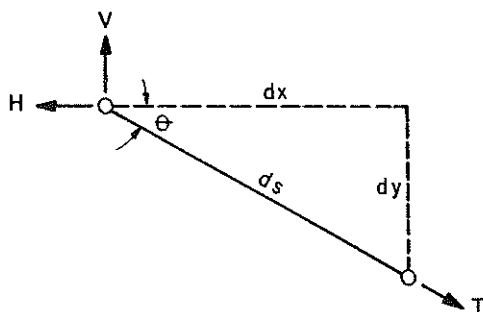


Fig. 2.7

$$T = \frac{H}{\cos\theta} = H \frac{ds}{dx} \quad (2.27)$$

sendo, conforme PISKUNOV [1969]

$$\frac{ds}{dx} = \sqrt{1 + (y')^2} \quad (2.28)$$

resulta

$$T = H \sqrt{1 + (y')^2} \quad (2.29)$$

Para estudar a deformação do cabo sob a ação do carregamento g , considerando apoios não deslocáveis, pode-se calcular nova força horizontal H que atuará no cabo após a deformação através das expressões abaixo, conforme BARBATO [1975]

$$A_0 = \Pi g / nH_0 \quad (2.30)$$

$$C_0 = \text{arcSh}(P/H_0) - A_0 (r_0^2 - r^2) \quad (2.31)$$

$$K = (r-r_0)^4 A_0^2 [(r-r_0)/5 - r] + \frac{2}{3}(r-r_0)^3 A_0 (2A_0 r^2 + C_0) +$$

$$- 2(r-r_0)^2 A_0 r C_0 + (r-r_0) C_0^2 \quad (2.32)$$

$$H^2 [(r-r_0)^2 + K(r-r_0)/2 + \Delta f \cdot f_0 + f_0^2] + H [(r-r_0)(ES_t + H_0)K +$$

$$- (ES_t + H_0)f_0^2 - ES_t \Delta f \cdot f_0] - ES_t H_0 [(r-r_0)K - f_0^2] = 0 \quad (2.33)$$

Nessas expressões, H_0 é a força que ocorre no cabo considerado inextensível para uma flecha inicial f_0 , Δ_r o acréscimo da flecha, E o módulo de elasticidade do aço e S_t a seção transversal dos cabos.

Admitida a configuração de equilíbrio, para calcular H arbitra-se Δf e resolve-se a expressão (2.33). Obtido o valor de H , calcula-se o valor da flecha f mediante o emprego de (2.20) e compara-se com o valor $(f_0 + \Delta f)$.

O ciclo de iterações termina quando a diferença entre f e $(f_0 + \Delta f)$ ficar próxima de um valor aceitável para o projeto.

Conhecendo-se H correspondente à posição final de equilíbrio, determinam-se os demais parâmetros dessa posição através das expressões anteriormente mostradas.

Finalizando o estudo do cabo suspenso e tendo em vista esclarecer possíveis dúvidas, faz-se a seguir, uma aplicação numérica, Fig. 2.8.

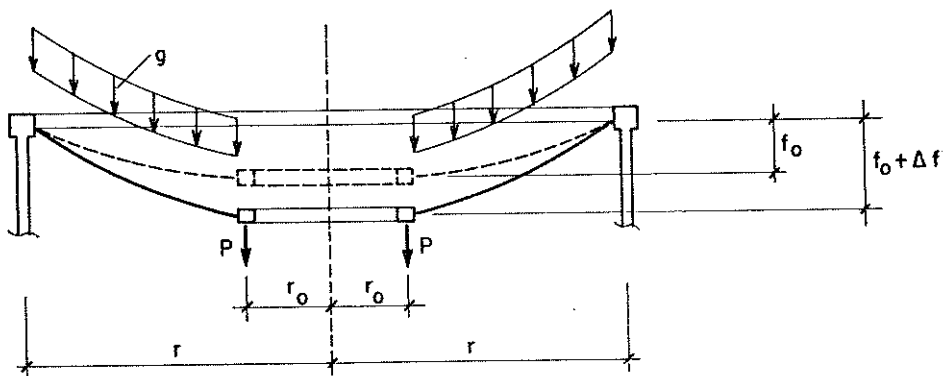


Fig. 2.8

APLICAÇÃO NUMÉRICA

Sendo o raio externo $r = 10,0$ m, o raio interno $r_0 = 1,5$ m, o número de cabos $n = 70$, a carga distribuída $g = 1650$ N/m², a carga concentrada $P = 540$ N e a flecha $f = 1,5$ m, de acordo com (2.23), que considera o carregamento da Fig. 2.4, obtem-se para o cabo inextensível

$$H = 18.516,262 \text{ N}$$

O cálculo de H considerando o carregamento da Fig. 2.5 é então feito por tentativas, arbitrando-se para dar início ao processo o valor acima e obtendo a flecha através de (2.20) até que a mesma aproxime ou iguale-se ao valor fixado de 1,5 m, conforme Tabela 1 :

H (N)	Flecha (m)
18.516,262	1.5187
18.600,000	1.5116
18.700,000	1,5034
18.740,000	1,5001
18.741,590	1.5000

Tabela 1

Com $H = 18.741,590$ N e com as expressões (2.16), (2.25) e (2.29) obtêm-se

$$\phi_a = 23,12^\circ$$

$$\phi_b = 1,65^\circ$$

$$s = 8,68 \text{ m}$$

$$T_{(x = 0,0)} = 20.378,325 \text{ N}$$

$$T_{(x = 8,5)} = 18.749,368 \text{ N}$$

Considerando módulo de elasticidade $2,1 \cdot 10^{11}$ N/m² e seção transversal $2,52 \cdot 10^{-5}$ m², analisa-se em seguida a deformação do cabo a partir dessa configuração de equilíbrio, arbitrando-se valores para Δf e resolvendo (2.33) e (2.20) com $H_0 = 18.741,59$ N e $f_0 = 1,50$ m, conforme Tabela 2 abaixo :

Δf (m)	H (N)	f (m)	$(f_0 + \Delta f)$
0,2000	19.181,3740	1,4648	1,7000
0,1800	18.685,5178	1,5046	1,6800
0,1224	17.362,4059	1,6224	1,6224

Tabela 2

Pode-se interromper o ciclo de iterações tendo em vista que a diferença entre f e $(f_0 + \Delta f)$ está na quinta casa decimal.

Esses cálculos podem ser automatizados com a programação em microcomputador, adotando-se inicialmente um valor para Δf da ordem de $f_0/20$ por exemplo e resolvendo de forma aproximada por bissecção a equação :

$$y(H, r - r_0) - (f_0 + \Delta f) = 0 \quad (2.34)$$

Note-se que a posição final do cabo após a deformação será considerada como o meridiano da casca de cobertura do reservatório.

Para definir esse meridiano, pode-se fixar como critério de projeto a adoção de uma flecha desejável para a estrutura, calculando-se uma flecha para montagem da cobertura tal que ocorridas as deformações se tenha uma flecha final bastante próxima da desejável.

Para esse procedimento o carregamento atuante g é o peso próprio das placas mais a carga de protensão.

No exemplo dado se a flecha desejável fosse 1,62 m deveria-se montar a estrutura com uma flecha de 1,50 m.

Determina-se a seguir a flecha de montagem para que se atinja uma flecha desejável de 1,90 m, cujo roteiro é o seguinte :

- Adota-se a flecha de montagem f_0
 - Calcula-se a força horizontal H_0 atuante no cabo considerado inextensível seguindo o procedimento exemplificado na Tabela 1.

- Calcula-se a força horizontal H atuante no cabo considerando a deformação seguindo o procedimento exemplificado na Tabela 2.

O resumo dos valores obtidos constam da Tabela 3.

Flecha de montagem f_0 (m)	H_0 (N)	H (N)	Flecha final f (m)
1,520	18.500,815	17.183,091	1,6397
1,600	17.598,571	16.495,190	1,7102
1,700	16.591,561	15.697,506	1,8000
1,800	15.697,863	14.965,455	1,8913
1,810	15.614,001	14.895,449	1,9005

Tabela 3

A estrutura deverá ser montada com a flecha de 1,810 m.

A rápida convergência desse processo de tentativas depende fundamentalmente da flecha escolhida inicial f_0 de montagem adotada, que se escolhida convenientemente, diminuirá sobremaneira os cálculos numéricos necessários.

Para automação do processo de cálculo via computador, pode-se admitir uma flecha de montagem com 80% do valor da flecha desejável, dando um pequeno acréscimo nesse valor, por exemplo de 1%, até que se obtenha a flecha final próxima da desejável.

CAPÍTULO III

3. ESTUDO DA CASCA PÊNSEL DE COBERTURA

3.1 - Esforços de membrana

Considere-se uma membrana de revolução solicitada por carregamento com simetria de revolução.

Nessas condições, um elemento de membrana, Fig. 3.1, é mantido em equilíbrio somente por esforços normais N_ϕ e N_θ .

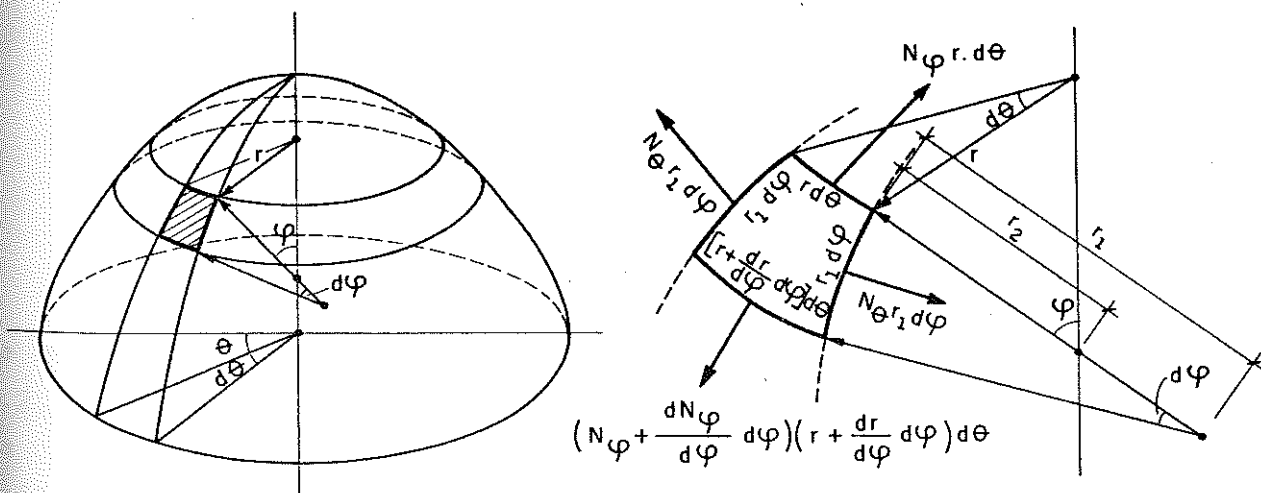


Fig. 3.1

O equilíbrio do elemento segundo a direção da tangente ao meridiano (ϕ) e segundo a direção da normal (z) ao elemento considerado, fornecem as equações

$$\frac{d}{d\phi} (N_{\phi} r) - N_{\theta} r_1 \cos\phi + p_{\phi} r r_1 = 0 \quad (3.1)$$

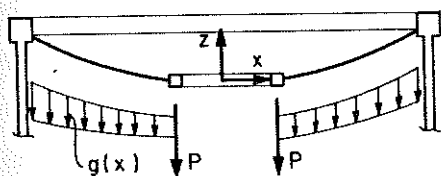
$$N_{\phi} r + N_{\theta} r_1 \sin\phi + p_z r r_1 = 0 \quad (3.2)$$

Nessas equações p_{ϕ} e p_z são as componentes da carga externa segundo as direções ϕ e z .

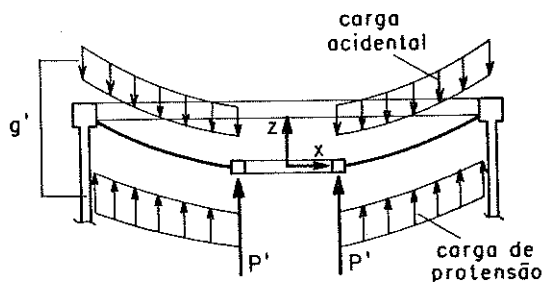
As equações (3.1) e (3.2) permitem determinar N_{ϕ} e N_{θ} . Explicitando N_{θ} de (3.2) e substituindo-a em (3.1) resulta após integrar

$$N_{\phi} = - \frac{1}{r_2 \sin^2\phi} \left[\int r_1 r_2 (p_z \cos\phi + p_{\phi} \sin\phi) \sin\phi d\phi - C \right] \quad (3.3)$$

$$N_{\theta} = - p_z r_2 + \frac{1}{r_1 \sin^2\phi} \left[\int r_1 r_2 (p_z \cos\phi + p_{\phi} \sin\phi) \sin\phi d\phi - C \right] \quad (3.4)$$



Cargas atuantes no cabo



Cargas atuantes na casca

Fig. 3.2

Escrevendo a equação do meridiano da casca (configuração de equilíbrio do cabo) em relação ao par de eixos (x, z) da Fig. 3.2, sendo g' = carga de protensão (sinal positivo quando aplicada de baixo para cima), menos a carga acidental na casca, uniformemente distribuída sobre a superfície de membrana, P' o carregamento linearmente distribuído na borda interna (sinal positivo se aplicado de baixo para cima) e introduzindo os

resultados das expressões obtidas nas (3.3) e (3.4), obtêm-se conforme BARBATO [1975] os esforços de membrana a seguir

$$N_{\phi} = \frac{K}{x \operatorname{Th}(Ax^2 + C_1)} \quad (3.5)$$

$$N_{\theta} = - \frac{x}{\operatorname{Sh}(Ax^2 + C_1)} \left[g' - \frac{2AK}{\operatorname{Sh}(Ax^2 + C_1)} \right] \quad (3.6)$$

Obtidas as expressões para cálculo de N_{ϕ} e N_{θ} , o deslocamento horizontal dos pontos de membrana pode ser calculado conforme BELLUZZI [1970] por

$$\xi = \frac{r}{E_c h} (N_{\theta} - \nu N_{\phi}) \quad (3.7)$$

onde E_c é o módulo de deformação do concreto e h é a espessura da membrana.

Tendo em vista as (3.5) e (3.6), resulta

$$\xi = \frac{x}{E_c h \operatorname{Sh}(Ax^2 + C_1)} \left(-g'x + K \left[\frac{2Ax}{\operatorname{Sh}(Ax^2 - C_1)} + \frac{\nu}{x} \operatorname{Ch}(Ax^2 + C_1) \right] \right) \quad (3.8)$$

onde

$$K = \frac{g'}{4} \left[\frac{(x^6 - r_0^6)}{3} A^2 + (x^4 - r_0^4) AC_1 + (x^2 - r_0^2)(2 + C_1^2) \right] + P'r_0 \quad (3.9)$$

$$A = \Pi g / nH \quad (3.10)$$

$$C_1 = \operatorname{arcSh}(P/H) - Ar_0^2 \quad (3.11)$$

A convenção de sinais é a mostrada na Fig. 3.3 onde os deslocamentos ξ indicados e os esforços de tração são considerados positivos.

As expressões (3.5), (3.6) e (3.8) são de fundamental importância para o estudo do regime de membrana da casca.

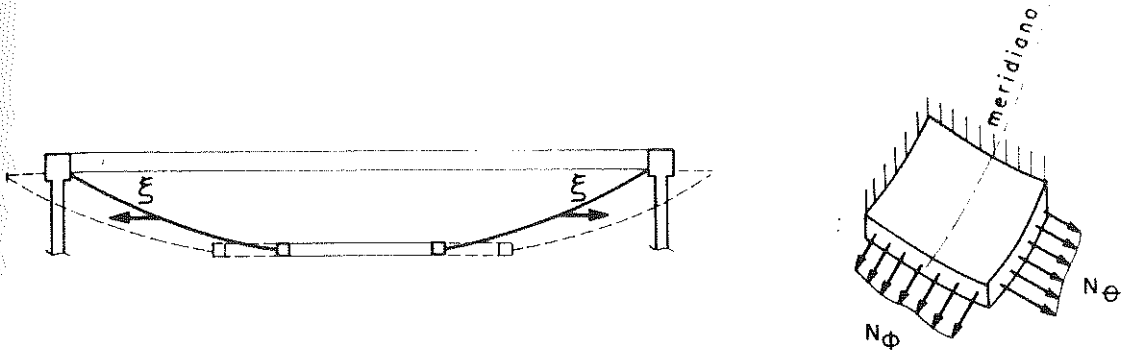


Fig. 3.3

3.2 - Esforços de flexão

No estudo das cascas de revolução submetidas a carga com simetria radial é preferível, conforme BELLUZZI [1970], deduzir um sistema de duas equações diferenciais de segunda ordem que contenha as funções cortante e rotação da tangente ao meridiano.

Do cálculo sabe-se que a solução geral de uma equação diferencial é igual à soma da solução particular mais a solução do sistema homogêneo.

A solução particular depende da carga aplicada e é aproximadamente igual à solução de membrana vista no item 3.1.

A solução do sistema homogêneo que fornece os esforços e os deslocamentos gerados pelos vínculos, é complexa por tratar-se de casca com meridiano definido pela equação da curva do cabo, por isso o regime de flexão da casca pênsil é analisado mediante o artifício de se substituir a casca real por uma casca esférica equivalente, Fig. 3.4.

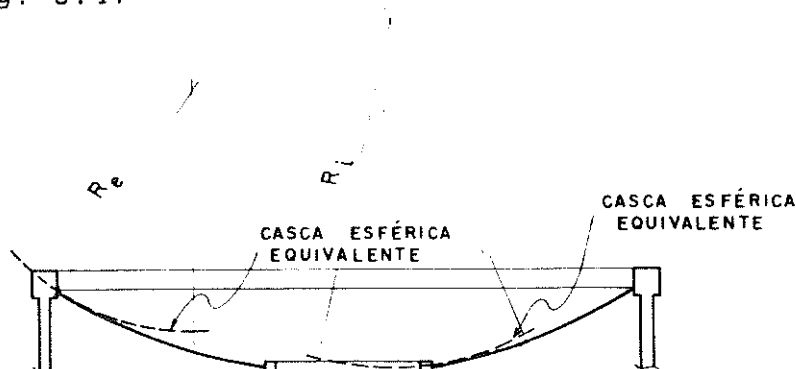


Fig. 3.4

Para a casca esférica equivalente da borda externa pode-se utilizar a solução aproximada do sistema homogêneo obtida por GECKELER para cascas não muito abatidas como é o caso estudado, que fornece conforme BELLUZZI [1970], Fig. 3.5, as expressões :

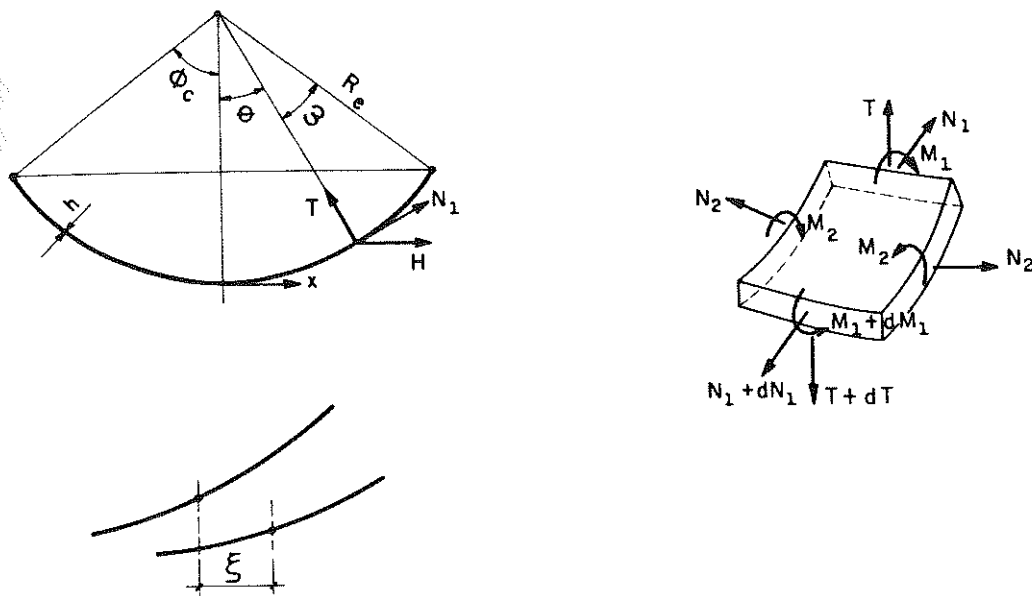


Fig. 3.5

$$T = -C e^{-\gamma\omega} \text{sen}(\gamma\omega + \psi) \quad (3.12)$$

$$N_1 = \cotg\theta C e^{-\gamma\omega} \text{sen}(\gamma\omega + \psi) \quad (3.13)$$

$$H = (1/\text{sen}\theta) C e^{-\gamma\omega} \text{sen}(\gamma\omega + \psi) \quad (3.14)$$

$$N_2 = \sqrt{2} \gamma C e^{-\gamma\omega} \text{sen}(\gamma\omega + \psi - \pi/4) \quad (3.15)$$

$$M_1 = (R_e/\sqrt{2}\gamma) C e^{-\gamma\omega} \text{sen}(\gamma\omega + \psi - 3\pi/4) \quad (3.16)$$

$$M_2 = (R_e/2\gamma^2) C e^{-\gamma w} [\cotg\theta \operatorname{sen}(\gamma w + \psi - \pi/2 + \\ + \nu\sqrt{2}\gamma \operatorname{sen}(\gamma w + \psi - 3\pi/4)] \quad (3.17)$$

$$\xi = (\sqrt{2}\gamma R_e/E_c h) \operatorname{sen}\theta C e^{-\gamma w} \operatorname{sen}(\gamma w + \psi - \pi/4) \quad (3.18)$$

As grandezas T , N_1 , H , M_1 são os esforços segundo o meridiano, N_2 , M_2 segundo o paralelo, ξ é o deslocamento horizontal, ν é o coeficiente de Poisson e h a espessura da casca.

Nessas expressões tem-se :

$$\gamma = \sqrt[4]{3(1-\nu^2)} \sqrt{R_e/h} \quad (3.19)$$

$$\theta = \operatorname{arcsen}(x/R_e) \quad (3.20)$$

$$\omega = \phi_c - \theta \quad (3.21)$$

O raio R_e , Fig. 3.6, é dado por

$$R_e = \frac{r}{\operatorname{sen}\phi_c} \quad (3.22)$$

onde

$$\operatorname{sen}\phi_c = \frac{\operatorname{tg}\phi_c}{\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\phi_c}} = \frac{\operatorname{Sh}(Ar_0^2+C_1)}{\sqrt{1+[\operatorname{Sh}(Ar_0^2+C_1)]^2}} \quad (3.23)$$

e como se sabe, C_1 e A valem

$$C_1 = \operatorname{arc}\operatorname{Sh}(P/H) - Ar_0^2 \quad (3.24)$$

$$A = \Pi g/nH \quad (3.25)$$

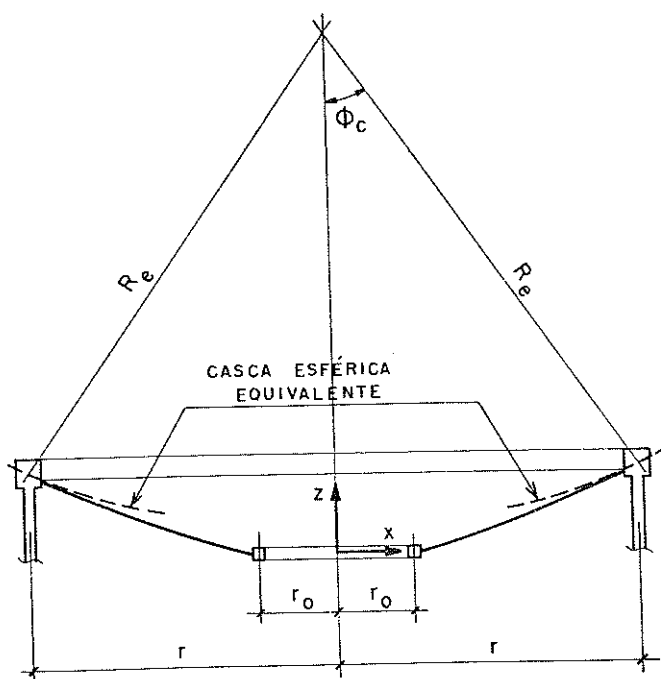


Fig. 3.6

As constantes C e ψ são determinadas em função das condições de contorno.

No caso considerado de casca articulada na borda são conhecidos $M_1 = 0$ e $H = H_{1a}$ = força de ligação entre a casca e o anel externo.

Fazendo $H = H_{1a}$ e $M_1 = 0$ nas (3.14) e (3.16) obtêm-se

$$\psi = 3\pi/4 \quad (3.26)$$

$$C = \frac{H_{1a} \operatorname{sen}\theta_c}{\operatorname{sen}(3\pi/4)} \quad (3.27)$$

que substituídas nas (3.12) a (3.18) fornecem as equações para o estudo da casca articulada na borda.

Tem particular interesse o deslocamento da casca quando nela se aplica um esforço $H = 1$ (coeficiente elástico da borda), Fig. 3.7.

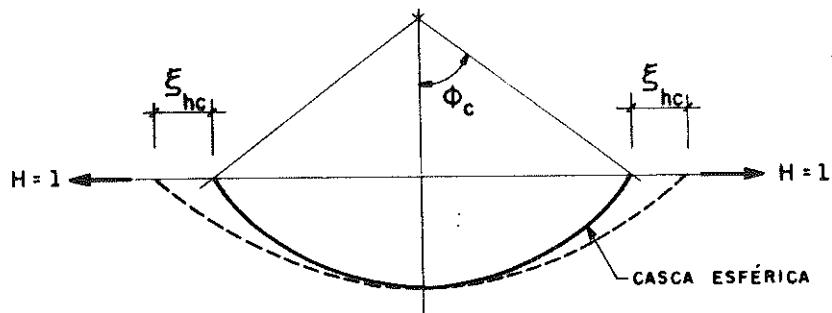


Fig. 3.7

Assim, da equação (3.18) resulta

$$\xi_{hc} = \frac{2\alpha}{\beta} \text{sen}^2 \phi_c \quad (3.28)$$

onde

$$\beta = E_c h / R_e^2 \quad (3.29)$$

$$\alpha = \sqrt[4]{3(1-\nu^2)} / \sqrt{R_e h} \quad (3.30)$$

Para a borda interna, a casca esférica equivalente torna-se bem abatida, o que invalida a solução aproximada de GECKELER. Utiliza-se então a solução de GRAVINA [1957], que fornece para os esforços e deslocamentos as seguintes expressões, Fig. 3.8 :

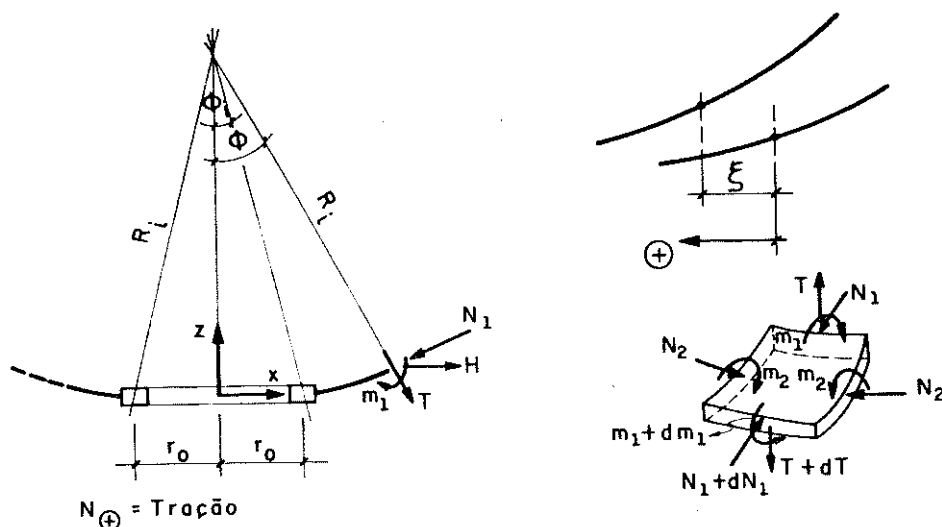


Fig. 3.8

$$T = \frac{1}{R_i} (CZ'_3 + DZ'_4) \quad (3.31)$$

$$N_1 = -\frac{1}{R_i \phi} (CZ'_3 + DZ'_4) \quad (3.32)$$

$$H = \frac{1}{R_i \phi} (CZ'_3 + DZ'_4) \quad (3.33)$$

$$N_2 = -\frac{u}{R_i} [C(Z_4 - Z'_3/t) + D(-Z_3 - Z'_4/t)] \quad (3.34)$$

$$M_1 = \frac{(hu)^2}{12R_i^2(1-\nu^2)\phi} \left\{ C[tZ_3 + (1-\nu)Z'_4] + D[tZ_4 - (1-\nu)Z'_3] \right\} \quad (3.35)$$

$$M_2 = \frac{(hu)^2}{12R_i^2(1-\nu^2)\phi} \left\{ C[\nu tZ_3 + (\nu-1)Z'_4] + D[\nu tZ_4 - (\nu-1)Z'_3] \right\} \quad (3.36)$$

$$\xi = \frac{1}{E_c h} \left\{ C[-tZ_4 + (1+\nu)Z'_3] + D[tZ_3 + (1-\nu)Z'_4] \right\} \quad (3.37)$$

As grandezas T , N_1 , H , M_1 são os esforços segundo o meridiano, N_2 , M_2 segundo o paralelo, ξ é o deslocamento horizontal, ν é o coeficiente de Poisson e h a espessura da casca.

Nessas expressões tem-se :

$$\phi = \arcsen(x/R_i) \quad (3.38)$$

$$u = \sqrt[4]{12(1-\nu^2)} \sqrt{R_i/h} \quad (3.39)$$

$$t = \phi u \quad (3.40)$$

$$C' = 1,781072418 \quad (3.41)$$

O raio R_i , Fig. 3.10 é dado por

$$R_i = \frac{r_0}{\text{sen}\phi_i} \quad (3.42)$$

onde

$$\operatorname{sen}\phi_i = \frac{\operatorname{tg}\phi_i}{\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\phi_i}} = \frac{\operatorname{Sh}(\operatorname{Ar}_0^2 + C_1)}{\sqrt{1 + [\operatorname{Sh}(\operatorname{Ar}_0^2 + C_1)]^2}} \quad (3.43)$$

e como se sabe, C_1 e A valem

$$C_1 = \operatorname{arcSh}(P/H) - \operatorname{Ar}_0^2 \quad (3.44)$$

$$A = \Pi g/nH \quad (3.45)$$

As variáveis Z_3 , Z_4 , Z'_3 e Z'_4 são dadas por

$$Z_3 = -\frac{2}{\Pi} \left\{ -\ln(C't/2) \operatorname{Beit} - \frac{\Pi}{4} \operatorname{Bert} + \operatorname{Comp1} \right\} \quad (3.46)$$

$$Z_4 = -\frac{2}{\Pi} \left\{ -\ln(C't/2) \operatorname{Bert} + \frac{\Pi}{4} \operatorname{Beit} + \operatorname{Comp2} \right\} \quad (3.47)$$

$$Z'_3 = -\frac{2}{\Pi} \left\{ -\frac{\operatorname{Beit}}{t} - \ln(C't/2) \operatorname{Comp3} - \frac{\Pi}{4} \operatorname{Comp4} + \operatorname{Comp5} \right\} \quad (3.48)$$

$$Z'_4 = -\frac{2}{\Pi} \left\{ -\frac{\operatorname{Bert}}{t} - \ln(C't/2) \operatorname{Comp4} + \frac{\Pi}{4} \operatorname{Comp3} + \operatorname{Comp6} \right\} \quad (3.49)$$

onde

$$\operatorname{Bert} = 1 - \frac{t^4}{(2.4)^2} + \frac{t^8}{(2.4.6.8)^2} - \frac{t^{12}}{(2.4.6.8.10.12)^2} + \dots \quad (3.50)$$

$$\operatorname{Beit} = \frac{t^2}{2^2} - \frac{t^6}{(2.4.6)^2} + \frac{t^{10}}{(2.4.6.8.10)^2} - \frac{t^{14}}{(2.4.6.8.10.12.14)^2} + \dots \quad (3.51)$$

$$\operatorname{Comp1} = (t/2)^2 - \frac{(1+1/2+1/3)(t/2)^6}{(3!)^2} + \frac{(1+\dots+1/5)(t/2)^{10}}{(5!)^2} - \dots \quad (3.52)$$

$$\text{Comp2} = - \frac{(1+1/2)(t/2)^4}{(2!)^2} + \frac{(1+\dots 1/4)(t/2)^8}{(4!)^2} - \dots \quad (3.53)$$

$$\text{Comp3} = (t/2) - \frac{6t^5}{(2.4.6)^2} + \frac{10t^9}{(2.4.6.8.10)^2} - \dots \quad (3.54)$$

$$\text{Comp4} = - \frac{4t^3}{(2.4)^2} + \frac{8t^7}{(2.4.6.8)^2} - \dots \quad (3.55)$$

$$\text{Comp5} = (t/2) - \frac{3(1+1/2+1/3)(t/2)^5}{(3!)^2} + \dots \quad (3.56)$$

$$\text{Comp6} = - \frac{2(1+1/2)(t/2)^3}{(2!)^2} + \frac{4(1+\dots 1/4)(t/2)^7}{(4!)^2} - \dots \quad (3.57)$$

As constantes C e D são determinadas em função das condições de contorno.

No caso de casca articulada na borda, são conhecidos $M_1 = 0$ e $H = H_c =$ força de ligação entre a casca e o anel interno, que substituídos em (3.32) e (3.34) fornecem as referidas constantes.

Tem particular interesse o deslocamento da casca quando nela se aplica um esforço $H = 1$ (coeficiente elástico da borda), Fig. 3.9.

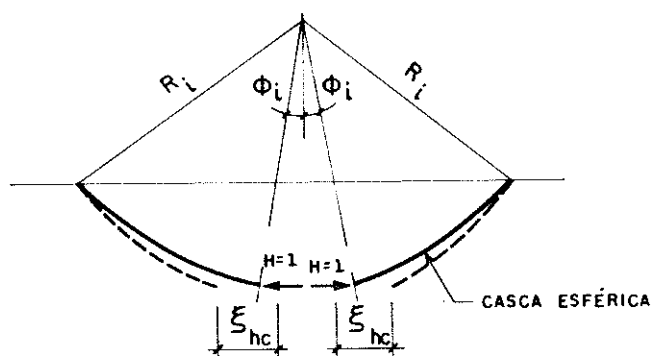


Fig. 3.9

Fazendo $H = 1$ e $M_1 = 0$ nas (3.32) e (3.34) obtêm-se conforme BARBATO [1975]

$$C = R_i \phi_i \frac{(1-\nu)Z_3' - tZ_4}{(1-\nu)(Z_3'^2 + Z_4'^2) + t(Z_3 Z_4' - Z_3' Z_4)} \quad (3.58)$$

$$D = R_i \phi_i \frac{(1-\nu)Z_4' - tZ_3}{(1-\nu)(Z_3'^2 + Z_4'^2) + t(Z_3 Z_4' - Z_3' Z_4)} \quad (3.59)$$

que substituídas em (3.36) resulta

$$\xi_{hc} = \frac{R_i \phi_i}{Eh} \frac{t^2(Z_3^2 + Z_4^2) - 2t(Z_3' Z_4 - Z_3 Z_4') + (1-\nu)^2(Z_3'^2 + Z_4'^2)}{(1-\nu)(Z_3'^2 + Z_4'^2) + t(Z_3 Z_4' - Z_3' Z_4)} \quad (3.60)$$

No programa desenvolvido optou-se por resolver o sistema dado por (3.32) e (3.34) numericamente.

CAPÍTULO IV

4. ESTUDO DA PAREDE CILÍNDRICA DO RESERVATÓRIO

4.1 - Equação da linha elástica da geratriz

O estudo da parede do reservatório pode ser feito utilizando teorias elementares que consideram variação linear de tensões na espessura, que é pequena em relação às outras dimensões.

Conforme TIMOSHENKO [1970], a equação diferencial da elástica da geratriz é

$$B \frac{dw^4}{dx^2} + \beta w = p \quad (4.1)$$

onde

$$B = \frac{E_c s^3}{12(1-\nu^2)} \quad (4.2)$$

$$\beta = \frac{E_c s}{r^2} \quad (4.3)$$

Nas expressões (4.1) a (4.3), p é a ação externa, B e β são constantes que caracterizam a geometria e o material da parede a saber, E_c é o módulo de deformação do concreto, s a espessura da parede, ν é o coeficiente de Poisson e r o raio do cilindro.

A solução geral da equação (4.1) é

$$w = f(x) + e^{\alpha x}(C_1 \operatorname{sen} \alpha x + C_2 \operatorname{cos} \alpha x) + e^{-\alpha x}(C_3 \operatorname{sen} \alpha x + C_4 \operatorname{cos} \alpha x) \quad (4.4)$$

4.2 - Esforços de membrana

Os deslocamentos de membrana e os esforços para um tubo de espessura constante e cheio de líquido de peso específico γ , Fig. 4.1, são dados por

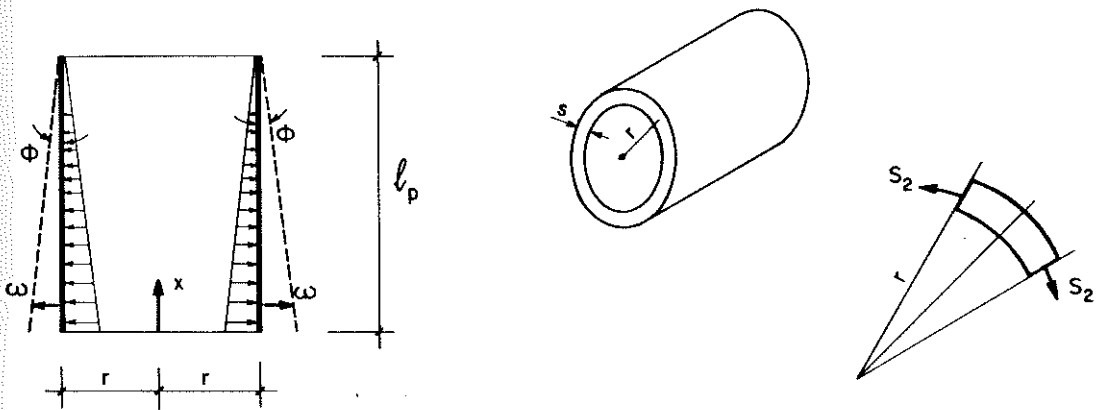


Fig. 4.1

$$w = \frac{\gamma r^2 (l_p - x)}{E_c s} \quad (4.5)$$

$$\phi = \frac{\gamma r^2}{E_c s} \quad (4.6)$$

$$S_2 = \gamma r (l_p - x) \quad (4.7)$$

sendo w o deslocamento da geratriz, solução particular $f(x)$ de (4.4), ϕ a rotação da geratriz, S_2 o esforço de tração segundo o paralelo, E_c o módulo de deformação do material e s a espessura da parede.

4.3 - Esforços de flexão

Os esforços e deslocamentos de flexão gerados por forças e momentos radiais uniformemente distribuídos atuando ao longo das bordas, Fig. 4.2, para tubos não muito curtos, são dados segundo BELLUZZI [1970] e outros, por

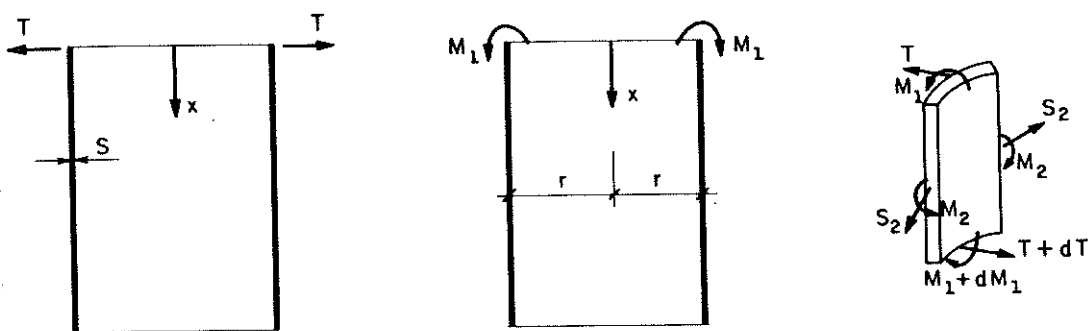


Fig. 4.2

$$T = -2\sqrt{2}\alpha^3 B C e^{-\alpha x} \text{sen}(\alpha x + \psi - 3\pi/4) \quad (4.8)$$

$$S_2 = \frac{E_c s}{r} C e^{-\alpha x} \text{sen}(\alpha x + \psi) \quad (4.9)$$

$$M_1 = 2\alpha^2 B C e^{-\alpha x} \text{sen}(\alpha x + \psi - \pi/2) \quad (4.10)$$

$$M_2 = 2\nu\alpha^2 B C e^{-\alpha x} \text{sen}(\alpha x + \psi - \pi/2) \quad (4.11)$$

$$w = C e^{-\alpha x} \text{sen}(\alpha x + \psi) \quad (4.12)$$

$$\phi = \sqrt{2}\alpha C e^{-\alpha x} \text{sen}(\alpha x + \psi - \pi/4) \quad (4.13)$$

onde

$$B = E_c s^3 / 12(1-\nu^2) \quad (4.14)$$

$$\beta = E_c s / r^2 \quad (4.15)$$

$$\alpha = \sqrt[4]{\beta / 4B} \quad (4.16)$$

As grandezas T , M_1 são os esforços segundo o meridiano, S_2 , M_2 segundo o paralelo, w é o deslocamento da geratriz, ϕ a rotação da geratriz, ν é o coeficiente de Poisson e s a espessura do tubo.

As constantes C e ψ são determinadas em função das condições de contorno.

No caso considerado são conhecidos T e M_1 , esforços de ligação entre a parede e o anel externo, cuja substituição em (4.9) e (4.10) resulta em três possibilidades para a determinação de C e ψ :

Para $T \neq 0$ e $M_1 = 0$ têm-se

$$\psi = \pi/2 \quad (4.17)$$

$$C = T/2\alpha^3 B \quad (4.18)$$

Para $T = 0$ e $M_1 \neq 0$, têm-se

$$\psi = 3\pi/4 \quad (4.19)$$

$$C = M_1 / 2\alpha^2 B \text{ sen}(\pi/4) \quad (4.20)$$

Para $T \neq 0$ e $M_1 \neq 0$, têm-se

$$\psi = \text{arctg}[-(T + \alpha M_1) / \alpha M_1] \quad (4.21)$$

$$C = M_1 / 2\alpha^2 B \text{ sen}(\psi - \pi/2) \quad (4.22)$$

Tem particular interesse o deslocamento e a rotação do tubo quando nele se aplicam esforços unitários $T = 1$ e $M_1 = 1$ (coeficientes elásticos da parede), Fig. 4.3.

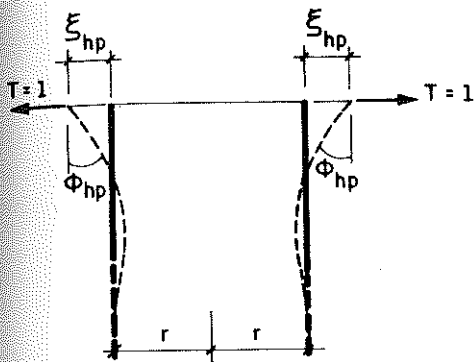


Fig. 4.3.1

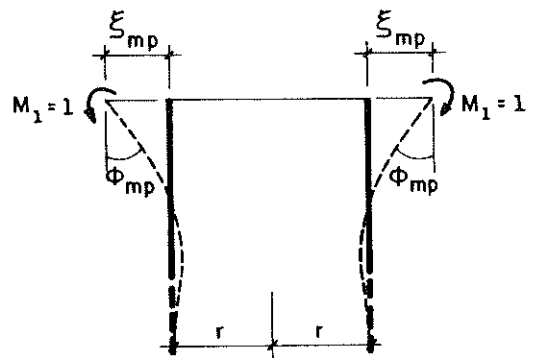


Fig. 4.3.2

Fig. 4.3

Fazendo $T = 1$ e $M_1 = 0$, Fig. 4.3.1, tendo em vista as (4.17) e (4.18), obtêm-se das equações (4.12) e (4.13)

$$\xi_{hp} = 1/2\alpha^3 B \quad (4.23)$$

$$\phi_{hp} = 1/2\alpha^2 B \quad (4.24)$$

Fazendo $T = 0$ e $M_1 = 1$, Fig. 4.3.2, tendo em vista as (4.19) e (4.20), obtêm-se das equações (4.12) e (4.13), respectivamente

$$\xi_{mp} = \phi_{hp} = 1/2\alpha^2 B \quad (4.25)$$

$$\phi_{mp} = 1/\alpha B = 4\alpha^3/\beta \quad (4.26)$$

CAPÍTULO V

5. ESTUDO DO RESERVATÓRIO

5.1 - Estudo da Ligação Casca-Anel-Parede

Para determinar os esforços que surgem na ligação casca-anel-parede, escrevem-se as equações de compatibilidade de deslocamentos desses elementos.

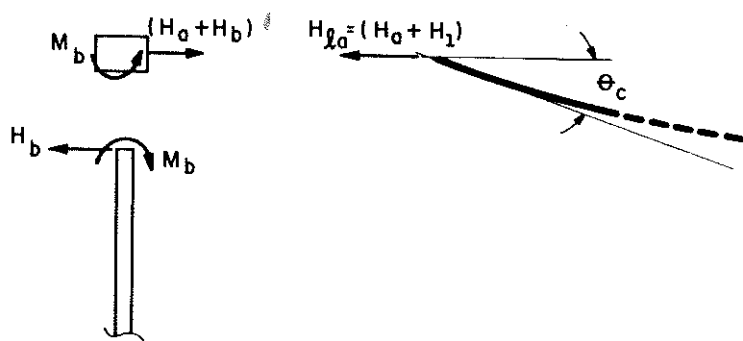


Fig. 5.1

Essas equações, Fig. 5.1 são

$$\xi + \xi_{hc}(H_a + H_1) = -\xi_{ha}(H_a + H_b) \quad (5.1)$$

$$\xi_{hp} H_b - \xi_{mp} M_b = - \xi_{ha} (H_a + H_b) \quad (5.2)$$

$$-\phi_{hp} H_b + \phi_{mp} M_b = - \phi_{ma} M_b \quad (5.3)$$

onde ξ , ξ_{hc} , ξ_{hp} , ξ_{mp} , ϕ_{hp} e ϕ_{mp} são dados respectivamente por (3.8), (3.28), (4.23), (4.25), (4.24), (4.26).

ξ_{ha} e ϕ_{ma} são os coeficientes elásticos do anel externo, veja-se por exemplo BELLUZZI [1973], dados por

$$\xi_{ha} = r^2/E_c A \quad (5.4)$$

$$\phi_{ma} = r^2/E_c I \quad (5.5)$$

onde E_c é o módulo de deformação, sendo A a área transversal e I o momento de inércia do anel.

O esforço horizontal H_1 é dado por

$$H_1 = N_\phi \cos \theta_c \quad (5.6)$$

onde N_ϕ é o esforço normal de membrana, dado por (3.5).

Resolvido o sistema formado pelas equações (5.1), (5.2) e (5.3), obtêm-se os esforços H_a , H_b e M_b que surgem na ligação considerada, que por sua vez são utilizados para estudar o regime de flexão da casca e da parede.

5.2 - Estudo da ligação casca-anel interno

Para determinar os esforços que surgem na ligação casca-anel interno, escreve-se a equação de compatibilidade de deslocamento desses elementos.

Essa equação, Fig. 5.2 é

$$\xi + H_1 \xi_{hc} - H_c \xi_{hc} = H_c \xi_{ha} \quad (5.7)$$

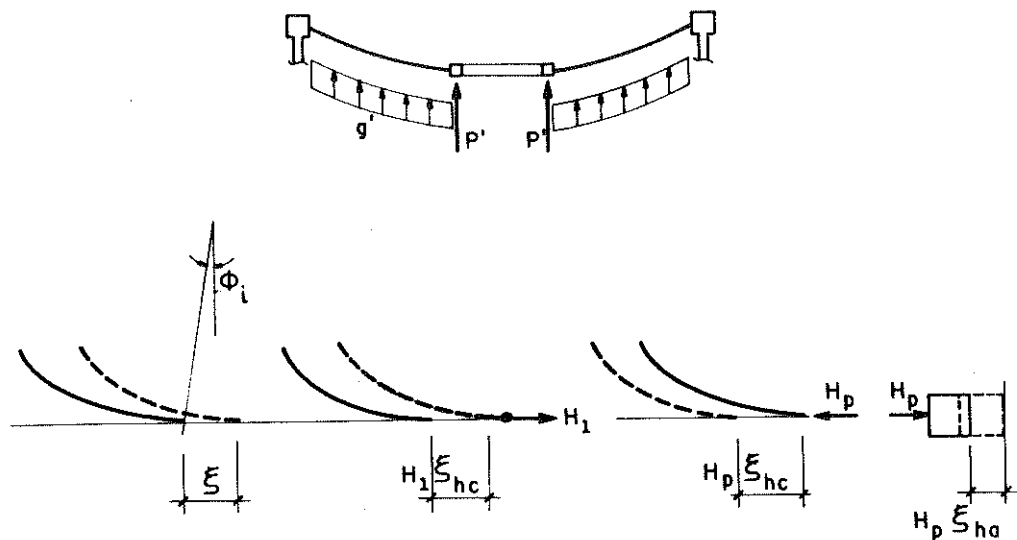


Fig. 5.2

Explicitando H_c obtem-se

$$H_c = \frac{\xi + H_1 \xi_{hc}}{\xi_{hc} + \xi_{ha}} \quad (5.8)$$

onde ξ e ξ_{hc} são dados respectivamente por (3.8), (3.60).

ξ_{ha} é o coeficiente elástico do anel interno, dado a exemplo de (5.4) por

$$\xi_{ha} = r_0^2 / E_c A \quad (5.9)$$

onde E_c é o módulo de deformação do concreto e A a área transversal.

O esforço horizontal H_1 é dado por

$$H_1 = N_\phi \cos \phi_i \quad (5.10)$$

onde N_ϕ é o esforço normal de membrana, dado por (3.5).

Obtido o esforço H_c que surge na ligação considerada, ele é utilizado para estudar o regime de flexão da casca em sua borda interna.

5.3 - Estudo da ligação parede-fundo

Para determinar os esforços que surgem na ligação parede-fundo do reservatório, escrevem-se as equações de compatibilidade de deslocamentos desses elementos, Fig. 5.3.

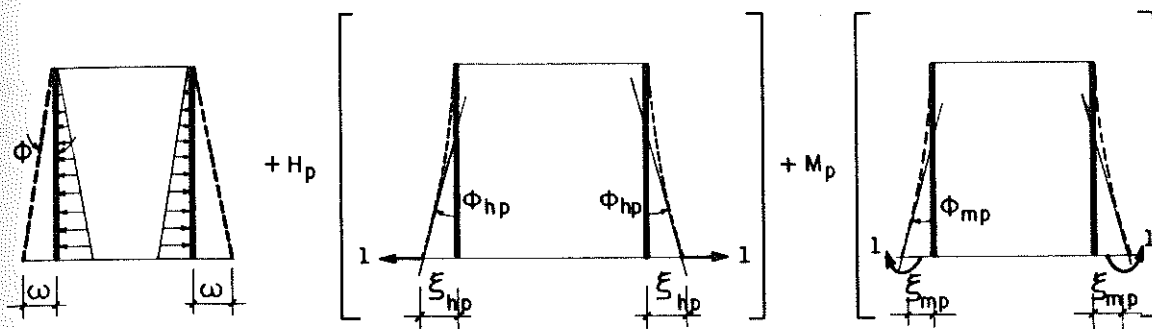


Fig. 5.3

Considerando parede engastada, essas equações são dadas por

$$w + H_p \xi_{hp} + M_p \xi_{mp} = 0 \quad (5.11)$$

$$\phi + H_p \phi_{hp} + M_p \phi_{mp} = 0 \quad (5.12)$$

Resolvendo o sistema formado por (5.11) e (5.12) tem-se

$$H_p = \frac{w \cdot \phi_{mp} - \phi \cdot \xi_{mp}}{\xi_{mp}^2 - \xi_{hp} \phi_{mp}} \quad (5.13)$$

$$M_p = \frac{\phi \cdot \xi_{hp} - w \cdot \xi_{mp}}{\xi_{mp}^2 - \xi_{hp} \phi_{mp}} \quad (5.14)$$

No caso de parede articulada tem-se

$$w + H_p \xi_{hp} = 0 \quad (5.15)$$

de onde

$$H_p = - \frac{w}{\xi_{hp}} \quad (5.16)$$

Nessas equações w , ϕ , ξ_{hp} , ξ_{mp} e ϕ_{mp} são dados respectivamente por (4.5), (4.6), (4.23), (4.25) e (4.26).

Obtidos os esforços H_p e M_p que surgem na ligação considerada, eles são utilizados para estudar o regime de flexão do tubo.

5.4 - Esforços finais

Os esforços finais são obtidos superpondo os esforços de membrana com os de flexão. Estes esforços (os de flexão) são gerados pelos esforços reativos que ocorrem nas ligações dos diversos componentes do reservatório em estudo.

Observe-se que quando o reservatório está cheio, surge ao nível da água um momento fletor M_d , que gera esforços de flexão que podem ser calculados com o auxílio das expressões (4.6) e (4.26), igualando-se as rotações das partes superior e inferior da parede nesse nível, Fig. 5.4, vide BELLUZZI [1975], e dadas abaixo

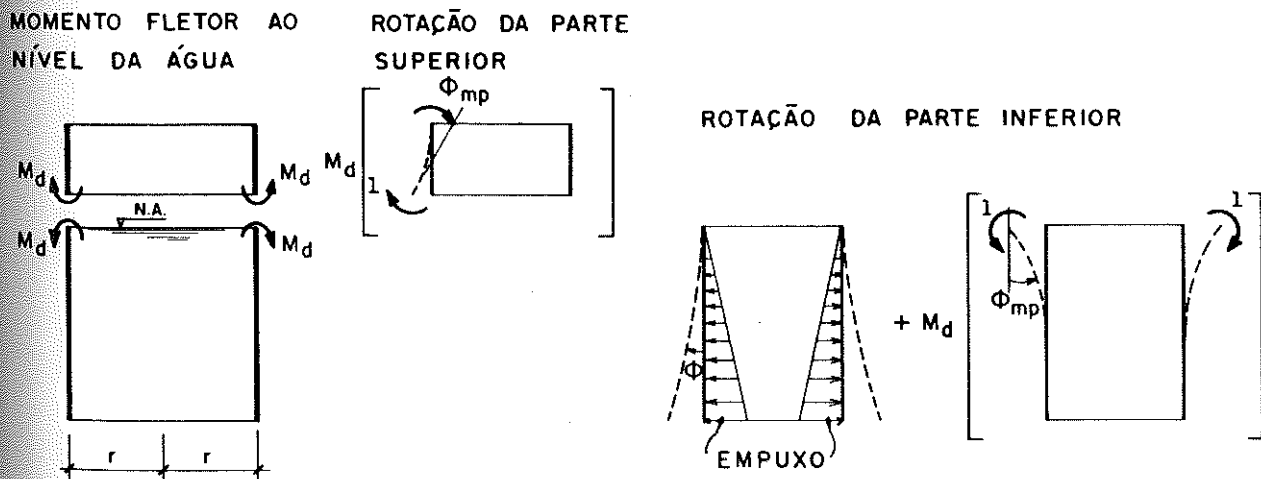


Fig. 5.4

Rotação da parte superior

$$\phi_p = M_d \phi_{mp} \quad (5.17)$$

Rotação da parte inferior

$$\phi_p = \frac{\gamma r^2}{E_c s} - M_d \phi_{mp} \quad (5.18)$$

Igualando (5.17) e (5.18)

$$M_d = \frac{\gamma r^2}{E_c s} \frac{1}{2\phi_{mp}} \quad (5.19)$$

Substituindo ϕ_{mp} tem-se

$$M_d = 0.0548 \frac{\gamma (r.s)^{3/2}}{(1-\nu^2)^{3/4}} \quad (5.20)$$

CAPÍTULO VI

6. ANÁLISE DO RESERVATÓRIO MEDIANTE O EMPREGO DO PROGRAMA DESENVOLVIDO

6.1 - Programa "ARQUIVOS" para entrada de dados

Para a introdução dos dados necessários à análise da estrutura, desenvolveu-se um programa auxiliar denominado ARQUIVOS. Esse programa permite grande facilidade no manejo com os arquivos de dados quando se pretende estudar diversas opções de dimensões e carregamentos da estrutura.

Para executar o referido programa, basta digitar ARQUIVOS a partir do indicador do DOS e na tela aparecerá como se indica na Fig. 6.1

ARQUIVOS DE DADOS A UTILIZAR NO CÁLCULO DE COBERTURA
PÊNSIL EM CASCA PROTENDIDA DE ELEMENTOS PRÉ-MOLDADOS
COM APLICAÇÃO AO PROJETO DE RESERVATÓRIOS CILÍNDRICOS
DE CONCRETO

Eng. ANTONIO CARLOS RIGITANO

Atenção :

Este programa cria um arquivo existente de mesmo nome
Verifique seu diretório antes de prosseguir !
Diretório verificado ? s/n

Fig. 6.1

Caso já tenha verificado o Diretório, digite "s" e na
tela aparecerá um MENU como na Fig. 6.2.

ESCOLHA A OPÇÃO DE TRABALHO COM OS ARQUIVOS :

- 1 - CRIAR NOVO ARQUIVO
- 2 - LISTAR ARQUIVO NA TELA
- 3 - ALTERAR DADOS DE ARQUIVO EXISTENTE
- 4 - SAIR

DIGITE SUA OPÇÃO

Fig. 6.2

Digitando-se a OPÇÃO 1 serão perguntados um nome a ser dado ao arquivo de saída, bem como os parâmetros definidores da estrutura.

Os referidos parâmetros constam nas Figs. 6.3 e 6.4. Na tela aparecerá o que se vê na Fig. 6.5.

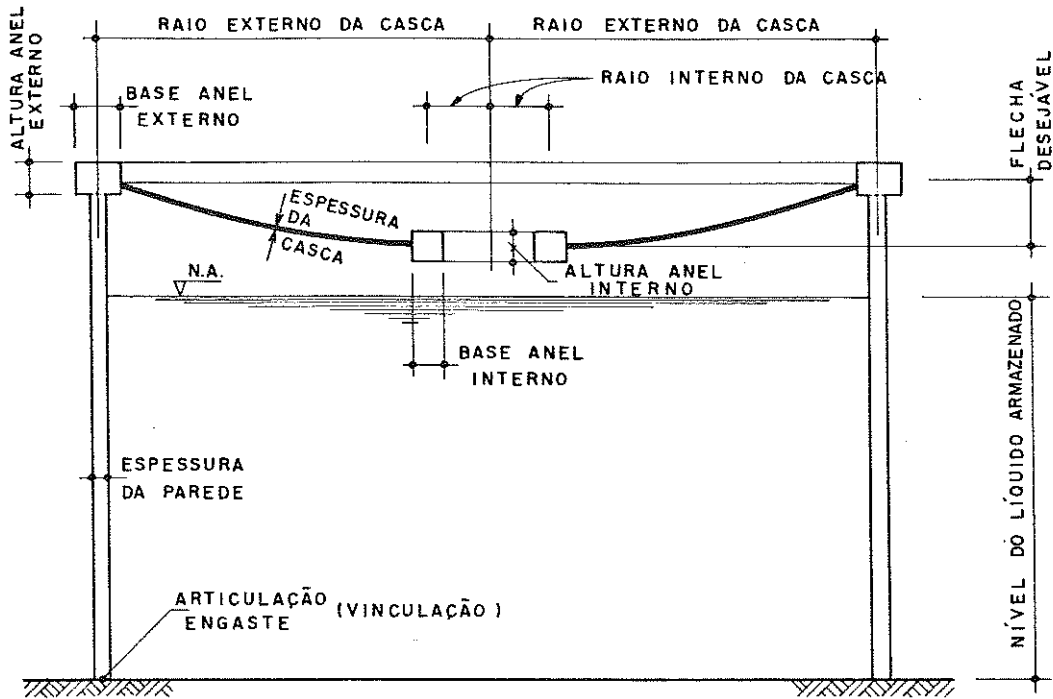
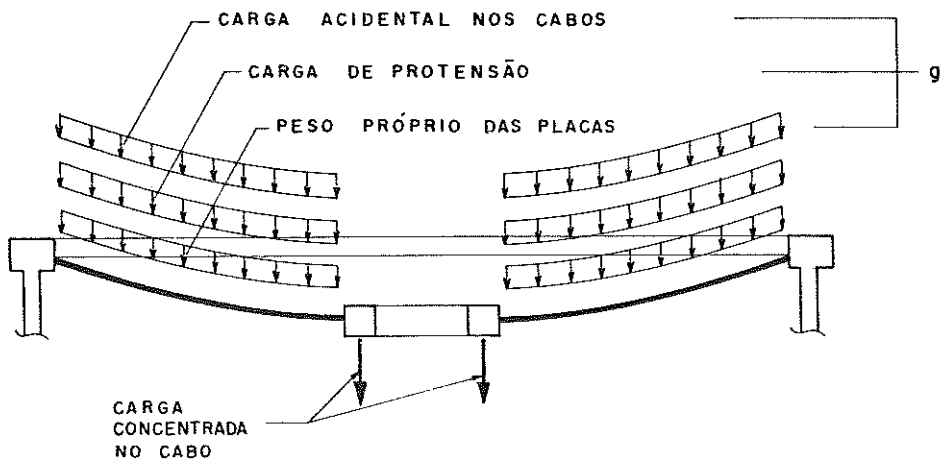
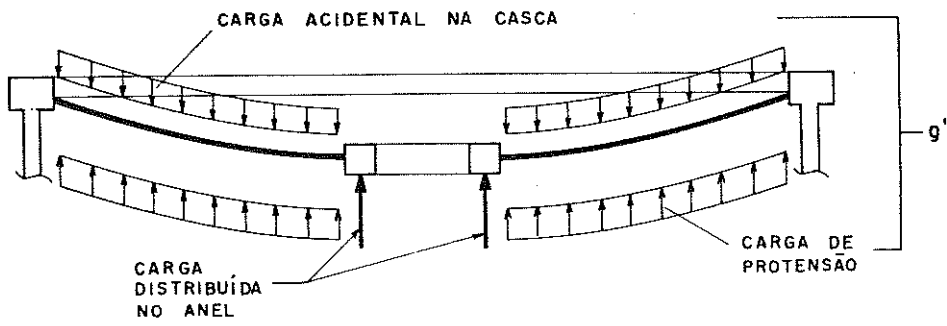


Fig. 6.3



Cargas atuantes no cabo



Cargas atuantes na casca

Fig. 6.4

```

ENTRE COM O NOME DO ARQUIVO DE SAÍDA :   ex1.dat
ENTRADA DE DADOS                          ex1.dat
UNIDADE DE COMPRIMENTO                    =   m
UNIDADE DE FORÇA                          =   N
MÓDULO DE ELASTICIDADE DO AÇO             = 210000000000
MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO       = 257000000000
COEFICIENTE DE POISSON                    = 0.167
ESPESSURA DA CASCA                       = 0.04
RAIO INTERNO DA CASCA                     = 1.5
RAIO EXTERNO DA CASCA                     = 10
NÚMERO DE CABOS                           = 90
AREA TRANSVERSAL DO CABO                  = 0.0000252
FLECHA DESEJÁVEL                          = 1.5
PESO PRÓPRIO DAS PLACAS                   = 1000
CARGA ACIDENTAL NOS CABOS                 = 500
CARGA ACIDENTAL NA CASCA                 = 0
CARGA DE PROTENSÃO                        = 650
CARGA CONCENTRADA NO CABO                 = 540
CARGA DISTRIBUÍDA NO ANEL                = 0
BASE DO ANEL EXTERNO                      = 0.6
ALTURA DO ANEL EXTERNO                   = 0.45
BASE DO ANEL INTERNO                      = 0.4
ALTURA DO ANEL INTERNO                   = 0.4
NÍVEL DO LÍQUIDO ARMAZENADO               = 15
ESPESSURA DA PAREDE                     = 0.3
DENSIDADE DO LÍQUIDO ARMAZENADO          = 10000
VINCULAÇÃO DO FUNDO                       =
ENGASTE OU ARTICULAÇÃO                   =   ARTICULAÇÃO

```

RETORNAR AO MENU DE TRABALHO COM OS ARQUIVOS ? s/n

Fig. 6.5

Note-se que durante a montagem da cobertura, atuará uma carga g , Fig. 6.4, uniformemente distribuída sobre as placas pré-moldadas, constituída da soma do peso próprio mais a carga de protensão e mais uma carga acidental. Além de g , atuarão também cargas linearmente distribuídas no anel central, constituídas pelo peso próprio dele, de carga de protensão - que também pode ser distribuída linearmente no anel - e eventuais cargas permanentes como por exemplo o peso dos equipamentos pendurados.

Como a cobertura não se encontra consolidada, esses carregamentos se dividem pelo número de cabos, originando a carga concentrada no cabo. Esse carregamento é empregado para calcular os esforços necessários à verificação da seção transversal

pré-fixada dos cabos e por esse motivo o conjunto foi denominado de "Cargas Atuantes no Cabo".

Estando a cobertura consolidada, seu comportamento será de casca de revolução. Nessa fase atuará uma carga g' constituída da diferença entre a carga de protensão e uma carga acidental, (que pode ser diferente da atuante durante a montagem). Além de g' poderá atuar uma carga linearmente distribuída no anel interno. Esse conjunto foi denominado de "Cargas Atuantes na Casca".

Os exemplos aplicativos que constam do item 6.3 elucidam as possibilidades de composição desses carregamentos.

Ao terminar a entrada de dados é feita a opção de retornar ao MENU de trabalho. Digitando-se "s" retornará ao vídeo a tela da Fig. 6.2.

Se for selecionada a OPÇÃO 2 do MENU, será perguntado o nome do arquivo a mostrar e na tela aparecerá como se vê na Fig. 6.6.

ENTRE COM O NOME DO ARQUIVO A MOSTRAR : ex1.dat

OS DADOS DO ARQUIVO ex1.dat SÃO :

1 - UNIDADE DE COMPRIMENTO	=	m
2 - UNIDADE DE FORÇA	=	N
3 - MÓDULO DE ELASTICIDADE DO AÇO	=	2.100E+11
4 - MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO	=	2.570E+10
5 - COEFICIENTE DE POISSON	=	1.670E-01
6 - ESPESSURA DA CASCA	=	4.000E-02
7 - RAI0 INTERNO DA CASCA	=	1.500E+00
8 - RAI0 EXTERNO DA CASCA	=	1.000E+01
9 - NÚMERO DE CABOS	=	90
10 - ÁREA TRANSVERSAL DO CABO	=	2.520E-05
11 - FLECHA DESEJÁVEL	=	1.500E+00
12 - PESO PRÓPRIO DAS PLACAS	=	1.000E+03
13 - CARGA ACIDENTAL NOS CABOS	=	5.000E+02

APERTE UMA TECLA PARA CONTINUAR

14 - CARGA ACIDENTAL NA CASCA	=	0.000E+00
15 - CARGA DE PROTENSÃO	=	6.500E+02
16 - CARGA CONCENTRADA NO CABO	=	5.400E+02
17 - CARGA DISTRIBUÍDA NO ANEL	=	0.000E+02
18 - BASE DO ANEL EXTERNO	=	6.000E-01
19 - ALTURA DO ANEL EXTERNO	=	4.500E-01
20 - BASE DO ANEL INTERNO	=	4.000E-01
21 - ALTURA DO ANEL INTERNO	=	4.000E-01
22 - NÍVEL DO LÍQUIDO ARMAZENADO	=	1.500E+01
23 - ESPESSURA DA PAREDE	=	3.000E-01
24 - DENSIDADE DO LÍQUIDO ARMAZENADO	=	1.000E+04
25 - VINCULAÇÃO DO FUNDO	=	ARTICULAÇÃO

RETORNAR AO MENU DE TRABALHO COM OS ARQUIVOS? s/n s

Fig. 6.6

Digitando-se "s" retorna-se à tela da Fig. 6.2.

Se for selecionada a OPÇÃO 3, podem ser feitas alterações utilizando-se a numeração dos dados da Fig. 6.6 e na tela aparecerá o que se vê na Fig. 6.7.

```
ENTRE COM O NOME DO ARQUIVO A ALTERAR : ex1.dat
ALTERANDO O ARQUIVO ex1.dat
MODIFICAR A VARIÁVEL NÚMERO 9
ENTRE COM O NÚMERO DE CABOS = 70
DESEJA ALTERAR MAIS VARIÁVEIS ? s/n n
RETORNAR AO MENU DE TRABALHO COM OS ARQUIVOS ? s/n
```

Fig. 6.7

Caso não seja necessária a alteração de mais variáveis, digitando-se "n" o programa fica encerrado retornando o controle para o indicador do DOS.

6.2 - Programa "RESERVAT" para a análise do reservatório

Para executar o programa de análise do reservatório basta digitar RESERVAT a partir do indicador do DOS e na tela aparecerá o que se vê na Fig. 6.8 onde são perguntados o nome do arquivo a processar e o nome do arquivo onde serão gravadas as respostas obtidas no processamento.

```
CÁLCULO DE COBERTURA PÊNSIL EM CASCA PROTENDIDA  
DE ELEMENTOS PRÉ-MOLDADOS COM APLICAÇÃO AO  
PROJETO DE RESERVATÓRIOS CILÍNDRICOS DE CONCRETO
```

```
Eng. ANTONIO CARLOS RIGITANO
```

```
ENTRE COM O NOME DO ARQUIVO A PROCESSAR : ex1.dat
```

```
ENTRE COM O NOME DO ARQUIVO DE SAÍDA : ex1.sai
```

```
AGUARDE !!! PROCESSANDO !!!
```

Fig. 6.8

Terminado o processamento a tela da Fig. 6.8 será acrescida da mensagem da Fig. 6.9.

```
PROCESSAMENTO ENCERRADO
```

```
PARA IMPRIMIR OS RESULTADOS CHAMAR ex1.sai
```

Fig. 6.9

6.3 - Exemplos aplicativos do programa "RESERVAT"

6.3.1 - Reservatório com paredes em concreto armado engastadas no fundo, protensão da cobertura com carga uniformemente distribuída correspondente a uma carga de 650 N/m^2 retirada e carga acidental de 500 N/m^2 , Figs. 6.10, 6.11 e 6.12.

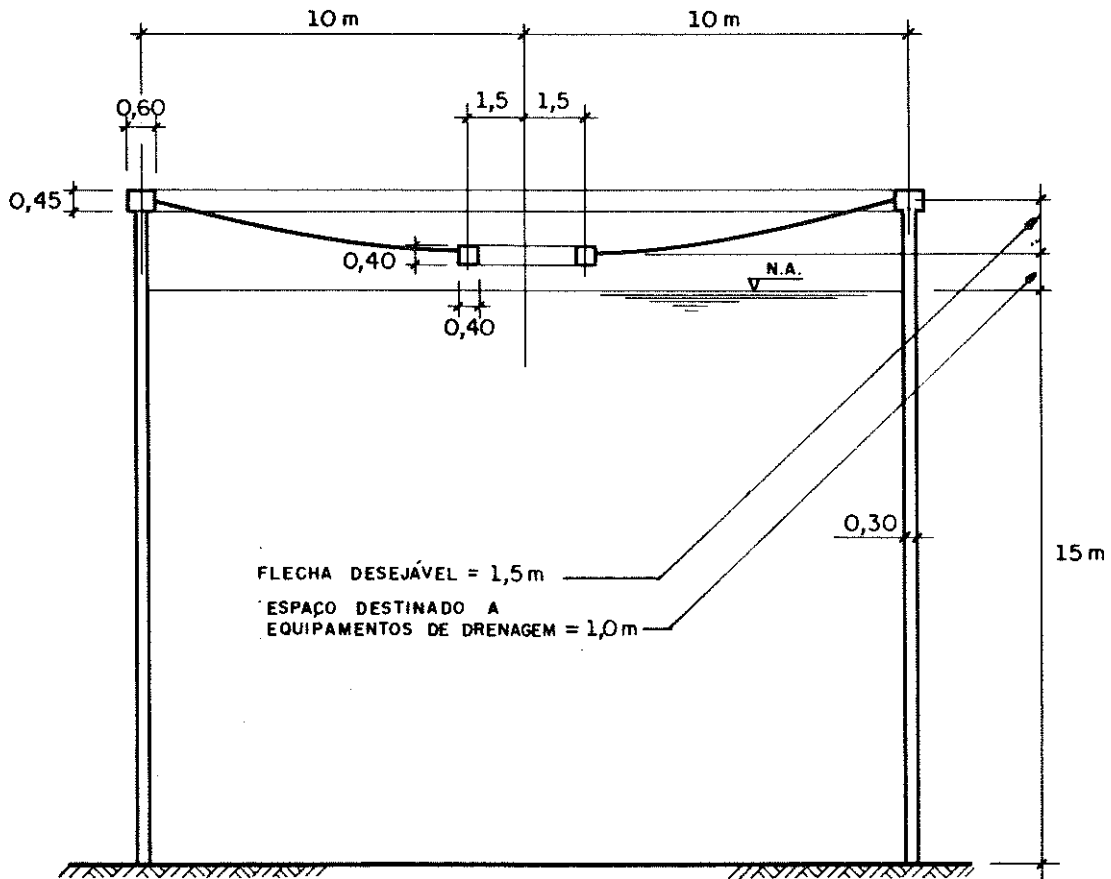
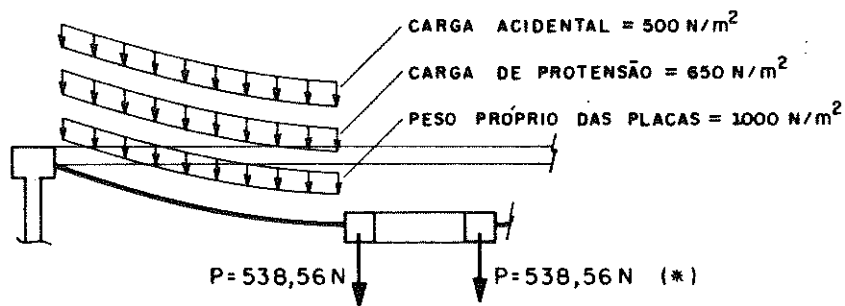


Fig. 6.10

Cargas atuantes durante a montagem da estrutura



P = peso próprio do anel central, dividido pelo número de cabos

$$P = \frac{\pi(1,7^2 - 1,3^2) \cdot 0,4 \cdot 25000}{70} = 538,56 \text{ N}$$

Fig. 6.11

Carga atuante na cobertura consolidada

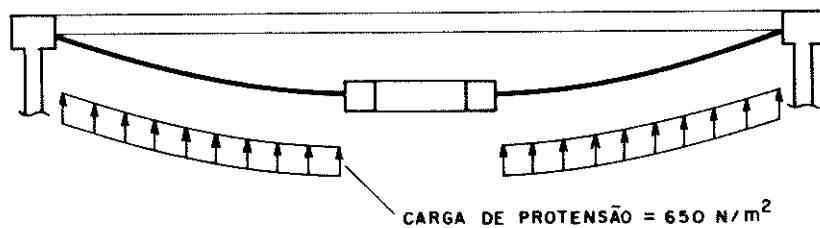


Fig. 6.12

Na sequência são apresentados os resultados do processamento.

CALCULO DE COBERTURA PENSIL EM CASCA PROTENDIDA DE
DE ELEMENTOS PRE-MOLDADOS COM APLICACAO AO PROJETO DE
RESERVATORIOS CILINDRICOS DE CONCRETO

Eng. ANTONIO CARLOS RIGITANO

***** DADOS DA ESTRUTURA *****

NOME DO ARQUIVO DE ENTRADA	=	EX1.DAT
NOME DESTA ARQUIVO	=	EX1.SAI
1 - UNIDADE DE COMPRIMENTO	=	m
2 - UNIDADE DE FORCA	=	N
3 - MODULO DE ELASTICIDADE DO ACO	=	2.100E+11
4 - MODULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO	=	2.570E+10
5 - COEFICIENTE DE POISSON	=	1.670E-01
6 - ESPESSURA DA CASCA	=	4.000E-02
7 - RAI0 INTERNO DA CASCA	=	1.500E+00
8 - RAI0 EXTERNO DA CASCA	=	1.000E+01
9 - NUMERO DE CABOS	=	70
10 - AREA TRANSVERSAL DO CABO	=	2.520E-05
11 - FLECHA DESEJAVEL	=	1.500E+00
12 - PESO PROPRIO DAS PLACAS	=	1.000E+03
13 - CARGA ACIDENTAL NOS CABOS	=	5.000E+02
14 - CARGA ACIDENTAL NA CASCA	=	0.000E+00
15 - CARGA DE PROTENSAO	=	6.500E+02
16 - CARGA CONCENTRADA NO CABO	=	5.386E+02
17 - CARGA DISTRIBUIDA NO ANEL	=	0.000E+00
18 - BASE DO ANEL EXTERNO	=	6.000E-01
19 - ALTURA DO ANEL EXTERNO	=	4.500E-01
20 - BASE DO ANEL INTERNO	=	4.000E-01
21 - ALTURA DO ANEL INTERNO	=	4.000E-01
22 - NIVEL DO LIQUIDO ARMAZENADO	=	1.500E+01
23 - ESPESSURA DA PAREDE	=	3.000E-01
24 - DENSIDADE DO LIQUIDO ARMAZENADO	=	1.000E+04
25 - VINCULACAO DO FUNDO	=	ENGASTE

***** CABO CONSIDERADO INEXTENSIVEL *****

CARGAS ATUANTES

CARGA ACIDENTAL = 5.000E+02
CARGA DE PROTENSAO = 6.500E+02
PESO PROPRIO DAS PLACAS = 1.000E+03
TOTAL DE CARGAS DISTRIBUIDAS = 2.150E+03
CARGA CONCENTRADA NO CABO = 5.386E+02

FORCA HORIZONTAL = 23488.25
INCLINACAO DO APOIO A = 23.62 Graus
INCLINACAO DO APOIO B = 1.31 Graus
COMPRIMENTO DO CABO = 8.68

FORCA DE TRACAO NA ORDENADA X
X = 0.00 T = 25636.43
X = 8.50 T = 23494.42

ORDENADAS E ABSCISSAS

X =	0.00	Y =	0.00
X =	0.85	Y =	0.34
X =	1.70	Y =	0.62
X =	2.55	Y =	0.85
X =	3.40	Y =	1.04
X =	4.25	Y =	1.19
X =	5.10	Y =	1.30
X =	5.95	Y =	1.38
X =	6.80	Y =	1.44
X =	7.65	Y =	1.48
X =	8.50	Y =	1.50

***** CABO CONSIDERANDO A DEFORMACAO *****

CARGAS ATUANTES

CARGA DE PROTENSAO = 6.500E+02
PESO PROPRIO DAS PLACAS = 1.000E+03

TOTAL DE CARGAS DISTRIBUIDAS = 1.650E+03

CARGA CONCENTRADA NO CABO = 5.386E+02

FLECHA PARA MONTAGEM = 1.38

FORCA HORIZONTAL Ho ANTES DA DEFORMACAO = 20348.37

FORCA HORIZONTAL H APOS A DEFORMACAO = 18510.82

COMPRIMENTO DO CABO = 8.68

FORCA DE TRACAO NA ORDENADA X

X =	0.00	T =	20168.70
X =	8.50	T =	18518.66

***** FORMA DA CASCA *****

INCLINACAO DO APOIO A = 23.39 Graus

INCLINACAO DO APOIO B = 1.67 Graus

ORDENADAS E ABSCISSAS

X =	0.00	Y =	0.00
X =	0.85	Y =	0.34
X =	1.70	Y =	0.62
X =	2.55	Y =	0.85
X =	3.40	Y =	1.04
X =	4.25	Y =	1.18
X =	5.10	Y =	1.30
X =	5.95	Y =	1.38
X =	6.80	Y =	1.45
X =	7.65	Y =	1.49
X =	8.50	Y =	1.52

***** ANALISE DO RESERVATORIO VAZIO *****

CARREGAMENTO NA CASCA = 6.500E+02
 CARREGAMENTO NO ANEL = 0.000E+00

***** ESFORCOS DE MEMBRANA (CASCA) *****

X	Nfi	Nteta
1.500E+00	0.000E+00	-3.351E+04
1.840E+00	-5.969E+03	-3.075E+04
2.180E+00	-9.551E+03	-2.695E+04
2.520E+00	-1.164E+04	-2.301E+04
2.860E+00	-1.278E+04	-1.937E+04
3.200E+00	-1.332E+04	-1.621E+04
3.880E+00	-1.340E+04	-1.135E+04
4.560E+00	-1.287E+04	-8.057E+03
5.240E+00	-1.214E+04	-5.837E+03
5.920E+00	-1.139E+04	-4.320E+03
6.600E+00	-1.068E+04	-3.263E+03
7.280E+00	-1.004E+04	-2.511E+03
7.960E+00	-9.478E+03	-1.963E+03
8.300E+00	-9.227E+03	-1.745E+03
8.640E+00	-8.996E+03	-1.557E+03
8.980E+00	-8.784E+03	-1.393E+03
9.320E+00	-8.590E+03	-1.250E+03
9.660E+00	-8.414E+03	-1.124E+03
1.000E+01	-8.254E+03	-1.014E+03

***** REACOES DE APOIO E ESFORCOS DE FLEXAO *****

LIGACAO CASCA - ANEL - PAREDE

Ha = -7.350E+03
 Hb = 3.140E+03
 Mb = 5.291E+01
 H1a = 2.255E+02

LIGACAO CASCA - ANEL INTERNO

Hc = 1.025E+04

***** ESFORCOS DE FLEXAO NA BORDA INTERNA *****

X	N1	N2
1.500E+00	-1.025E+04	2.975E+04
1.840E+00	-4.060E+03	1.769E+04
2.180E+00	-1.306E+03	1.006E+04
2.520E+00	-1.246E+02	5.207E+03
2.860E+00	3.172E+02	2.224E+03

X	M1	M2	T
1.500E+00	0.000E+00	-8.297E+01	2.982E+02
1.840E+00	5.332E+01	-5.095E+01	1.449E+02
2.180E+00	6.862E+01	-2.819E+01	5.522E+01
2.520E+00	6.531E+01	-1.376E+01	6.089E+00
2.860E+00	5.400E+01	-5.386E+00	-1.760E+01

***** ESFORCOS DE FLEXAO NA BORDA EXTERNA *****

X	N1	N2
8.640E+00	-4.641E+01	-2.874E+02
8.980E+00	-4.778E+01	1.912E+02
9.320E+00	-2.102E+01	1.294E+03
9.660E+00	5.654E+01	3.220E+03
1.000E+01	2.070E+02	5.873E+03

X	M1	M2	T
8.640E+00	9.652E+00	1.874E+00	1.695E+01
8.980E+00	1.624E+01	3.451E+00	1.823E+01
9.320E+00	2.158E+01	5.011E+00	8.373E+00
9.660E+00	1.967E+01	5.391E+00	-2.348E+01
1.000E+01	4.103E-09	2.424E+00	-8.955E+01

ESFORCOS DE FLEXAO NA PAREDE

AS ABSCISSAS Xa TEM ORIGEM NO PONTO DE APLICACAO DOS ESFORCOS DE FLEXAO

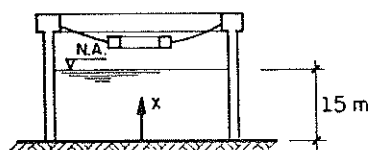
Xa	M1	M2
0.000E+00	-5.291E+01	-8.836E+00
3.000E-01	6.940E+02	1.159E+02
6.000E-01	1.112E+03	1.857E+02
9.000E-01	1.287E+03	2.150E+02
1.200E+00	1.294E+03	2.160E+02
1.500E+00	1.192E+03	1.990E+02

Xa	T	S2
0.000E+00	3.139E+03	4.677E+04
3.000E-01	1.892E+03	3.645E+04
6.000E-01	9.442E+02	2.691E+04
9.000E-01	2.644E+02	1.865E+04
1.200E+00	-1.895E+02	1.187E+04
1.500E+00	-4.627E+02	6.587E+03

RESERVATORIO CHEIO

ESFORCOS DE MEMBRANA DA PAREDE

X	S2
0.000E+00	1.500E+06
3.000E-01	1.470E+06
6.000E-01	1.440E+06
9.000E-01	1.410E+06
1.200E+00	1.380E+06
1.500E+00	1.350E+06
1.800E+00	1.320E+06
3.000E+00	1.200E+06
4.200E+00	1.080E+06
5.400E+00	9.600E+05
6.600E+00	8.400E+05
7.800E+00	7.200E+05
9.000E+00	6.000E+05
1.020E+01	4.800E+05
1.140E+01	3.600E+05
1.260E+01	2.400E+05
1.380E+01	1.200E+05
1.410E+01	9.000E+04
1.440E+01	6.000E+04
1.470E+01	3.000E+04
1.500E+01	8.731E-06



ORIENTAÇÃO DO EIXO x.

***** ESFORCOS DE FLEXAO NA COTA DO NIVEL MAXIMO *****

Hd = 0.000E+00
Md = 2.962E+03

***** ESFORCOS DE FLEXAO NA PAREDE *****

AS ABSCISSAS Xa TEM ORIGEM NO PONTO
DE APLICACAO DOS ESFORCOS DE FLEXAO

Xa	M1	M2
0.000E+00	2.962E+03	4.946E+02
3.000E-01	2.832E+03	4.729E+02
6.000E-01	2.518E+03	4.204E+02
9.000E-01	2.112E+03	3.527E+02
1.200E+00	1.682E+03	2.808E+02
1.500E+00	1.271E+03	2.122E+02

Xa	T	S2
0.000E+00	0.000E+00	3.372E+04
3.000E-01	-7.998E+02	2.017E+04
6.000E-01	-1.243E+03	9.904E+03
9.000E-01	-1.423E+03	2.567E+03
1.200E+00	-1.422E+03	-2.308E+03
1.500E+00	-1.305E+03	-5.220E+03

***** REACOES DE APOIO E ESFORCOS DE FLEXAO *****

FUNDO DO RESERVATORIO - ENGASTADO

Hp = -1.900E+05
Mp = 1.201E+05

***** ESFORCOS DE FLEXAO NA PAREDE *****

AS ABSCISSAS Xa TEM ORIGEM NO PONTO
DE APLICACAO DOS ESFORCOS DE FLEXAO

Xa	M1	M2
0.000E+00	1.201E+05	2.006E+04
3.000E-01	6.976E+04	1.165E+04
6.000E-01	3.204E+04	5.351E+03
9.000E-01	5.437E+03	9.081E+02
1.200E+00	-1.192E+04	-1.991E+03
1.500E+00	-2.199E+04	-3.673E+03

Xa	T	S2
0.000E+00	-1.900E+05	-1.500E+06
3.000E-01	-1.461E+05	-1.410E+06
6.000E-01	-1.062E+05	-1.238E+06
9.000E-01	-7.219E+04	-1.027E+06
1.200E+00	-4.465E+04	-8.095E+05
1.500E+00	-2.349E+04	-6.048E+05

6.3.2 - Reservatório com paredes em concreto armado engastadas no fundo, protensão da cobertura com carga uniformemente distribuída correspondente a uma carga de 650 N/m^2 retirada, cargas acidentais de 500 e 300 N/m^2 e carga distribuída no anel central de 200 N/m correspondente a apetrechos pendurados após a cobertura estar consolidada, Figs. 6.10, 6.13 e 6.14.

Cargas atuantes durante a montagem da estrutura

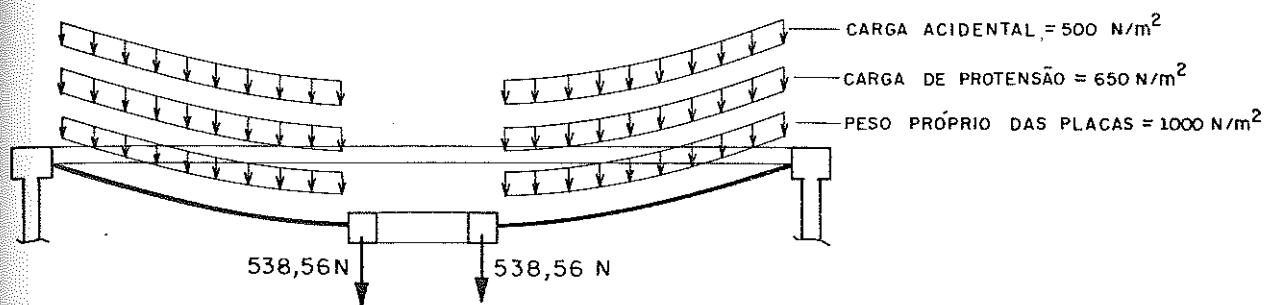


Fig. 6.13

Cargas atuantes na cobertura consolidada

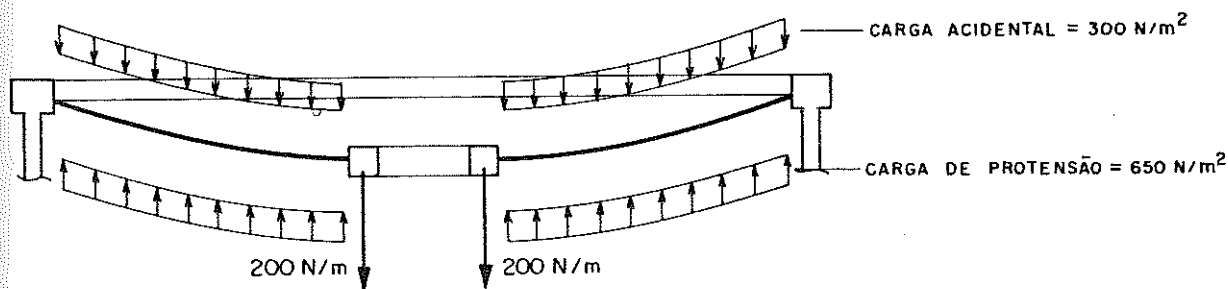


Fig. 6.14

Na sequência são apresentados os resultados do processamento.

CALCULO DE COBERTURA PENSIL EM CASCA PROTENDIDA DE
DE ELEMENTOS PRE-MOLDADOS COM APLICACAO AO PROJETO DE
RESERVATORIOS CILINDRICOS DE CONCRETO

Eng. ANTONIO CARLOS RIGITANO

***** DADOS DA ESTRUTURA *****

NOME DO ARQUIVO DE ENTRADA	=	EX2.DAT
NOME DESTE ARQUIVO	=	EX2.SAI
1 - UNIDADE DE COMPRIMENTO	=	m
2 - UNIDADE DE FORCA	=	N
3 - MODULO DE ELASTICIDADE DO ACO	=	2.100E+11
4 - MODULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO	=	2.570E+10
5 - COEFICIENTE DE POISSON	=	1.670E-01
6 - ESPESSURA DA CASCA	=	4.000E-02
7 - RAO INTERNO DA CASCA	=	1.500E+00
8 - RAO EXTERNO DA CASCA	=	1.000E+01
9 - NUMERO DE CABOS	=	70
10 - AREA TRANSVERSAL DO CABO	=	2.520E-05
11 - FLECHA DESEJAVEL	=	1.500E+00
12 - PESO PROPRIO DAS PLACAS	=	1.000E+03
13 - CARGA ACIDENTAL NOS CABOS	=	5.000E+02
14 - CARGA ACIDENTAL NA CASCA	=	3.000E+02
15 - CARGA DE PROTENSAO	=	6.500E+02
16 - CARGA CONCENTRADA NO CABO	=	5.386E+02
17 - CARGA DISTRIBUIDA NO ANEL	=	-2.000E+02
18 - BASE DO ANEL EXTERNO	=	6.000E-01
19 - ALTURA DO ANEL EXTERNO	=	4.500E-01
20 - BASE DO ANEL INTERNO	=	4.000E-01
21 - ALTURA DO ANEL INTERNO	=	4.000E-01
22 - NIVEL DO LIQUIDO ARMAZENADO	=	1.500E+01
23 - ESPESSURA DA PAREDE	=	3.000E-01
24 - DENSIDADE DO LIQUIDO ARMAZENADO	=	1.000E+04
25 - VINCULACAO DO FUNDO	=	ENGASTE

***** CABO CONSIDERADO INEXTENSIVEL *****

CARGAS ATUANTES

CARGA ACIDENTAL = 5.000E+02
CARGA DE PROTENSAO = 6.500E+02
PESO PROPRIO DAS PLACAS = 1.000E+03

TOTAL DE CARGAS DISTRIBUIDAS = 2.150E+03

CARGA CONCENTRADA NO CABO = 5.386E+02

FORCA HORIZONTAL = 23488.25

INCLINACAO DO APOIO A = 23.62 Graus

INCLINACAO DO APOIO B = 1.31 Graus

COMPRIMENTO DO CABO = 8.68

FORCA DE TRACAO NA ORDENADA X

X = 0.00 T = 25636.43
X = 8.50 T = 23494.42

ORDENADAS E ABSCISSAS

X =	0.00	Y =	0.00
X =	0.85	Y =	0.34
X =	1.70	Y =	0.62
X =	2.55	Y =	0.85
X =	3.40	Y =	1.04
X =	4.25	Y =	1.19
X =	5.10	Y =	1.30
X =	5.95	Y =	1.38
X =	6.80	Y =	1.44
X =	7.65	Y =	1.48
X =	8.50	Y =	1.50

***** CABO CONSIDERANDO A DEFORMACAO *****

CARGAS ATUANTES

CARGA DE PROTENSAO = 6.500E+02
PESO PROPRIO DAS PLACAS = 1.000E+03
TOTAL DE CARGAS DISTRIBUIDAS = 1.650E+03
CARGA CONCENTRADA NO CABO = 5.386E+02

FLECHA PARA MONTAGEM = 1.38

FORCA HORIZONTAL Ho ANTES DA DEFORMACAO = 20348.37

FORCA HORIZONTAL H APOS A DEFORMACAO = 18510.82

COMPRIMENTO DO CABO = 8.68

FORCA DE TRACAO NA ORDENADA X

X =	0.00	T =	20168.70
X =	8.50	T =	18518.66

***** FORMA DA CASCA *****

INCLINACAO DO APOIO A = 23.39 Graus

INCLINACAO DO APOIO B = 1.67 Graus

ORDENADAS E ABSCISSAS

X =	0.00	Y =	0.00
X =	0.85	Y =	0.34
X =	1.70	Y =	0.62
X =	2.55	Y =	0.85
X =	3.40	Y =	1.04
X =	4.25	Y =	1.18
X =	5.10	Y =	1.30
X =	5.95	Y =	1.38
X =	6.80	Y =	1.45
X =	7.65	Y =	1.49
X =	8.50	Y =	1.52

ANALISE DO RESERVATORIO VAZIO

CARREGAMENTO NA CASCA = 3.500E+02
CARREGAMENTO NO ANEL = -2.000E+02

ESFORCOS DE MEMBRANA (CASCA)

X	Nfi	Nteta
1.500E+00	6.877E+03	-2.230E+04
1.840E+00	1.635E+03	-2.046E+04
2.180E+00	-1.622E+03	-1.793E+04
2.520E+00	-3.649E+03	-1.531E+04
2.860E+00	-4.894E+03	-1.289E+04
3.200E+00	-5.636E+03	-1.079E+04
3.880E+00	-6.253E+03	-7.553E+03
4.560E+00	-6.293E+03	-5.361E+03
5.240E+00	-6.096E+03	-3.884E+03
5.920E+00	-5.813E+03	-2.875E+03
6.600E+00	-5.512E+03	-2.171E+03
7.280E+00	-5.224E+03	-1.670E+03
7.960E+00	-4.962E+03	-1.306E+03
8.300E+00	-4.843E+03	-1.161E+03
8.640E+00	-4.732E+03	-1.036E+03
8.980E+00	-4.629E+03	-9.264E+02
9.320E+00	-4.534E+03	-8.312E+02
9.660E+00	-4.447E+03	-7.478E+02
1.000E+01	-4.369E+03	-6.744E+02

***** REACOES DE APOIO E ESFORCOS DE FLEXAO *****

LIGACAO CASCA - ANEL - PAREDE

Ha = -3.885E+03
 Hb = 1.660E+03
 Mb = 2.797E+01
 H1a = 1.245E+02

LIGACAO CASCA - ANEL INTERNO

Hc = 7.962E+03

***** ESFORCOS DE FLEXAO NA BORDA INTERNA *****

X	N1	N2
1.500E+00	-7.962E+03	2.311E+04
1.840E+00	-3.153E+03	1.374E+04
2.180E+00	-1.014E+03	7.811E+03
2.520E+00	-9.675E+01	4.044E+03
2.860E+00	2.463E+02	1.727E+03

X	M1	M2	T
1.500E+00	-1.163E-10	-6.443E+01	2.316E+02
1.840E+00	4.140E+01	-3.957E+01	1.125E+02
2.180E+00	5.329E+01	-2.189E+01	4.288E+01
2.520E+00	5.072E+01	-1.068E+01	4.729E+00
2.860E+00	4.194E+01	-4.183E+00	-1.366E+01

***** ESFORCOS DE FLEXAO NA BORDA EXTERNA *****

X	N1	N2
8.640E+00	-2.562E+01	-1.587E+02
8.980E+00	-2.637E+01	1.055E+02
9.320E+00	-1.160E+01	7.141E+02
9.660E+00	3.121E+01	1.777E+03
1.000E+01	1.143E+02	3.242E+03

X	M1	M2	T
8.640E+00	5.328E+00	1.035E+00	9.356E+00
8.980E+00	8.966E+00	1.905E+00	1.006E+01
9.320E+00	1.191E+01	2.766E+00	4.622E+00
9.660E+00	1.086E+01	2.976E+00	-1.296E+01
1.000E+01	2.265E-09	1.338E+00	-4.943E+01

ESFORCOS DE FLEXAO NA PAREDE

AS ABSCISSAS Xa TEM ORIGEM NO PONTO
DE APLICACAO DOS ESFORCOS DE FLEXAO

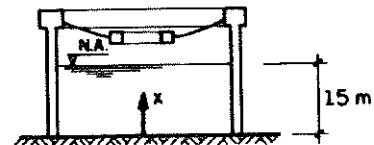
Xa	M1	M2
0.000E+00	-2.797E+01	-4.671E+00
3.000E-01	3.669E+02	6.126E+01
6.000E-01	5.880E+02	9.819E+01
9.000E-01	6.805E+02	1.136E+02
1.200E+00	6.838E+02	1.142E+02
1.500E+00	6.300E+02	1.052E+02

Xa	T	S2
0.000E+00	1.659E+03	2.472E+04
3.000E-01	1.000E+03	1.927E+04
6.000E-01	4.991E+02	1.423E+04
9.000E-01	1.398E+02	9.857E+03
1.200E+00	-1.002E+02	6.273E+03
1.500E+00	-2.446E+02	3.482E+03

RESERVATORIO CHEIO

ESFORCOS DE MEMBRANA DA PAREDE

X	S2
0.000E+00	1.500E+06
3.000E-01	1.470E+06
6.000E-01	1.440E+06
9.000E-01	1.410E+06
1.200E+00	1.380E+06
1.500E+00	1.350E+06
1.800E+00	1.320E+06
3.000E+00	1.200E+06
4.200E+00	1.080E+06
5.400E+00	9.600E+05
6.600E+00	8.400E+05
7.800E+00	7.200E+05
9.000E+00	6.000E+05
1.020E+01	4.800E+05
1.140E+01	3.600E+05
1.260E+01	2.400E+05
1.380E+01	1.200E+05
1.410E+01	9.000E+04
1.440E+01	6.000E+04
1.470E+01	3.000E+04
1.500E+01	8.731E-06



ORIENTAÇÃO DO EIXO x.

***** ESFORCOS DE FLEXAO NA COTA DO NIVEL MAXIMO *****

Hd = 0.000E+00
Md = 2.962E+03

***** ESFORCOS DE FLEXAO NA PAREDE *****

AS ABSCISSAS Xa TEM ORIGEM NO PONTO
DE APLICACAO DOS ESFORCOS DE FLEXAO

Xa	M1	M2
0.000E+00	2.962E+03	4.946E+02
3.000E-01	2.832E+03	4.729E+02
6.000E-01	2.518E+03	4.204E+02
9.000E-01	2.112E+03	3.527E+02
1.200E+00	1.682E+03	2.808E+02
1.500E+00	1.271E+03	2.122E+02

Xa	T	S2
0.000E+00	0.000E+00	3.372E+04
3.000E-01	-7.998E+02	2.017E+04
6.000E-01	-1.243E+03	9.904E+03
9.000E-01	-1.423E+03	2.567E+03
1.200E+00	-1.422E+03	-2.308E+03
1.500E+00	-1.305E+03	-5.220E+03

REACOES DE APOIO E ESFORCOS DE FLEXAO

FUNDO DO RESERVATORIO - ENGASTADO

Hp = -1.900E+05
Mp = 1.201E+05

ESFORCOS DE FLEXAO NA PAREDE

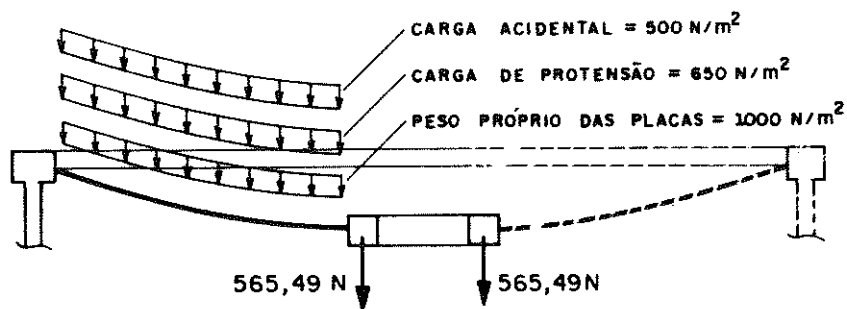
AS ABSCISSAS Xa TEM ORIGEM NO PONTO
DE APLICACAO DOS ESFORCOS DE FLEXAO

Xa	M1	M2
0.000E+00	1.201E+05	2.006E+04
3.000E-01	6.976E+04	1.165E+04
6.000E-01	3.204E+04	5.351E+03
9.000E-01	5.437E+03	9.081E+02
1.200E+00	-1.192E+04	-1.991E+03
1.500E+00	-2.199E+04	-3.673E+03

Xa	T	S2
0.000E+00	-1.900E+05	-1.500E+06
3.000E-01	-1.461E+05	-1.410E+06
6.000E-01	-1.062E+05	-1.238E+06
9.000E-01	-7.219E+04	-1.027E+06
1.200E+00	-4.465E+04	-8.095E+05
1.500E+00	-2.349E+04	-6.048E+05

6.3.3 - Reservatório com paredes em concreto armado articuladas no fundo, protensão da cobertura com carga uniformemente distribuída correspondente a uma carga de 650 N/m² retirada, protensão de 200 N/m distribuída no anel central e carga acidental de 500 N/m² atuante apenas durante a montagem, Figs. 6.10, 6.15 e 6.16.

Cargas atuantes durante a montagem da estrutura



P = peso próprio do anel central mais carga linear de protensão, divididos pelo número de cabos.

$$P = 538,56 + \frac{2\pi \cdot 1,5 \cdot 200}{70} = 565,49 \text{ N}$$

Fig. 6.15

Cargas atuantes na cobertura consolidada

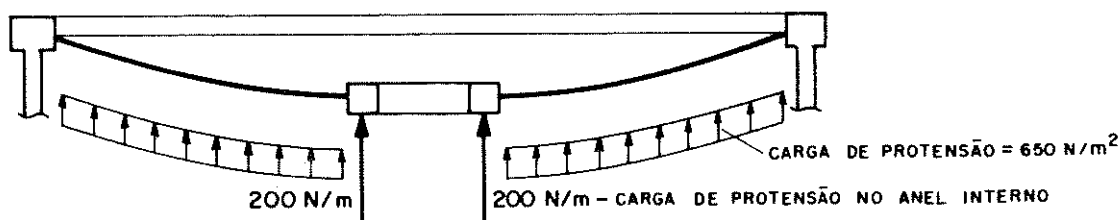


Fig. 6.16

Na sequência são apresentados os resultados do processamento.

CALCULO DE COBERTURA PENSIL EM CASCA PROTENDIDA DE
DE ELEMENTOS PRE-MOLDADOS COM APLICACAO AO PROJETO DE
RESERVATORIOS CILINDRICOS DE CONCRETO

Eng. ANTONIO CARLOS RIGITANO

***** DADOS DA ESTRUTURA *****

NOME DO ARQUIVO DE ENTRADA	=	EX3.DAT
NOME DESTE ARQUIVO	=	EX3.SAI
1 - UNIDADE DE COMPRIMENTO	=	m
2 - UNIDADE DE FORCA	=	N
3 - MODULO DE ELASTICIDADE DO ACO	=	2.100E+11
4 - MODULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO	=	2.570E+10
5 - COEFICIENTE DE POISSON	=	1.670E-01
6 - ESPESSURA DA CASCA	=	4.000E-02
7 - RAO INTERNO DA CASCA	=	1.500E+00
8 - RAO EXTERNO DA CASCA	=	1.000E+01
9 - NUMERO DE CABOS	=	70
10 - AREA TRANSVERSAL DO CABO	=	2.520E-05
11 - FLECHA DESEJAVEL	=	1.500E+00
12 - PESO PROPRIO DAS PLACAS	=	1.000E+03
13 - CARGA ACIDENTAL NOS CABOS	=	5.000E+02
14 - CARGA ACIDENTAL NA CASCA	=	0.000E+00
15 - CARGA DE PROTENSAO	=	6.500E+02
16 - CARGA CONCENTRADA NO CABO	=	5.655E+02
17 - CARGA DISTRIBUIDA NO ANEL	=	2.000E+02
18 - BASE DO ANEL EXTERNO	=	6.000E-01
19 - ALTURA DO ANEL EXTERNO	=	4.500E-01
20 - BASE DO ANEL INTERNO	=	4.000E-01
21 - ALTURA DO ANEL INTERNO	=	4.000E-01
22 - NIVEL DO LIQUIDO ARMAZENADO	=	1.500E+01
23 - ESPESSURA DA PAREDE	=	3.000E-01
24 - DENSIDADE DO LIQUIDO ARMAZENADO	=	1.000E+04
25 - VINCULACAO DO FUNDO	=	ARTICULACAO

***** CABO CONSIDERADO INEXTENSIVEL *****

CARGAS ATUANTES

CARGA ACIDENTAL = 5.000E+02
CARGA DE PROTENSAO = 6.500E+02
PESO PROPRIO DAS PLACAS = 1.000E+03

TOTAL DE CARGAS DISTRIBUIDAS = 2.150E+03

CARGA CONCENTRADA NO CABO = 5.655E+02

FORCA HORIZONTAL = 23640.36

INCLINACAO DO APOIO A = 23.54 Graus

INCLINACAO DO APOIO B = 1.37 Graus

COMPRIMENTO DO CABO = 8.68

FORCA DE TRACAO NA ORDENADA X

X = 0.00 T = 25786.02
X = 8.50 T = 23647.12

ORDENADAS E ABSCISSAS

X =	0.00	Y =	0.00
X =	0.85	Y =	0.34
X =	1.70	Y =	0.62
X =	2.55	Y =	0.85
X =	3.40	Y =	1.04
X =	4.25	Y =	1.18
X =	5.10	Y =	1.29
X =	5.95	Y =	1.38
X =	6.80	Y =	1.43
X =	7.65	Y =	1.47
X =	8.50	Y =	1.50

***** CABO CONSIDERANDO A DEFORMACAO *****

CARGAS ATUANTES

CARGA DE PROTENSAO = 6.500E+02
 PESO PROPRIO DAS PLACAS = 1.000E+03

TOTAL DE CARGAS DISTRIBUIDAS = 1.650E+03

CARGA CONCENTRADA NO CABO = 5.655E+02

FLECHA PARA MONTAGEM = 1.38

FORCA HORIZONTAL Ho ANTES DA DEFORMACAO = 20514.04

FORCA HORIZONTAL H APOS A DEFORMACAO = 18642.28

COMPRIMENTO DO CABO = 8.68

FORCA DE TRACAO NA ORDENADA X

X = 0.00 T = 20299.71
 X = 8.50 T = 18650.85

***** FORMA DA CASCA *****

INCLINACAO DO APOIO A = 23.31 Graus

INCLINACAO DO APOIO B = 1.74 Graus

ORDENADAS E ABSCISSAS

X =	0.00	Y =	0.00
X =	0.85	Y =	0.34
X =	1.70	Y =	0.62
X =	2.55	Y =	0.85
X =	3.40	Y =	1.03
X =	4.25	Y =	1.18
X =	5.10	Y =	1.30
X =	5.95	Y =	1.38
X =	6.80	Y =	1.44
X =	7.65	Y =	1.49
X =	8.50	Y =	1.52

***** ANALISE DO RESERVATORIO VAZIO *****

CARREGAMENTO NA CASCA = 6.500E+02
 CARREGAMENTO NO ANEL = 2.000E+02

***** ESFORCOS DE MEMBRANA (CASCA) *****

X	Nfi	Nteta
1.500E+00	-6.596E+03	-2.826E+04
1.840E+00	-1.044E+04	-2.626E+04
2.180E+00	-1.269E+04	-2.329E+04
2.520E+00	-1.392E+04	-2.009E+04
2.860E+00	-1.448E+04	-1.706E+04
3.200E+00	-1.462E+04	-1.438E+04
3.880E+00	-1.422E+04	-1.018E+04
4.560E+00	-1.342E+04	-7.283E+03
5.240E+00	-1.254E+04	-5.306E+03
5.920E+00	-1.168E+04	-3.944E+03
6.600E+00	-1.091E+04	-2.989E+03
7.280E+00	-1.023E+04	-2.305E+03
7.960E+00	-9.635E+03	-1.806E+03
8.300E+00	-9.372E+03	-1.607E+03
8.640E+00	-9.130E+03	-1.434E+03
8.980E+00	-8.909E+03	-1.284E+03
9.320E+00	-8.706E+03	-1.153E+03
9.660E+00	-8.522E+03	-1.038E+03
1.000E+01	-8.356E+03	-9.371E+02

***** REACOES DE APOIO E ESFORCOS DE FLEXAO *****

LIGACAO CASCA - ANEL - PAREDE

Ha = -7.448E+03
Hb = 3.182E+03
Mb = 5.362E+01
H1a = 2.255E+02

LIGACAO CASCA - ANEL INTERNO

Hc = 7.403E+03

***** ESFORCOS DE FLEXAO NA BORDA INTERNA *****

X	N1	N2
1.500E+00	-7.403E+03	2.189E+04
1.840E+00	-2.882E+03	1.292E+04
2.180E+00	-8.912E+02	7.255E+03
2.520E+00	-5.192E+01	3.677E+03
2.860E+00	2.510E+02	1.502E+03

X	M1	M2	T
1.500E+00	1.163E-10	-6.039E+01	2.245E+02
1.840E+00	4.014E+01	-3.671E+01	1.072E+02
2.180E+00	5.121E+01	-1.998E+01	3.928E+01
2.520E+00	4.823E+01	-9.487E+00	2.646E+00
2.860E+00	3.940E+01	-3.507E+00	-1.452E+01

***** ESFORCOS DE FLEXAO NA BORDA EXTERNA *****

X	N1	N2
8.640E+00	-4.651E+01	-2.847E+02
8.980E+00	-4.774E+01	1.956E+02
9.320E+00	-2.082E+01	1.298E+03
9.660E+00	5.681E+01	3.219E+03
1.000E+01	2.071E+02	5.862E+03

X	M1	M2	T
8.640E+00	9.687E+00	1.883E+00	1.693E+01
8.980E+00	1.626E+01	3.457E+00	1.815E+01
9.320E+00	2.156E+01	5.010E+00	8.261E+00
9.660E+00	1.961E+01	5.384E+00	-2.350E+01
1.000E+01	8.203E-09	2.425E+00	-8.924E+01

ESFORCOS DE FLEXAO NA PAREDE

AS ABSCISSAS Xa TEM ORIGEM NO PONTO DE APLICACAO DOS ESFORCOS DE FLEXAO

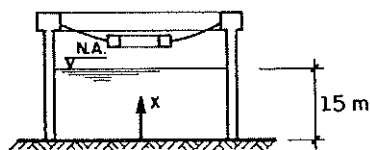
Xa	M1	M2
0.000E+00	-5.362E+01	-8.954E+00
3.000E-01	7.032E+02	1.174E+02
6.000E-01	1.127E+03	1.882E+02
9.000E-01	1.304E+03	2.179E+02
1.200E+00	1.311E+03	2.189E+02
1.500E+00	1.208E+03	2.017E+02

Xa	T	S2
0.000E+00	3.181E+03	4.739E+04
3.000E-01	1.917E+03	3.693E+04
6.000E-01	9.568E+02	2.727E+04
9.000E-01	2.679E+02	1.889E+04
1.200E+00	-1.920E+02	1.203E+04
1.500E+00	-4.688E+02	6.674E+03

RESERVATORIO CHEIO

ESFORCOS DE MEMBRANA DA PAREDE

X	S2
0.000E+00	1.500E+06
3.000E-01	1.470E+06
6.000E-01	1.440E+06
9.000E-01	1.410E+06
1.200E+00	1.380E+06
1.500E+00	1.350E+06
1.800E+00	1.320E+06
3.000E+00	1.200E+06
4.200E+00	1.080E+06
5.400E+00	9.600E+05
6.600E+00	8.400E+05
7.800E+00	7.200E+05
9.000E+00	6.000E+05
1.020E+01	4.800E+05
1.140E+01	3.600E+05
1.260E+01	2.400E+05
1.380E+01	1.200E+05
1.410E+01	9.000E+04
1.440E+01	6.000E+04
1.470E+01	3.000E+04
1.500E+01	8.731E-06



ORIENTAÇÃO DO EIXO x.

***** ESFORCOS DE FLEXAO NA COTA DO NIVEL MAXIMO *****

Hd = 0.000E+00
Md = 2.962E+03

***** ESFORCOS DE FLEXAO NA PAREDE *****

AS ABSCISSAS Xa TEM ORIGEM NO PONTO
DE APLICACAO DOS ESFORCOS DE FLEXAO

Xa	M1	M2
0.000E+00	2.962E+03	4.946E+02
3.000E-01	2.832E+03	4.729E+02
6.000E-01	2.518E+03	4.204E+02
9.000E-01	2.112E+03	3.527E+02
1.200E+00	1.682E+03	2.808E+02
1.500E+00	1.271E+03	2.122E+02

Xa	T	S2
0.000E+00	0.000E+00	3.372E+04
3.000E-01	-7.998E+02	2.017E+04
6.000E-01	-1.243E+03	9.904E+03
9.000E-01	-1.423E+03	2.567E+03
1.200E+00	-1.422E+03	-2.308E+03
1.500E+00	-1.305E+03	-5.220E+03

***** REACOES DE APOIO E ESFORCOS DE FLEXAO *****

FUNDO DO RESERVATORIO - ARTICULADO

Hp = -9.941E+04
Mp = 0.000E+00

***** ESFORCOS DE FLEXAO NA PAREDE *****

AS ABSCISSAS Xa TEM ORIGEM NO PONTO
DE APLICACAO DOS ESFORCOS DE FLEXAO

Xa	M1	M2
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.000E-01	-2.358E+04	-3.938E+03
6.000E-01	-3.665E+04	-6.120E+03
9.000E-01	-4.196E+04	-7.008E+03
1.200E+00	-4.191E+04	-6.999E+03
1.500E+00	-3.846E+04	-6.422E+03

Xa	T	S2
0.000E+00	-9.941E+04	-1.500E+06
3.000E-01	-5.946E+04	-1.166E+06
6.000E-01	-2.920E+04	-8.578E+05
9.000E-01	-7.568E+03	-5.919E+05
1.200E+00	6.805E+03	-3.745E+05
1.500E+00	1.539E+04	-2.056E+05

6.3.4 - Reservatório com paredes em concreto armado articuladas no fundo, protensão da cobertura apenas com carga linearmente distribuída de 200 N/m aplicada no anel central e carga acidental atuante apenas durante a montagem da estrutura, Figs. 6.10, 6.17 e 6.18.

Cargas atuantes durante a montagem da estrutura

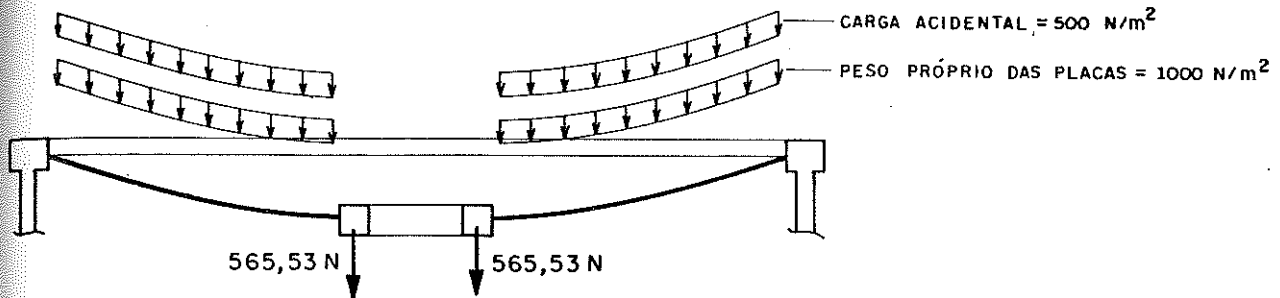


Fig. 6.17

Cargas atuantes na cobertura consolidada

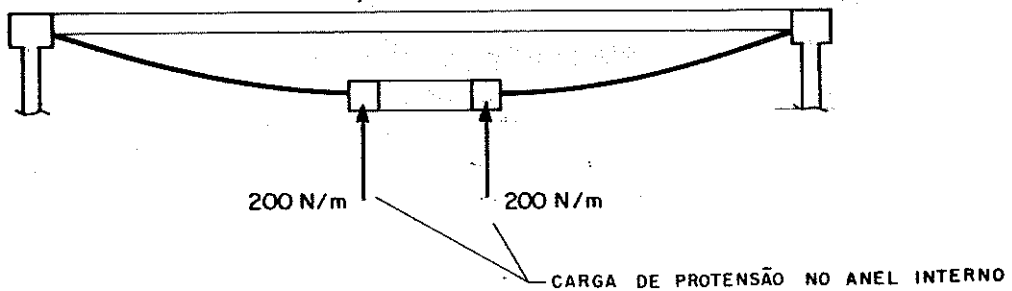


Fig. 6.18

Na sequência são apresentados os resultados do processamento.

CALCULO DE COBERTURA PENSIL EM CASCA PROTENDIDA DE
DE ELEMENTOS PRE-MOLDADOS COM APLICACAO AO PROJETO DE
RESERVATORIOS CILINDRICOS DE CONCRETO

Eng. ANTONIO CARLOS RIGITANO

***** DADOS DA ESTRUTURA *****

NOME DO ARQUIVO DE ENTRADA	=	EX4.DAT
NOME DESTA ARQUIVO	=	EX4.SAI
1 - UNIDADE DE COMPRIMENTO	=	m
2 - UNIDADE DE FORCA	=	N
3 - MODULO DE ELASTICIDADE DO ACO	=	2.100E+11
4 - MODULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO	=	2.570E+10
5 - COEFICIENTE DE POISSON	=	1.670E-01
6 - ESPESSURA DA CASCA	=	4.000E-02
7 - RAO INTERNO DA CASCA	=	1.500E+00
8 - RAO EXTERNO DA CASCA	=	1.000E+01
9 - NUMERO DE CABOS	=	70
10 - AREA TRANSVERSAL DO CABO	=	2.520E-05
11 - FLECHA DESEJAVEL	=	1.500E+00
12 - PESO PROPRIO DAS PLACAS	=	1.000E+03
13 - CARGA ACIDENTAL NOS CABOS	=	5.000E+02
14 - CARGA ACIDENTAL NA CASCA	=	0.000E+00
15 - CARGA DE PROTENSAO	=	0.000E+00
16 - CARGA CONCENTRADA NO CABO	=	5.655E+02
17 - CARGA DISTRIBUIDA NO ANEL	=	2.000E+02
18 - BASE DO ANEL EXTERNO	=	6.000E-01
19 - ALTURA DO ANEL EXTERNO	=	4.500E-01
20 - BASE DO ANEL INTERNO	=	4.000E-01
21 - ALTURA DO ANEL INTERNO	=	4.000E-01
22 - NIVEL DO LIQUIDO ARMAZENADO	=	1.500E+01
23 - ESPESSURA DA PAREDE	=	3.000E-01
24 - DENSIDADE DO LIQUIDO ARMAZENADO	=	1.000E+04
25 - VINCULACAO DO FUNDO	=	ARTICULACAO

CARGAS ATUANTES

CARGA ACIDENTAL = 5.000E+02
 CARGA DE PROTENSAO = 0.000E+00
 PESO PROPRIO DAS PLACAS = 1.000E+03

TOTAL DE CARGAS DISTRIBUIDAS = 1.500E+03

CARGA CONCENTRADA NO CABO = 5.655E+02

FORCA HORIZONTAL = 17459.56

INCLINACAO DO APOIO A = 22.82 Graus

INCLINACAO DO APOIO B = 1.86 Graus

COMPRIMENTO DO CABO = 8.68

FORCA DE TRACAO NA ORDENADA X

X = 0.00 T = 18942.45
 X = 8.50 T = 17468.71

ORDENADAS E ABSCISSAS

X =	0.00	Y =	0.00
X =	0.85	Y =	0.33
X =	1.70	Y =	0.60
X =	2.55	Y =	0.83
X =	3.40	Y =	1.01
X =	4.25	Y =	1.16
X =	5.10	Y =	1.27
X =	5.95	Y =	1.36
X =	6.80	Y =	1.42
X =	7.65	Y =	1.47
X =	8.50	Y =	1.50

***** CABO CONSIDERANDO A DEFORMACAO *****

CARGAS ATUANTES

CARGA DE PROTENSAO = 0.000E+00
PESO PROPRIO DAS PLACAS = 1.000E+03

TOTAL DE CARGAS DISTRIBUIDAS = 1.000E+03

CARGA CONCENTRADA NO CABO = 5.655E+02

FLECHA PARA MONTAGEM = 1.41

FORCA HORIZONTAL H₀ ANTES DA DEFORMACAO = 13538.32

FORCA HORIZONTAL H APOS A DEFORMACAO = 12660.48

COMPRIMENTO DO CABO = 8.67

FORCA DE TRACAO NA ORDENADA X

X =	0.00	T =	13641.49
X =	8.50	T =	12673.10

***** FORMA DA CASCA *****

INCLINACAO DO APOIO A = 21.86 Graus

INCLINACAO DO APOIO B = 2.56 Graus

ORDENADAS E ABSCISSAS

X =	0.00	Y =	0.00
X =	0.85	Y =	0.31
X =	1.70	Y =	0.58
X =	2.55	Y =	0.80
X =	3.40	Y =	0.98
X =	4.25	Y =	1.13
X =	5.10	Y =	1.25
X =	5.95	Y =	1.34
X =	6.80	Y =	1.41
X =	7.65	Y =	1.46
X =	8.50	Y =	1.51

ANALISE DO RESERVATORIO VAZIO

CARREGAMENTO NA CASCA = 0.000E+00
CARREGAMENTO NO ANEL = 2.000E+02

ESFORCOS DE MEMBRANA (CASCA)

x	Nfi	Nteta
1.500E+00	-4.482E+03	1.599E+03
1.840E+00	-3.352E+03	1.650E+03
2.180E+00	-2.573E+03	1.617E+03
2.520E+00	-2.014E+03	1.528E+03
2.860E+00	-1.600E+03	1.408E+03
3.200E+00	-1.287E+03	1.276E+03
3.880E+00	-8.610E+02	1.015E+03
4.560E+00	-5.984E+02	7.927E+02
5.240E+00	-4.298E+02	6.169E+02
5.920E+00	-3.176E+02	4.821E+02
6.600E+00	-2.408E+02	3.798E+02
7.280E+00	-1.866E+02	3.020E+02
7.960E+00	-1.475E+02	2.424E+02
8.300E+00	-1.320E+02	2.180E+02
8.640E+00	-1.187E+02	1.964E+02
8.980E+00	-1.071E+02	1.774E+02
9.320E+00	-9.708E+01	1.605E+02
9.660E+00	-8.828E+01	1.455E+02
1.000E+01	-8.057E+01	1.321E+02

***** REACOES DE APOIO E ESFORCOS DE FLEXAO *****

LIGACAO CASCA - ANEL - PAREDE

Ha = -7.792E+01
 Hb = 3.329E+01
 Mb = 5.610E-01
 H1a = -3.151E+00

LIGACAO CASCA - ANEL INTERNO

Hc = -1.002E+03

***** ESFORCOS DE FLEXAO NA BORDA INTERNA *****

X	N1	N2
1.500E+00	1.002E+03	-3.541E+03
1.840E+00	3.227E+02	-1.927E+03
2.180E+00	5.544E+01	-9.349E+02
2.520E+00	-3.567E+01	-3.588E+02
2.860E+00	-5.400E+01	-5.625E+01

X	M1	M2	T
1.500E+00	2.908E-11	8.728E+00	-4.472E+01
1.840E+00	-7.852E+00	4.726E+00	-1.767E+01
2.180E+00	-9.126E+00	2.105E+00	-3.598E+00
2.520E+00	-7.685E+00	6.730E-01	2.676E+00
2.860E+00	-5.479E+00	1.668E-02	4.600E+00

***** ESFORCOS DE FLEXAO NA BORDA EXTERNA *****

X	N1	N2
8.640E+00	6.777E-01	3.255E+00
8.980E+00	6.574E-01	-3.911E+00
9.320E+00	2.382E-01	-1.923E+01
9.660E+00	-8.663E-01	-4.490E+01
1.000E+01	-2.924E+00	-7.946E+01

X	M1	M2	T
8.640E+00	-1.445E-01	-2.876E-02	-2.303E-01
8.980E+00	-2.308E-01	-5.006E-02	-2.333E-01
9.320E+00	-2.951E-01	-7.005E-02	-8.813E-02
9.660E+00	-2.610E-01	-7.372E-02	3.340E-01
1.000E+01	-5.732E-11	-3.425E-02	1.173E+00

ESFORCOS DE FLEXAO NA PAREDE

AS ABSCISSAS Xa TEM ORIGEM NO PONTO DE APLICACAO DOS ESFORCOS DE FLEXAO

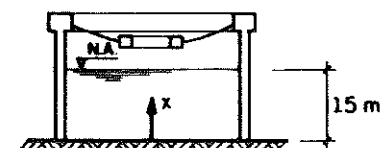
Xa	M1	M2
0.000E+00	-5.610E-01	-9.368E-02
3.000E-01	7.357E+00	1.229E+00
6.000E-01	1.179E+01	1.969E+00
9.000E-01	1.365E+01	2.279E+00
1.200E+00	1.371E+01	2.290E+00
1.500E+00	1.263E+01	2.110E+00

Xa	T	S2
0.000E+00	3.328E+01	4.958E+02
3.000E-01	2.006E+01	3.864E+02
6.000E-01	1.001E+01	2.853E+02
9.000E-01	2.803E+00	1.977E+02
1.200E+00	-2.009E+00	1.258E+02
1.500E+00	-4.905E+00	6.983E+01

RESERVATORIO CHEIO

ESFORCOS DE MEMBRANA DA PAREDE

X	S2
0.000E+00	1.500E+06
3.000E-01	1.470E+06
6.000E-01	1.440E+06
9.000E-01	1.410E+06
1.200E+00	1.380E+06
1.500E+00	1.350E+06
1.800E+00	1.320E+06
3.000E+00	1.200E+06
4.200E+00	1.080E+06
5.400E+00	9.600E+05
6.600E+00	8.400E+05
7.800E+00	7.200E+05
9.000E+00	6.000E+05
1.020E+01	4.800E+05
1.140E+01	3.600E+05
1.260E+01	2.400E+05
1.380E+01	1.200E+05
1.410E+01	9.000E+04
1.440E+01	6.000E+04
1.470E+01	3.000E+04
1.500E+01	8.731E-06



ORIENTAÇÃO DO EIXO x.

***** ESFORCOS DE FLEXAO NA COTA DO NIVEL MAXIMO *****

Hd = 0.000E+00
Md = 2.962E+03

***** ESFORCOS DE FLEXAO NA PAREDE *****

AS ABSCISSAS Xa TEM ORIGEM NO PONTO
DE APLICACAO DOS ESFORCOS DE FLEXAO

Xa	M1	M2
0.000E+00	2.962E+03	4.946E+02
3.000E-01	2.832E+03	4.729E+02
6.000E-01	2.518E+03	4.204E+02
9.000E-01	2.112E+03	3.527E+02
1.200E+00	1.682E+03	2.808E+02
1.500E+00	1.271E+03	2.122E+02

Xa	T	S2
0.000E+00	0.000E+00	3.372E+04
3.000E-01	-7.998E+02	2.017E+04
6.000E-01	-1.243E+03	9.904E+03
9.000E-01	-1.423E+03	2.567E+03
1.200E+00	-1.422E+03	-2.308E+03
1.500E+00	-1.305E+03	-5.220E+03

REACOES DE APOIO E ESFORCOS DE FLEXAO

FUNDO DO RESERVATORIO - ARTICULADO

Hp = -9.941E+04
Mp = 0.000E+00

ESFORCOS DE FLEXAO NA PAREDE

AS ABSCISSAS Xa TEM ORIGEM NO PONTO
DE APLICACAO DOS ESFORCOS DE FLEXAO

Xa	M1	M2
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.000E-01	-2.358E+04	-3.938E+03
6.000E-01	-3.665E+04	-6.120E+03
9.000E-01	-4.196E+04	-7.008E+03
1.200E+00	-4.191E+04	-6.999E+03
1.500E+00	-3.846E+04	-6.422E+03

Xa	T	S2
0.000E+00	-9.941E+04	-1.500E+06
3.000E-01	-5.946E+04	-1.166E+06
6.000E-01	-2.920E+04	-8.578E+05
9.000E-01	-7.568E+03	-5.919E+05
1.200E+00	6.805E+03	-3.745E+05
1.500E+00	1.539E+04	-2.056E+05

CAPÍTULO VII

7. COMENTÁRIOS FINAIS

7.1. - Algumas Recomendações para a Elaboração do Projeto

São muitas as variáveis envolvidas no projeto do reservatório estudado.

Evidentemente o volume do líquido a armazenar indicará, pelo menos em primeira aproximação o diâmetro da parede cilíndrica e a altura da coluna d'água. Para a definição da proporção entre eles deve ser feito estudo dos custos tendo em vista sua minimização.

Restam ainda a adoção das outras variáveis envolvidas, que são a espessura da casca, o raio interno da cobertura, o número de cabos e sua área transversal, a flecha da cobertura, as dimensões dos anéis interno e externo, as cargas permanentes, acidentais e as de protensão.

Esses valores deverão então ser arbitrados e através da utilização do programa desenvolvido, que fornece os esforços necessários cálculo da estrutura, são feitas verificações de suficiência dessas grandezas.

É possível com esse procedimento variar dimensões e cargas, calcular e obter o custo de cada alternativa, otimizando portanto o projeto.

Na sequência são dados alguns indicativos para nortear a escolha de dimensões, retirados de projetos de coberturas pênseis já executadas e anteriormente citadas. Infelizmente não foi possível estender o assunto face ao pequeno número de obras construídas com esse tipo de cobertura.

Como elementos de vedação para a cobertura, em três projetos similares executados, foram empregadas placas trapezoidais de concreto armado com espessura da ordem de quatro centímetros, Fig. 7.1, o que não implicará em excessivo peso próprio.

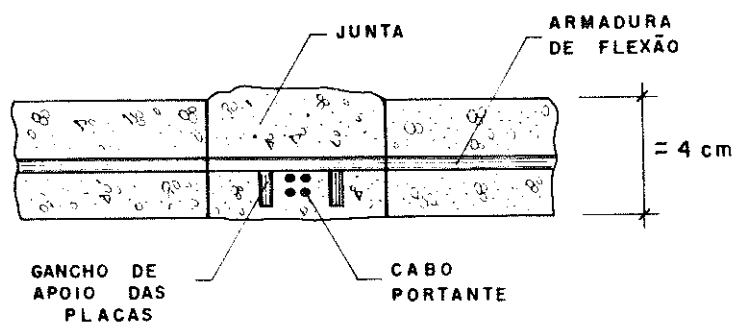


Fig. 7.1

Note-se que as placas suportam maiores esforços quando trabalham como lajes na fase de montagem da cobertura, estando solicitadas pelo peso próprio e pela carga de protensão, condicionantes do cálculo da espessura e respectivas armaduras.

É importante observar que os ganchos de apoio poderão ser o prolongamento da armadura de flexão das placas pré-moldadas. Esses ganchos devem ter comprimento adequado para permitir o deslocamento tangencial das placas, e ao mesmo tempo seção transversal suficiente para minimizar a sua flecha, Fig. 7.2.

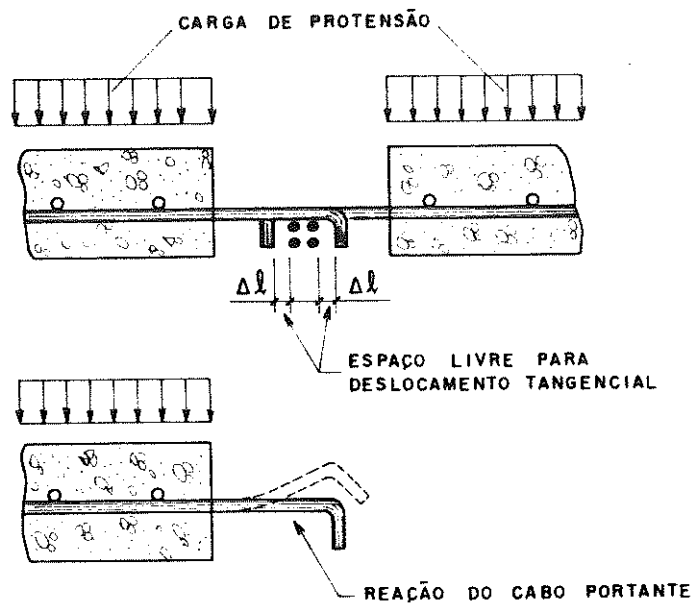


Fig. 7.2

Pode-se também utilizar a sugestão de BARBATO [1975] conforme Fig. 7.3, onde a armadura principal localiza-se próxima da face inferior das placas, ficando a junta com espessura maior que a das placas.

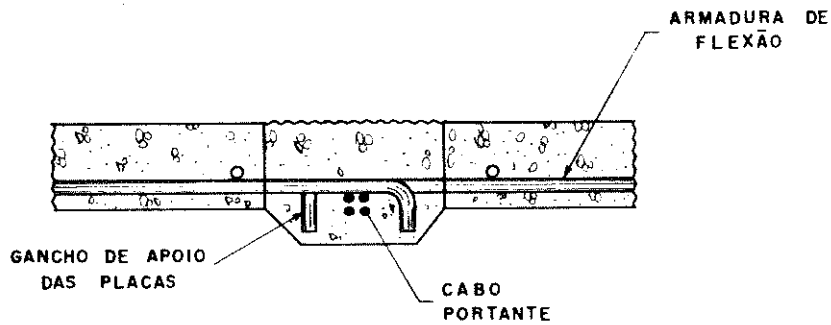


Fig. 7.3

Com relação ao número de cabos observa-se que sendo pequeno, a área transversal necessária será elevada, o que dificulta o alojamento nas juntas, Fig. 7.4, implicando também em maiores dimensões dos anéis, necessárias para ancoragem dos cabos.



Fig. 7.4

Ao mesmo tempo em razão do aumento do vão das placas, principalmente nas proximidades da borda externa, devem ser empregadas maiores espessuras e maiores taxas de armadura.

Por outro lado muitos cabos dificultam o alojamento no anel interno e aumentam em demasia o número de placas pré-moldadas, o que ocasiona excessiva mão de obra tanto para a execução das placas quanto para a concretagem das juntas, Fig. 7.5.

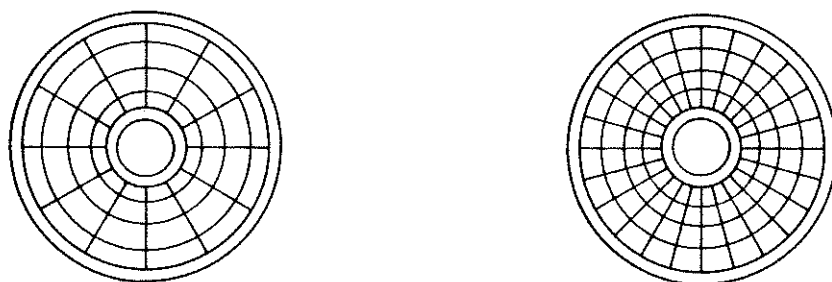


Fig. 7.5

O raio do anel interno deve ser fixado de maneira a não tornar muito pequena a dimensão das placas a ele adjacentes, o que conduzirá a problemas construtivos. Por outro lado, se aumentado em demasia, acresce-se o volume do cembre necessário para a execução e montagem do anel, Fig. 7.6, bem como das dimensões da tampa para inspeção.

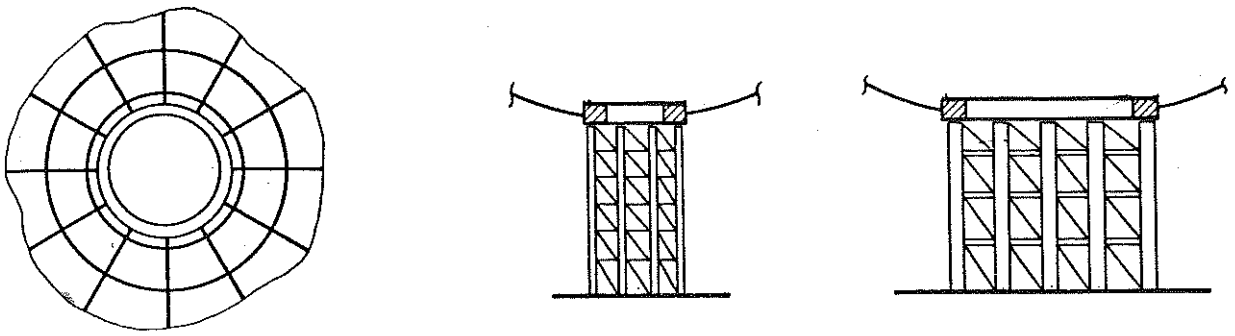


Fig. 7.6

A tampa de inspeção pode ser executada em chapa metálica, não introduzindo carregamentos importantes na cobertura.

A flecha desejável é fixada em função da altura mínima que se quer obter, lembrando que seu crescimento implicará no aumento das paredes do contorno com conseqüente aumento de custo. As coberturas similares observadas foram executadas com flechas da ordem de $1/10$ a $1/20$ do diâmetro, o que pode servir como uma primeira avaliação.

Note-se que sendo a flecha muito pequena em relação ao vão, resultarão esforços elevados nos cabos o que implica em grande seção transversal.

Deve ser prevista uma pequena folga entre a face inferior do anel interno e o nível máximo do líquido armazenado, necessária para a colocação dos equipamentos de drenagem de águas pluviais sendo a retirada feita através de canalização conforme sugerida na Fig. 7.7.

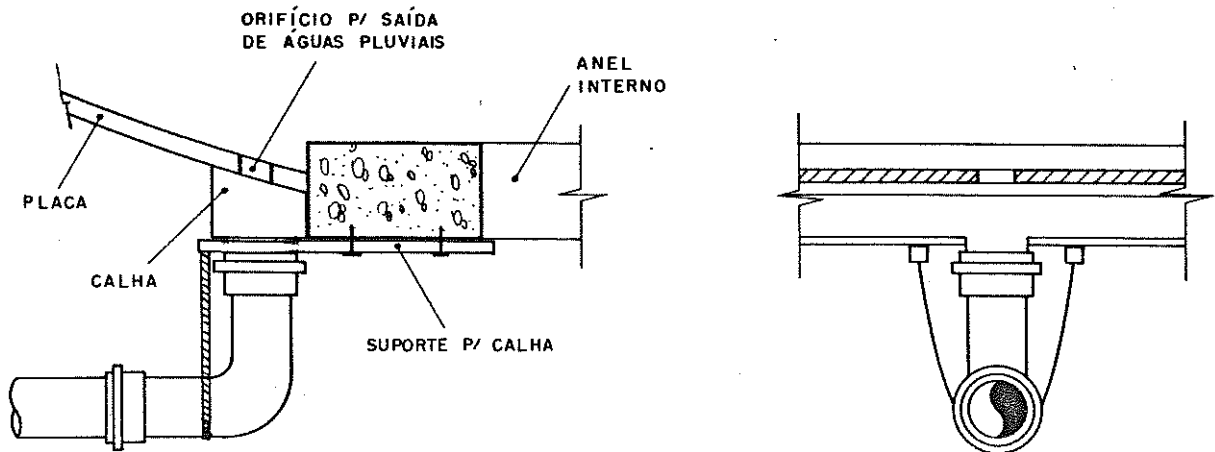


Fig. 7.7

Para a protensão das coberturas pênseis executadas em Montevideu, Araraquara foram colocados tijolos sobre as placas pré-moldadas. Na de Rolândia além dos tijolos foram empregados sacos plásticos contendo água e areia.

É interessante notar que nesse tipo de cobertura pode-se utilizar uma carga de protensão de pequeno valor, tendo em vista apenas melhorar o comportamento solidário entre as placas e os cabos.

Finalmente deve ser lembrado que nos reservatórios, a cobertura ficará sob a ação de vapores de cloro contido na água tratada, o que provocará um ataque às armaduras, em razão da pequena espessura das placas pré-moldadas. Sugere-se a aplicação de uma pintura protetora para evitar esse problema.

7.2 - Continuação da pesquisa

Como continuação da pesquisa pretende-se adaptar o programa desenvolvido para que seja possível estudar outras combinações de carregamento tendo em vista uma melhor avaliação do comportamento da casca.

Pretende-se também analisar a variação dos diferentes parâmetros que entram na composição do reservatório tendo em vista a obtenção de menor custo construtivo.

Poderão ser estudadas também cascas com meridianos definidos por outros tipos de carregamentos, com anéis de borda de seções transversais diferentes da adotada, bem como paredes de espessura variável submetidas a carregamentos diferentes dos já considerados.

Também pretende-se introduzir o comportamento da parede em sua parte superior como a de tubo curto, que é uma aproximação mais realista do que a adotada.

NOTA : A bibliografia citada vai além da necessária para o entendimento do trabalho, porém ela foi consultada pelo autor por tratar de temas relacionados com o projeto e cálculo de reservatórios.

CAPÍTULO VIII

8. BIBLIOGRAFIA

- ASSAN, A.E.; Reservatórios com Parede Ondulada: um enfoque pelo método dos Elementos Finitos. São Carlos, 1984. 490p. (Tese - Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos - USP).
- ADELI, H.; BALASUBRAMANYAN, K.V. Interactive Microcomputer-Aided Design of Circular Suspension Cable Roofs. Computer & Structures, Vol. 23. n.º 6. pp. 837-844, Great Britain, 1986.
- BAKER, E.H.; KOVALEVSKY L.; RISH, F.L. Structural Analysis of Shells. U.S.A., MacGraw-Hill, 1972. 351 p.
- BARBATO, R.L.A. Sobre o Comportamento Estático dos Cabos de Coberturas Pênseis. São Carlos, 1972. 89 p. (Dissertação - Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos - USP).

- BARBATO, R.L.A. Contribuição ao Estudo das Coberturas Pênseis em Casca Protendida de Revolução. São Carlos, 1975. 72 p. (Tese - Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos - USP).
- BARBATO, R.L.A. Introdução ao Cálculo de Coberturas Pênseis. Notas de Aulas. Disciplina de Pós-Graduação, Departamento de Estruturas - USP, São Carlos, 1984.
- BELLUZZI, O. Ciencia de la Construccion, Vol.III. Madrid, Aguillar, 1970. 691 p.
- BILLINGTON, D.P. Thin Shells Concrete Structures, U.S.A., MacGraw-Hill, 1965. 332 p.
- CAROLL, D.W. Programação em Turbo Pascal. São Paulo, MacGraw-Hill, 1988. 349 p.
- COMPANHIA SIDERÚRGICA BELGO-MINEIRA. Aços para Concreto Protendido, 1980.
- DORN, W.S.; MacCRACKEN, D.D. Cálculo Numérico com Estudos de Caso em Fortran IV, São Paulo, Editora Campus Ltda, 1981. 568 p.
- EL DEBS, M.K. Contribuição ao Cálculo das Cascas de Revolução Mediante Diferenças Finitas. São Paulo, 1976. 164 p. (Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos - USP).
- GRAVINA, P.B.J. Teoria e Cálculo das Cascas : Cascas de Revolução, Escolas Profissionais Salesianas. São Paulo, 1957. 355 p.
- HANAI, J.B. Reservatórios com Parede Ondulada. São Carlos, 1981. 128 p. (Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos - USP).

- HERGERT, DOUGLAS. Dominando o Turbo Pascal 5. Rio de Janeiro, Editora Ciência Moderna, 1989. 550 p.
- IABSE PERIODICA 3/1982. Elevated Water Tank near Bangalore (India). IABSE STRUCTURES C-22/82 : 48-49.
- LEONHARDT, F. Prestressed Concrete: Design and Practice, 2nd edition. Berlin, Ernst & Sohn, 1964. 677 p.
- MACHADO JR, E.F. Piscinas e Reservatórios de Argamassa Armada - São Carlos, 1978. 130 p. (Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos - USP).
- MARTINELLI, D.A.O. Cobertura Pênsil Resolve Templo Circular. O Dirigente Construtor, 4(2) : 37-40, 1967.
- MONTOYA, P.J.; MESEGUER, A.G.; CABRE, F.M. Hormigon Armado, Vol.I, Espanha, Editorial Gustavo Gili, S.A., 1973. 705 p.
- MOTIÑO, V.M.H. Contribuição ao Projeto dos Reservatórios Elevados em Casca Cônica - São Carlos, 1983. 281 p. (Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos - USP).
- PISKUNOV, N. Calculo Diferencial e Integral, Vols I e II, Moscu, Editorial Mir, 1969. 448 p.
- RAMASWAMY, G.S. Design and Construction of Concrete Shell Roofs, MacGraw-Hill, 1968. 641 p.
- ROCHA, F.S. Reservatório Cilíndrico de Concreto com Protensão "Trigonométrica", Engastamento Elástico no Pé e Cobertura Plana com Eventuais Apoios Internos. São Carlos, 1983. 177 p. (Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos - USP).

- SANTOS NETTO, P. Solicitações Normais : Cálculo no Estado Limite último. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1977. 52 p.
- TIMOSHENKO, S.; WOINOWSKY-KRIEGER, S. Teoria de Placas y Laminas. Espanha, URMO, 1970. 621 p.
- VASCONCELOS, A.C. Manual Prático para a Correta Utilização dos Aços no Concreto Protendido em Obediência às Normas Atualizadas. São Paulo, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1980. 64 p.
- VENTURINI, W.S. Contribuição ao Dimensionamento de Reservatórios Cilíndricos Protendidos. São Carlos, 1977. 153 p. (Dissertação - Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos - USP).
- ZAGOTTIS, D. Introdução à Teoria das Estruturas. Teoria das Placas e das Cascas. São Paulo, Escola Politécnica - USP, 1982. Cap. 38. 70 p.

9. ANEXOS : LISTAGENS DOS PROGRAMAS DESENVOLVIDOS

A N E X O 1

PROGRAMA ARQUIVOS

```
PROGRAM ARQUIVOS;
USES CRT;
```

```
TYPE REG = RECORD
```

```
    Uc,Uf,Vi          : STRING(15);
    Ea,Ec,Po,Es,Ri,Re,At,Fe,Pp,Ca,Cp,Cc,Ccl : REAL;
    Cap,Bae,Hae,Bai,Hai,Ap,Ep,Gama         : REAL;
    Nc                                       : INTEGER;
END;
```

```
VAR A: FILE OF REG;
R: REG;
AL: CHAR;
AI: INTEGER;
LABEL FIN;
```

```
PROCEDURE CRIAR;
```

```
VAR
```

```
    NONE_ARQ_SAIDA: STRING(14);
```

```
BEGIN
```

```
( ENTRADA DE DADOS PELO TECLADO - VAO SOMENTE PARA A MEMORIA PRINCIPAL )
```

```
    BEGIN
```

```
        WRITE('ENTRE COM O NOME DO ARQUIVO DE SAIDA : ');
        READLN(NOME_ARQ_SAIDA);
        WRITELN;
        WRITELN('ENTRADA DE DADOS');WRITELN;
        WRITE('UNIDADE DE COMPRIMENTO           = '); READLN(R.Uc);
        WRITE('UNIDADE DE FORCA                 = '); READLN(R.UF);
        WRITE('MODULO DE ELASTICIDADE DO ACO     = '); READLN(R.Ea);
        WRITE('MODULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO = '); READLN(R.Ec);
        WRITE('COEFICIENTE DE POISSON            = '); READLN(R.Po);
        WRITE('ESPESSURA DA CASCA               = '); READLN(R.Es);
        WRITE('RAIO INTERNO DA CASCA             = '); READLN(R.Ri);
        WRITE('RAIO EXTERNO DA CASCA            = '); READLN(R.Re);
        WRITE('NUMERO DE CABOS                   = '); READLN(R.Nc);
        WRITE('AREA TRANSVERSAL DO CABO         = '); READLN(R.At);
        WRITE('FLECHA DESEJAVEL                 = '); READLN(R.Fe);
        WRITE('PESO PROPRIO DAS PLACAS           = '); READLN(R.Pp);
        WRITE('CARGA ACIDENTAL NOS CABOS        = '); READLN(R.Ca);
        WRITE('CARGA ACIDENTAL NA CASCA         = '); READLN(R.Cap);
        WRITE('CARGA DE PROTENSAO                  = '); READLN(R.Cp);
        WRITE('CARGA CONCENTRADA NO CABO        = '); READLN(R.Cc);
        WRITE('CARGA DISTRIBUIDA NO ANEL        = '); READLN(R.Ccl);
        WRITE('BASE DO ANEL EXTERNO                  = '); READLN(R.Bae);
        WRITE('ALTURA DO ANEL EXTERNO                  = '); READLN(R.Hae);
        WRITE('BASE DO ANEL INTERNO                     = '); READLN(R.Bai);
        WRITE('ALTURA DO ANEL INTERNO                  = '); READLN(R.Hai);
        WRITE('NIVEL DO LIQUIDO ARMAZENADO              = '); READLN(R.Ap);
        WRITE('ESPESSURA DA PAREDE                     = '); READLN(R.Ep);
        WRITE('DENSIDADE DO LIQUIDO ARMAZENADO           = '); READLN(R.Gama);
        WRITELN('VINCULACAO DO FUNDO');
        WRITE('ENGASTE OU ARTICULACAO                   = '); READLN(R.Vi)
```

```
    END;
```


(GRAVACAO DOS REGISTROS NO ARQUIVO EM DISCO)

```
ASSIGN(A,NOME_ARQ_SAIDA);  
REWRITE(A);  
WRITE(A,R);  
CLOSE(A)
```

END;

PROCEDURE LISTAR;

VAR

NOME_ARQ_ENTR: STRING(14);

BEGIN

(EXIBICAO DOS DADOS QUE ESTAO NO DISCO)

```
WRITE('ENTRE COM O NOME DO ARQUIVO A MOSTRAR : ');  
READLN(NOME_ARQ_ENTR);  
WRITELN;WRITELN;  
ASSIGN(A,NOME_ARQ_ENTR);  
RESET(A);  
READ(A,R);  
CLOSE(A);
```

```
WRITELN('OS DADOS DO ARQUIVO ',NOME_ARQ_ENTR,' SAO : ');
```

BEGIN

```
WRITELN;  
WRITELN(' 1 - UNIDADE DE COMPRIMENTO           = ',R.Uc);  
WRITELN(' 2 - UNIDADE DE FORCA                   = ',R.Uf);  
WRITELN(' 3 - MODULO DE ELASTICIDADE DO ACO           = ',R.Ea:10);  
WRITELN(' 4 - MODULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO     = ',R.Ec:10);  
WRITELN(' 5 - COEFICIENTE DE POISSON                 = ',R.Po:10);  
WRITELN(' 6 - ESPESSURA DA CASCA                    = ',R.Es:10);  
WRITELN(' 7 - RAO INTERNO DA CASCA                   = ',R.Ri:10);  
WRITELN(' 8 - RAO EXTERNO DA CASCA                   = ',R.Re:10);  
WRITELN(' 9 - NUMERO DE CABOS                        = ',R.Nc);  
WRITELN('10 - AREA TRANSVERSAL DO CABO               = ',R.At:10);  
WRITELN('11 - FLECHA DESEJAVEL                       = ',R.Fe:10);  
WRITELN('12 - PESO PROPRIO DAS PLACAS                = ',R.Pp:10);  
WRITELN('13 - CARGA ACIDENTAL NOS CABOS              = ',R.Ca:10);  
WRITELN;WRITELN;  
WRITELN('APORTE UMA TECLA PARA CONTINUAR          ');  
READLN;  
WRITELN('14 - CARGA ACIDENTAL NA CASCA               = ',R.Cap:10);  
WRITELN('15 - CARGA DE PROTENSAO                     = ',R.Cp:10);  
WRITELN('16 - CARGA CONCENTRADA NO CABO              = ',R.Cc:10);  
WRITELN('17 - CARGA DISTRIBUIDA NO ANEL              = ',R.Cc1:10);  
WRITELN('18 - BASE DO ANEL EXTERNO                   = ',R.Bae:10);  
WRITELN('19 - ALTURA DO ANEL EXTERNO                = ',R.Hae:10);  
WRITELN('20 - BASE DO ANEL INTERNO                   = ',R.Bai:10);  
WRITELN('21 - ALTURA DO ANEL INTERNO                = ',R.Hai:10);  
WRITELN('22 - NIVEL DO LIQUIDO ARMazenADO            = ',R.Ap:10);  
WRITELN('23 - ESPESSURA DA PAREDE                   = ',R.Ep:10);  
WRITELN('24 - DENSIDADE DO LIQUIDO ARMazenADO        = ',R.Gama:10);  
WRITELN('25 - VINCULACAO DO FUNDO                    = ',R.Vi);
```

END;

END;

PROCEDURE ALTERAR;

VAR ALA: CHAR;
AIA: INTEGER;
NOME_ARQ_ENTR: STRING(14);

BEGIN

(ALTERACAO DOS DADOS QUE ESTAO NO DISCO)

WRITE('ENTRE COM O NOME DO ARQUIVO A ALTERAR : ');

READLN(NOME_ARQ_ENTR);

ASSIGN(A,NOME_ARQ_ENTR);

REPEAT

CLRSCL;

WRITELN('ALTERANDO O ARQUIVO ',NOME_ARQ_ENTR);

WRITELN;WRITELN;WRITELN;

WRITE('MODIFICAR A VARIÁVEL NUMERO ');READLN(AIA);WRITELN;

CASE AIA OF

- 1 : BEGIN WRITE('ENTRE COM A UNIDADE DE COMPRIMENTO = ');
READLN(R.Uc) END;
- 2 : BEGIN WRITE('ENTRE COM A UNIDADE DE FORÇA = ');
READLN(R.Uf) END;
- 3 : BEGIN WRITE('ENTRE COM O MÓDULO DE ELASTICIDADE DO AÇO = ');
READLN(R.Ea) END;
- 4 : BEGIN WRITE('ENTRE COM O MÓDULO DE ELAST. DO CONCRETO = ');
READLN(R.Ec) END;
- 5 : BEGIN WRITE('ENTRE COM O COEFICIENTE DE POISSON = ');
READLN(R.Po) END;
- 6 : BEGIN WRITE('ENTRE COM A ESPESSURA DA CASCA = ');
READLN(R.Es) END;
- 7 : BEGIN WRITE('ENTRE COM O RAIO INTERNO DA CASCA = ');
READLN(R.Ri) END;
- 8 : BEGIN WRITE('ENTRE COM O RAIO EXTERNO DA CASCA = ');
READLN(R.Re) END;
- 9 : BEGIN WRITE('ENTRE COM O NÚMERO DE CABOS = ');
READLN(R.Nc) END;
- 10 : BEGIN WRITE('ENTRE COM A ÁREA TRANSVERSAL DO CABO = ');
READLN(R.At) END;
- 11 : BEGIN WRITE('ENTRE COM A FLECHA DESEJÁVEL = ');
READLN(R.Fe) END;
- 12 : BEGIN WRITE('ENTRE COM O PESO PRÓPRIO DAS PLACAS = ');
READLN(R.Pp) END;
- 13 : BEGIN WRITE('ENTRE COM A CARGA ACIDENTAL NOS CABOS = ');
READLN(R.Ca) END;
- 14 : BEGIN WRITE('ENTRE COM A CARGA ACIDENTAL NA CASCA = ');
READLN(R.Cap) END;
- 15 : BEGIN WRITE('ENTRE COM A CARGA DE PROTENSÃO = ');
READLN(R.Cp) END;
- 16 : BEGIN WRITE('ENTRE COM A CARGA CONCENTRADA NO CABO = ');
READLN(R.Cc) END;
- 17 : BEGIN WRITE('ENTRE COM A CARGA DISTRIBUÍDA NO ANEL = ');
READLN(R.Cc1) END;
- 18 : BEGIN WRITE('ENTRE COM A BASE DO ANEL EXTERNO = ');
READLN(R.Bae) END;

```

19 : BEGIN WRITE('ENTRE COM A ALTURA DO ANEL EXTERNO           = ');
      READLN(R.Hae) END;
20 : BEGIN WRITE('ENTRE COM A BASE DO ANEL INTERNO             = ');
      READLN(R.Dai) END;
21 : BEGIN WRITE('ENTRE COM A ALTURA DO ANEL INTERNO         = ');
      READLN(R.Hai) END;
22 : BEGIN WRITE('ENTRE COM O NIVEL DO LIQUIDO ARMAZENADO      = ');
      READLN(R.Ap) END;
23 : BEGIN WRITE('ENTRE COM A ESPESSURA DA PAREDE            = ');
      READLN(R.Ep) END;
24 : BEGIN WRITE('ENTRE COM A DENSIDADE DO LIQUIDO ARMAZENADO = ');
      READLN(R.Gama) END;
25 : BEGIN WRITE('ENTRE COM A VINCULACAO DO FUNDO             = ');
      READLN(R.Vi) END
END;
RESET(A);
SEEK(A,0);
WRITE(A,R);
CLOSE(A);
WRITELN;WRITELN;WRITELN;WRITELN;
WRITE('DESEJA ALTERAR MAIS VARIAVEIS ? s/n           ');READLN(ALA);
WRITELN;WRITELN;WRITELN;WRITELN;
UNTIL ALA IN ['n','N'];
END;

```

(PROGRAMA PRINCIPAL)

```

BEGIN
  CLRSCR;
  WRITELN('ARQUIVOS DE DADOS A UTILIZAR NO CALCULO DE COBERTURA');
  WRITELN;
  WRITELN('PENSIL EM CASCA PROTENDIDA DE ELEMENTOS PRE-MOLDADOS');
  WRITELN;
  WRITELN('COM APLICACAO AO PROJETO DE RESERVATORIOS CILINDRICOS');
  WRITELN;
  WRITELN('DE CONCRETO');
  WRITELN;WRITELN;
  WRITELN;WRITELN('Eng. ANTONIO CARLOS RIGITAND');
  WRITELN;WRITELN;WRITELN;WRITELN;
  WRITELN('ATENCAO');WRITELN;
  WRITELN('Este programa cria um arquivo existente de mesmo nome. ');
  WRITELN;
  WRITELN('Verifique seu Directorio antes de prosseguir ! ');WRITELN;
  WRITE('Directorio verificado ? s/n           ');READLN(AL);
  IF AL IN ['s','S'] THEN BEGIN
    REPEAT
      CLRSCR;
      WRITELN('ESCOLHA A OPCAO DE TRABALHO COM OS ARQUIVOS');WRITELN;WRITELN;
      WRITELN;WRITELN;WRITELN;
      WRITELN(' 1 - CRIAR NOVO ARQUIVO');WRITELN;
      WRITELN(' 2 - LISTAR ARQUIVO NA TELA');WRITELN;
      WRITELN(' 3 - ALTERAR DADOS DE ARQUIVO EXISTENTE');WRITELN;
      WRITELN(' 4 - SAIR');
      WRITELN;WRITELN;WRITELN;WRITELN;WRITELN;
      WRITE('DIGITE SUA OPCAO           ');READLN(AI);
      CLRSCR;
    UNTIL AI IN ['1','2','3','4'];
  END;

```

```
CASE AI OF
  1 : CRIAR;
  2 : LISTAR;
  3 : ALTERAR;
  4 : GOTO FIN
END;
WRITELN;
WRITE('RETORNAR AO MENU DE TRABALHO COM OS ARQUIVOS ? s/n ');
READLN(AL);
CLRSCR;
UNTIL AL IN ['n','N'];
END;
FIN:
END.
```

A N E X O 2

PROGRAMA RESERVAT

(ANALISE DE COBERTURA PENSIL EM CASCA PROTENDIDA DE ELEMENTOS PRE-MOLDADOS
COM APLICACAO AO PROJETO DE RESERVATORIOS CILINDRICOS DE CONCRETO)

PROGRAM RESERVATORIO;
USES CRT;

(VARIAVEIS DO PROBLEMA : U_c = UNIDADE DE COMPRIMENTO, U_f = UNIDADE DE FOR-
CA, V_i = VINCULACAO DO FUNDO, E_a = MODULO DE ELASTICIDADE DO
ACO, E_c = MODULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO, PO = COEFICIENTE
DE POISSON, E_s = ESPESSURA DA CASCA, R_i = RAI0 INTERNO, R_e = RAI0 EXTERNO,
A_t = AREA TRANSVERSAL DO CABO, F_e = FLECHA DESEJAVEL, FL = FLECHA,
P_p = PESO PROPRIO DAS PLACAS, C_a = CARGA ACIDENTAL, C_p = CARGA DE PROTEN-
CAO, C_c = CARGA CONCENTRADA NO CABO, C_{cl} = CARGA DISTRIBUIDA NO ANEL
INTERNO , C_{ap} = CARGA ACIDENTAL NA COBERTURA, B_{ae},H_{ae},B_{ai},H_{ai} = BASE E
ALTURA DOS ANEIS INTERNO E EXTERNO, AP = COTA DO NIVEL MAXIMO DO LIQUIDO
ARMAZENADO, E_p = ESPESSURA DA PAREDE, G_{ama} = DENSIDADE DO LIQUIDO ARMAZE-
NADO, N_c = NUMERO DE CABOS, G = CARGA DISTRIBUIDA NA CASCA, H = FORCA HO-
RIZONTAL INCOGNITA DO PROBLEMA, XL,XR, YL,YR = AUXILIARES P/ DETERMINACAO
DA FORCA HORIZONTAL H, HPAR = FORCA HDRIZONTAL P/ CARGA VARIAVEL DISTRIBUI-
DA NO VAO. E A PARTIDA P/ AVALIACAO DE H POIS SEMPRE H) HPAR, D =
AUXILIAR P/ IMPRIMIR OU NAO AS ORDENADAS E ABCISSAS DA CATENARIA, X =
ABCISSA QUALQUER, HHA,HHB,MMB = HIPERESTATICOS, HLA = ESFORCO DE FLEXAO
DA CUPULA, Req = RAI0 DA ESFERA EQUIVALENTE, FI_c = ANGULO DA ESFERA EQUI-
VALENTE, P1 = CARGA CONCENTRADA NO ANEL INTERNO, G1 = CARGA DISTRIBUIDA NA
CASCA)

TYPE REG = RECORD

U_c,U_f,V_i : STRING(15);
E_a,E_c,P_o,E_s,R_i,R_e,A_t,F_l,P_p,C_a,C_p,C_c,C_{cl} : REAL;
C_{ap},B_{ae},H_{ae},B_{ai},H_{ai},A_p,E_p,G_{ama} : REAL;
N_c : INTEGER;
END;

VAR A : FILE OF REG;
R : REG;
H,G,Ho,DELTA F,FLECHA,FL,X,HHA,HHB,MMB,HLA,Req,FI_c : REAL;
P1,G1 : REAL;
VER : INTEGER;
NOME_ARQ_ENTRADA : STRING(14);
NOME_ARQ_SAIDA : STRING(14);
RES : TEXT;

(ROTINA - POTENCIA)

FUNCTION POT(U:REAL;E:INTEGER): REAL;
VAR Z : REAL;

BEGIN
Z:=1;
WHILE E > 0 DO
BEGIN
E:=E-1;
Z:=Z*U;
END;
POT:= Z
END; (POT)

(ROTINA - CALCULO DE SEND-HIPERBOLICO)

FUNCTION SENH(U:REAL) : REAL;

BEGIN

SENH:=(EXP(U)-EXP(-U))/2

END;

(ROTINA - CALCULO DO COSSEND-HIPERBOLICO)

FUNCTION COSH(V:REAL) : REAL;

BEGIN

COSH:=(EXP(V)+EXP(-V))/2

END;

(ROTINA - CALCULO DE ORDENADAS 'Y' DA CURVA, DADOS 'M' = FORÇA HORIZONTAL E
'N' = DISTANCIA HORIZONTAL)

FUNCTION Y(M,N:REAL): REAL;

VAR A,C1,A1 : REAL;

BEGIN

A:=PI*G/R.Nc/M;

C1:=LN(R.Cc/M+SQRT(SQR(R.Cc/M)+1))-A*(SQR(R.Ri)-SQR(R.Re));

A1:=(POT(N,3)/3-SQR(N)*R.Re)*A+N*C1;

A1:=A1+(POT(N,7)/42-POT(N,6)/6*R.Re)*POT(A,3);

A1:=A1+(POT(N,5)/10*A+POT(N,3)/6*C1)*(C1+4*A*SQR(R.Re))*A;

A1:=A1-POT(N,4)/6*(3*C1+2*A*SQR(R.Re))*R.Re*SQR(A);

A1:=A1-SQR(N)/2*R.Re*SQR(C1)*A+N*POT(C1,3)/6;

Y:=A1

END; (FUNCTION Y)

(CALCULO DA DERIVADA DA CURVA DADOS 'M' = FORÇA HORIZONTAL E 'N' = DISTAN-
CIA HORIZONTAL)

FUNCTION DY(M,N:REAL) : REAL;

VAR A,C1 : REAL;

BEGIN

A:=PI*G/R.Nc/M;

C1:=LN(R.Cc/M+SQRT(SQR(R.Cc/M)+1))-A*(SQR(R.Ri)-SQR(R.Re));

DY:=Senh(A*(N*N-2*R.Re*N)+C1)

END; (FUNCTION DY)

(ROTINA - CALCULO DA FORÇA HORIZONTAL H POR BISSECCAO DO INTERVALO XL - XR
ONDE ESTA LOCALIZADA)

PROCEDURE CALC_H;

LABEL SAIDA_DE_ERRO;

(VARIAVEIS DA ROTINA : DELTA = ACRESCIMO DADO A XL PARA OBTER XR, YL = FUN-
CAO QUE SE ANULA CASO H = XL, YL IDEM CASO H = XR, X = MEDIA ENTRE XL E XR
PARA DIMINUIR O INTERVALO ONDE ESTA H, YY = FUNCAO QUE SE ANULA CASO H =
X)

VAR DELTA,YY,X,XL,XR,YL,YR,HPAR : REAL;

BEGIN

XL:=((R.Re-R.Ri)*(R.Re+2*R.Ri)/3+R.Nc*R.Cc/PI/G)*(R.Re-R.Ri);

XL:=XL*PI*G/R.Nc/R.F1;

HPAR:=XL;

```

DELTA:=XL/1000;
REPEAT
  XR:=XL+DELTA;
  YL:=Y(XL,R.Re-R.Ri)-R.F1;
  YR:=Y(XR,R.Re-R.Ri)-R.F1;
  IF XR/HPAR >= 1.1 THEN BEGIN
    WRITELN(RES,'RAIZ NAO ENCONTRADA NO INTERVALO ',XL:10:3,' E ',XR:10:3);
    GOTO SAIDA_DE_ERRO
  END;
  XL:=XR
UNTIL YL*YR (<= 0);
XL:=XR-DELTA;
IF (YL = 0) OR (YR = 0) THEN BEGIN
  IF YL = 0 THEN H:=XL
  ELSE H:=XR;
END ELSE
BEGIN
  REPEAT
    IF (XR-XL )= 0.0001) THEN BEGIN
      X:=(XL+XR)/2;
      YY:=Y(X,R.Re-R.Ri)-R.F1;
      IF (YL*YY = 0) THEN BEGIN
        H:=X;
      END ELSE
        IF (YL*YY ) 0) THEN BEGIN
          XL:=X;
          YL:=YY
        END ELSE
          BEGIN
            XR:=X;
            YR:=YY
          END
        END ( IF (XR-XL )= 0.0001 )
    UNTIL (XR-XL < 0.0001) OR (YL*YY = 0);
    IF XR-XL < 0.0001 THEN BEGIN
      H:=(XR+XL)/2;
    END
  END; ( ELSE / IF (YL=0) OR (YR=0)... )
SAIDA_DE_ERRO:
END; ( CALC_H )

( ROTINA - CALCULO DAS INCLINACOES DOS APOIOS )

PROCEDURE CALC_I;
VAR IA,IB: REAL;

BEGIN
  IA:=(ARCTAN(DY(H,0)))*57.2957795;
  IB:=(ARCTAN(DY(H,R.Re-R.Ri)))*57.2957795;
  WRITELN(RES,'INCLINACAO DO APOIO A = ',IA:10:2,' Graus');WRITELN(RES);
  WRITELN(RES,'INCLINACAO DO APOIO B = ',IB:10:2,' Graus');WRITELN(RES)
END; ( CALC_I )

```

(ROTINA - CALCULO DO COMPRIMENTO DO CABO)

PROCEDURE CALC_S;

VAR A,C1,B,A1,S: REAL;

BEGIN

A:=PI*G/R.Nc/H;

C1:=LN(R.Cc/H+SQR(SQR(R.Cc/H)+1))-A*(SQR(R.Ri)-SQR(R.Re));

B:=R.Re-R.Ri;

A1:=B+(POT(B,5)/10-POT(B,4)/2*R.Re)*SQR(A)+POT(B,3)/3*(C1+2*A*SQR(R.Re))*A;

A1:=A1-SQR(B)*A*R.Re*C1+B*SQR(C1)/2+(POT(B,9)/216-POT(B,8)/24*R.Re)*POT(A,4);

A1:=A1+(POT(B,7)/42*SQR(A)+POT(B,3)/18*SQR(C1))*(C1+6*A*SQR(R.Re))*A;

A1:=A1-(POT(B,6)/18*A+POT(B,4)/12*C1)*(3*C1+4*A*SQR(R.Re))*SQR(A)*R.Re;

A1:=A1+POT(B,5)/60*(3*C1+24*A*SQR(R.Re)*C1+8*SQR(A)*POT(R.Re,4))*SQR(A);

S:=A1-SQR(R.Re)/6*A*R.Re*POT(C1,3)+B/24*POT(C1,4);

WRITELN(RES,'COMPRIMENTO DO CABO = ',S:10:2);WRITELN(RES)

END; (CALC_S)

(ROTINA - CALCULO DA TRACAO NAS DIVERSAS ORDENADAS)

PROCEDURE CALC_T;

VAR X,T: REAL;

BEGIN

WRITELN(RES,'FORCA DE TRACAO NA ORDENADA X');WRITELN(RES);

X := 0;

WHILE X(<= (R.Re-R.Ri) DO BEGIN

T:=-H*(SQR(1+SQR(DY(H,X))));

WRITELN(RES,'X = ',X:10:2,' ',T = ',T:15:2);

X:=X+(R.Re-R.Ri)

END

END; (CALC_T)

(ROTINA - CALCULO DAS ORDENADAS X E Y DA CURVA)

PROCEDURE CALC_Y;

VAR X,YY: REAL;

BEGIN

WRITELN(RES,'ORDENADAS E ABSCISSAS');WRITELN(RES);

X:= 0;

WHILE X(<= (R.Re-R.Ri) DO BEGIN

YY:=Y(H,X);

WRITELN(RES,'X = ',X:10:2,' ',Y = ',YY:10:2);

X:=X+(R.Re-R.Ri)/10

END

END; (CALC_Y)

(ANALISE DA INFLUENCIA DA DEFORMACAO DO CABO)

PROCEDURE CALC_H1;

(VARIAVEIS DA ROTINA : AO,CO,K = ELEMENTOS DO EQUACIONAMENTO DOS CABOS ,A,B,
C COEFICIENTES PARA FORMACAO DA EQUACAO DO SEGUNDO GRAU QUE FORNECE H1,DEL-
TA = PARA SOLUCAO DE EQUACAO DO SEGUNDO GRAU, X1 e X2 = RAIZES DA EQUACAO
DO SEGUNDO GRAU)

VAR FO,AO,CO,K,A,B,C,DELTA,X1,X2 : REAL;

BEGIN

FO:=R.F1;

AO:=PI*G/R.Nc/Ho;

CO:=LN(R.Cc/Ho+SQR(SQR(R.Cc/Ho)+1))-AO*(SQR(R.Ri)-SQR(R.Re));

K :=POT((R.Re-R.Ri),4)*SQR(AO)*((R.Re-R.Ri)/5-R.Re);

K := K+2/3*POT((R.Re-R.Ri),3)*AO*(2*AO*SQR(R.Re)+CO);

K :=K-2*SQR(R.Re-R.Ri)*AO*R.Re*CO+(R.Re-R.Ri)*SQR(CO);

A :=SQR(R.Re-R.Ri)+K*(R.Re-R.Ri)/2+DELTA*FO+SQR(FO);

B :=(R.Re-R.Ri)*(R.Ea*R.At+Ho)*K-(R.Ea*R.At+Ho)*SQR(FO);

B := B-R.Ea*R.At*DELTA*FO;

C :=-R.Ea*R.At*Ho*((R.Re-R.Ri)*K-SQR(FO));

(CALCULO DA MAIOR RAIZ POSITIVA DE EQUACAO DO SEGUNDO GRAU)

IF A=0 THEN

WRITELN('PROBLEMA SEM SOLUCAO. OS RESULTADOS SEGUINTE NAO SAO VALIDOS');

DELTA:= SQR(B)-4*A*C;

IF DELTA < 0 THEN

WRITELN('PROBLEMA SEM SOLUCAO. OS RESULTADOS SEGUINTE NAO SAO VALIDOS');

X1:=(-B+SQR(DELTA))/2/A;

X2:=(-B-SQR(DELTA))/2/A;

IF (X1<0) And (X2<0) THEN

WRITELN('PROBLRMA SEM SOLUCAO. OS RESULTADOS SEGUINTE NAO SAO VALIDOS');

IF X1> X2 THEN

H:=X1

ELSE

H:=X2

END; (CALC_H1)

(ROTINA - CALCULO DO ACRESCIMO DA FLECHA DELTAF CAUSADA PELA DEFORMACAO DO CABO POR BISSECCAO DO INTERVALO XL - XR ONDE ESTA LOCALIZADA)

PROCEDURE CALC_DELTAF;
 LABEL SAIDA_DE_ERRO;

(VARIAVEIS DA ROTINA : DELTA = ACRESCIMO DADO A XL PARA OBTER XR, YL = FUNCAO QUE SE ANULA CASO DELTAF = XL, YL IDEM CASO DELTAF = XR, X = MEDIA ENTRE XL E XR PARA DIMINUIR O INTERVALO ONDE ESTA DELTAF, YY = FUNCAO QUE SE ANULA CASO DELTAF = X)

VAR FO,DELTA,YY,X,XL,XR,YL,YR : REAL;

BEGIN

FO :=R.FI;

XL := 0;

DELTA := FO/20;

REPEAT

XR := XL + DELTA;

DELTAF := XL;

CALC_H1;

YL := Y(H,R.Re-R.Ri)-(FO+DELTAF);

DELTAF := XR;

CALC_H1;

YR := Y(H,R.Re-R.Ri)-(FO+DELTAF);

IF XR)= 10 THEN BEGIN

WRITELN('DELTA NAO ENCONTRADO NO INTERVALO ZERO E DEZ');

WRITELN(RES,'DELTA NAO ENCONTRADO NO INTERVALO ZERO E DEZ');

GOTO SAIDA_DE_ERRO

END;

XL := XR

UNTIL YL*YR (<= 0;

XL := XR - DELTA;

IF (YL = 0) OR (YR = 0) THEN BEGIN

IF YL = 0 THEN DELTAF:= XL

ELSE DELTAF := XR;

END ELSE

BEGIN

REPEAT

IF (XR-XL)=0.0001) THEN BEGIN

X := (XL+XR)/2;

DELTAF := X;

CALC_H1;

YY := Y(H,R.Re-R.Ri)-(FO+DELTAF);

IF (YL*YY=0) THEN BEGIN

DELTAF := X;

END ELSE

IF (YL*YY)0) THEN BEGIN

XL := X;

YL := YY

END ELSE

BEGIN

XR := X;

YR := YY

END

END (IF (XR-XL)= 0.0001)

UNTIL (XR-XL<0.0001) OR (YL*YY=0);

```

if XR-XL(0.0001 THEN BEGIN
  DELTAF := (XR+XL)/2;
  END
END; ( ELSE / IF (YL=0) OR (YR=0)... )
SAIDA_DE_ERRO:
END; ( CAIC_DELTAF )

( ROTINA - CALCULO DOS ESFORCOS DA MEMBRANA PROTENDIDA )
PROCEDURE ESF_DESL;

( A,C1 = CONSTANTES DO EQUACIONAMENTO DOS CABOS, KK = VARIAVEL PARA CALCULO
  DE NFI,NTETA = ESFORCOS DA MEMBRANA )

```

```

VAR
  A,C1,KK,NFI,NTETA : REAL;

BEGIN
  A:=PI*g/R.Nc/H;
  C1:=LN(R.Cc/H+SQR(SQR(R.Cc/H)+1))-A*SQR(R.Ri);
  KK:=(POT(X,6)-POT(R.Ri,6))/3*SQR(A)+(POT(X,4)-POT(R.Ri,4))*A*C1;
  KK:=KK+(SQR(X)-SQR(R.Ri))*(2+SQR(C1));
  KK:=G1/4*KK+PI*R.Ri;
  NFI:=-KK/X/SENH(A*SQR(X)+C1)*COSH(A*SQR(X)+C1);
  NTETA:=-X/SENH(A*SQR(X)+C1)*(G1-2*A*KK/SENH(A*SQR(X)+C1));
  WRITELN(RES,X:10,'      ',NFI:10,'      ',NTETA:10)
END; ( ESF_DESL )

```

```

( ROTINA - CALCULO DOS ESFORCOS NA LIGACAO CASCA-ANEL-PAREDE )
PROCEDURE CALC_HIPER;

```

```

( A,C1 = CONSTANTES DO EQUACIONAMENTO DOS CABOS; KK = VARIAVEL PARA CALCULO
  DE NFI = ESFORCO DE MEMBRANA NO MERIDIANO; DR = DESLOCAMENTO RADIAL DE
  MEMBRANA; ZL = DERIVADA DA CASCA PARA O RAO EXTERNO; FI_c = ANGULO DA CAS
  CA PARA O RAO EXTERNO UTILIZADO COMO ANGULO DA CASCA ESFERICA EQUIVALENTE;
  Req = RAO DA CASCA ESFERICA EQUIVALENTE (variavel global); ALFA_c,BETA_c =
  AUXILIARES DO CALCULO DOS COEFICIENTES ELASTICOS DA CASCA; KSI_hc = COEFI
  CIENTE ELASTICO DA CASCA ESFERICA; HI = COMPONENTE HORIZONTAL DO ESFORCO
  NFI DE MEMBRANA; KSI_ha,FI_ma = COEFICIENTES ELASTICOS DO ANEL EXTERNO;
  BETA_p, B_p,ALFA_p = AUXILIARES DO CALCULO DOS COEFICIENTES ELASTICOS DA
  PAREDE; KSI_hp, FI_hp, FI_mp = COEFICIENTES ELASTICOS DA PAREDE; DET = DE
  TERMINANTE DO SISTEMA 3X3 QUE FORNECE OS ESFORCOS HIPERESTATICOS )

```

```

VAR
  A,C1,KK,NFI,DR,ZL,ALFA_c,BETA_c,KSI_hc,HI,KSI_ha,FI_ma      : REAL;
  BETA_p,B_p,ALFA_p,KSI_hp,FI_hp,FI_mp,DET                  : REAL;

```

```

BEGIN
( DETERMINACAO DO DESLOCAMENTO DE MEMBRANA E COEFICIENTES ELASTICOS )
  A:=PI*g/R.Nc/H;
  C1:=LN(R.Cc/H+SQR(SQR(R.Cc/H)+1))-A*SQR(R.Ri);
  KK:=(POT(R.Re,6)-POT(R.Ri,6))/3*SQR(A)+(POT(R.Re,4)-POT(R.Ri,4))*A*C1;
  KK:=KK+(SQR(R.Re)-SQR(R.Ri))*(2+SQR(C1));
  KK:=G1/4*KK+PI*R.Ri;
  NFI:=-KK/R.Re/SENH(A*SQR(R.Re)+C1)*COSH(A*SQR(R.Re)+C1);

```

```

DR:=R.Re/R.Ec/R.Es/SENH(A*SQR(R.Re)+C1);
DR:=DR*(-G1*R.Re+KK*(2*A*R.Re/SENH(A*SQR(R.Re)+C1)+R.Po/R.Re*COSH(A*SQR(R.Re)+C1)));
( COEFICIENTES ELASTICOS DA CASCA ESFERICA - GECKELER )
ZL:=SENH(A*R.Re*R.Re+C1);
FI_c:=PI/2-ARCTAN((1/SQR(1+ZL*ZL))/SQR(1-(SQR((1/SQR(1+ZL*ZL))))));
Req:=-R.Re/SIN(FI_c);
ALFA_c:=SQR(SQR(3*(1-SQR(R.Po))))/SQR(Req*R.Es);
BETA_c:=R.Ec*R.Es/SQR(Req);
KSI_hc:=2*ALFA_c*SQR(SIN(FI_c))/BETA_c;
H1:=NFI*COS(FI_c);
( COEFICIENTES ELASTICOS - ANEL )
kSI_ha:=SQR(R.Re)/(R.Ec*R.Bae*R.Hae);
FI_ma:=12*SQR(R.Re)/(R.Ec*R.Bae*R.Hae*R.Hae*R.Hae);
( COEFICIENTES ELASTICOS - PAREDE )
BETA_p:=R.Ec*R.Ep/SQR(R.Re);
B_p:=R.Ec*R.Ep*R.Ep*R.Ep/12/(1-SQR(R.Po));
ALFA_p:=SQR(SQR(BETA_p/4/B_p));
KSI_hp:=1/(2*ALFA_p*ALFA_p*ALFA_p*B_p);
FI_hp:=1/(2*ALFA_p*ALFA_p*B_p);
FI_mp:=4*ALFA_p*ALFA_p*ALFA_p/BETA_p;
( SOLUCAO DO SISTEMA )
DET:=(KSI_hc+KSI_ha)*(KSI_hp+KSI_ha)*(FI_mp+FI_ma);
DET:=DET-FI_hp*FI_hp*(KSI_hc+KSI_ha);
DET:=DET-KSI_ha*KSI_ha*(FI_mp+FI_ma);
HHA:=((KSI_hp+KSI_ha)*(FI_mp+FI_ma)-(FI_hp*FI_hp))/DET*(-DR+KSI_hc*H1);
HHB:=-KSI_ha*(FI_mp+FI_ma)/DET*(-DR+KSI_hc*H1);
HMB:=-KSI_ha*FI_hp/DET*(-DR+KSI_hc*H1);
HLA:=HHA-H1
END;

```

PROCEDURE GECKELER;

(ANALISE DOS EFEITOS DE BORDO EM CASCA ESFERICA PELA SOLUCAO DE GECKELER -
VARIAVEIS DO PROGRAMA : GAMA = CONSTANTE QUE APARECE NA SOLUCAO DE GECKELER;
C = CONSTANTE DE INTEGRACAO FUNCAD DAS CONDICÕES DE CONTORNO UTILIZADAS
NO CALCULO DOS ESFORÇOS; X = ABCISSA PARA CALCULO DOS ESFORÇOS DE
PERTURBACAO, M3 = CONSTANTE AUXILIAR. AS DEMAIS VARIAVEIS SAO ESFORÇOS E
DEFORMACOES DA SOLUCAO DE GECKELER)

VAR

GAMA,CC,X,TETA,W,TT,N1,N2,M1,M2,M3,FI : REAL;

BEGIN

```

GAMA:=SQR(SQR(3*(1-SQR(R.Po))))*SQR(Req/R.Es);
CC:=HLA*SIN(FI_c)/SIN(3*PI/4);
WRITELN(RES,'***** ESFORÇOS DE FLEXAO NA BORDA EXTERNA *****');
WRITELN(RES);
WRITELN(RES);
WRITELN(RES,' X', ' N1 ', ' N2');
WRITELN(RES);
X:=0.84*R.Re+0.16*R.Ri;
REPEAT
TETA:=ARCTAN(X/Req/SQR(1.0-(SQR(X/Req))));
( A EXPRESSAO NAO VALE PARA X/Req = 1 -- CASCA SEMIESFERICA )
W:=FI_c-TETA;

```

```

M1:=COS(TETA)/SIN(TETA)*CC*EXP(-GAMA*W)*SIN(GAMA*W+3*PI/4);
M2:=1.41421*GAMA*CC*EXP(-GAMA*W)*SIN(GAMA*W+2*PI/4);

WRITELN(RES,X:10,'      ',M1:10,'      ',M2:10);
X:=X+(R.Re-R.Ri)/25
UNTIL ( X ) R.Re );
WRITELN(RES);
WRITELN(RES,'      X','      M1','      M2','      T');
WRITELN(RES);
X:=0.84*R.Re+0.16*R.Ri;
REPEAT
  TETA:=ARCTAN(X/Req/SQRT(1.0-(SQR(X/Req))));
  ( A EXPRESSAO NAO VALE PARA X/Req = 1 -- CASCA SEMIESFERICA )
  W:=FI_c-TETA;
  M1:=Req/1.41421/GAMA*CC*EXP(-GAMA*W)*SIN(GAMA*W);
  M2:=Req/2/SQR(GAMA)*CC*EXP(-GAMA*W);
  M3:=COS(TETA)/SIN(TETA)*SIN(GAMA*W+PI/4);
  M3:=M3+R.Po*1.41421*GAMA*SIN(GAMA*W);
  M2:=M2*M3;
  TT:=-CC*EXP(-GAMA*W)*SIN(GAMA*W+3*PI/4);
  WRITELN(RES,X:10,'      ',M1:10,'      ',M2:10,'      ',TT:10);
  X:=X+(R.Re-R.Ri)/25
UNTIL ( X ) R.Re )
END;

PROCEDURE GRAVINA;

( ANALISE DOS EFEITOS DE BORDO EM CASCA ESFERICA PELA SOLUCAO DE GRAVINA -
  VARIABEIS DA ROTINA : A,C1 = CONSTANTES DO EQUACIONAMENTO DOS CABOS;
  ZL = DERIVADA DA CURVA DA CASCA PARA O RAO INTERNO; FI_c = ANGULO DA CAS-
  CA ESFERICA EQUIVALENTE; Req = RAO DA CASCA ESFERICA EQUIVALENTE (local);
  KK,NFI,DR,Hp,NUM,KSI,KSI_ai,Z3,Z4,ZL3,ZL4 = PARAMETROS DA SOLUCAO DE GRA-
  VINA; FI,M1,C1,T = PARAMETROS DA SOLUCAO DE GRAVINA; C,D = CONSTANTES DE
  INTEGRACAO; NUM = VARIABEL AUXILIAR; TT,N1,HH,N2,M1,M2,fii,ksi = ESFORCOS
  E DEFORMACOES DA SOLUCAO DE GRAVINA )

VAR
  A,C1,ZL,FI_c,Req,KK,NFI,DR,Hp,CL,MI,NUM,FI,T,Z3,Z4,ZL3,ZL4,C,D : REAL;
  TT,N1,HH,N2,M1,M2,KSI,KSI_ai,X : REAL;

( ROTINA - QUADRADO DO FATORIAL )
FUNCTION FAT2(U:REAL):REAL;
VAR
  Z,E : REAL;

BEGIN
  Z := U;
  E := U;
  WHILE E > 1 DO
    BEGIN
      E := E-1;
      Z := Z*E
    END;
  FAT2 := SQR(Z)
END; ( FAT2 )

```

(ROTINA - QUADRADO DO PRODUTO DE NUMEROS PARES)

FUNCTION PROD(U:REAL) : REAL;

VAR

Z,E : REAL;

BEGIN

Z := U;

E := U;

WHILE E > 2 DO

BEGIN

E := E-2;

Z := Z*E

END;

PROD := SQR(Z)

END; (PROD)

(ROTINA - SOMA SERIE DE FRACOES)

FUNCTION SOMA(U:REAL) : REAL;

VAR

Z,E : REAL;

BEGIN

Z := 1;

E := U;

WHILE E > 1 DO

BEGIN

Z := Z + 1/E;

E := E - 1

END;

SOMA := Z

END; (SOMA)

(ROTINA CALCZ - CALCULA DIVERSOS PARAMETROS PARA ANALISE DOS ESFORCOS E
DESLOCAMENTOS)

PROCEDURE CALCZ;

VAR

BERT,BEIT,COMP1,COMP2,COMP3,COMP4,COMP5,COMP6 : REAL;

BEGIN

BERT := 1-POT(T,4)/PROD(4)+POT(T,8)/PROD(8)-POT(T,12)/PROD(12);

BERT := BERT+POT(T,16)/PROD(16)-POT(T,20)/PROD(20)+POT(T,24)/PROD(24);

BEIT := SQR(T/2)-POT(T,6)/PROD(6)+POT(T,10)/PROD(10)-POT(T,14)/PROD(14);

BEIT := BEIT+POT(T,18)/PROD(18)-POT(T,22)/PROD(22);

COMP1 := SQR(T/2)-SOMA(3)*POT(T/2,6)/FAT2(3)+SOMA(5)*POT(T/2,10)/FAT2(5);

COMP1 := COMP1-SOMA(7)*POT(T/2,14)/FAT2(7)+SOMA(9)*POT(T/2,18)/FAT2(9);

COMP1 := COMP1-SOMA(11)*POT(T/2,22)/FAT2(11);

COMP2 := -SOMA(2)*POT(T/2,4)/FAT2(2)+SOMA(4)*POT(T/2,8)/FAT2(4);

COMP2 := COMP2-SOMA(6)*POT(T/2,12)/FAT2(6)+SOMA(8)*POT(T/2,16)/FAT2(8);

COMP2 := COMP2-SOMA(10)*POT(T/2,20)/FAT2(10);

COMP3 := T/2-6*POT(T,5)/PROD(6)+10*POT(T,9)/PROD(10)-14*POT(T,13)/PROD(14);

COMP3 := COMP3+18*POT(T,17)/PROD(18);

COMP4 := -4*POT(T,3)/PROD(4)+8*POT(T,7)/PROD(8)-12*POT(T,11)/PROD(12);

COMP4 := COMP4+16*POT(T,15)/PROD(16)-20*POT(T,19)/PROD(20);

COMP4 := COMP4+24*POT(T,23)/PROD(24);

```

COMP5 := T/2-3*SOMA(3)*POT(T/2,5)/FAT2(3)+5*SOMA(5)*POT(T/2,9)/FAT2(5);
COMP5 := COMP5-7*SOMA(7)*POT(T/2,13)/FAT2(7)+9*SOMA(9)*POT(T/2,17)/FAT2(9);
COMP5 := COMP5-11*SOMA(11)*POT(T/2,21)/FAT2(11);
COMP6 := -2*SOMA(2)*POT(T/2,3)/FAT2(2)+4*SOMA(4)*POT(T/2,7)/FAT2(4);
COMP6 := COMP6-6*SOMA(6)*POT(T/2,11)/FAT2(6)+8*SOMA(8)*POT(T/2,15)/FAT2(8);
COMP6 := COMP6-10*SOMA(10)*POT(T/2,19)/FAT2(10);
Z3 := -2/PI*(-LN(C1*T/2)*BEIT-PI/4*BERT+COMP1);
Z4 := -2/PI*(-LN(C1*T/2)*BERT+PI/4*BEIT+COMP2);
Z13 := -2/PI*(-1/T*BEIT-LN(C1*T/2)*COMP3-PI/4*COMP4+COMP5);
Z14 := -2/PI*(-1/T*BERT-LN(C1*T/2)*COMP4+PI/4*COMP3+COMP6)
END; ( CALCZ )

```

```
PROCEDURE CALC_CD;
```

```
( AA, BB, CC, DD, EE = PARAMETROS PARA CALCULO DAS CONSTANTES C, D DA SOLU-
CAO DE GRAVINA )
```

```
VAR
```

```
AA, BB, CC, DD, EE : REAL;
```

```
BEGIN
```

```

CL := 1.781072418;
MI := SQRT(SQRT(12*(1-R.Po*R.Po)))*SQRT(Req/R.Es);
NUM:= R.Ri/Req;
FI := ARCTAN(NUM/SQRT(1-(SQR(NUM))));
T := FI*MI;
CALCZ;
AA := Z13;
BB := Z14;
CC := Hp*Req*FI;
DD := T*Z3+(1-R.Po)*Z14;
EE := T*Z4-(1-R.Po)*Z13;
C := (CC*EE)/(AA*EE-BB*DD);
D := (-CC*DD)/(AA*EE-BB*DD);
END;

```

```
( ROTINA ANALISE )
PROCEDURE ANALISE;
```

```
( CALCULA ESFORÇOS E DEFORMACOES DA SOLUCAO DE GRAVINA )
```

```
BEGIN
```

```

TT := (C*Z13+D*Z14)/Req;
N1 := -(C*Z13+D*Z14)/Req/FI;
HH := (C*Z13+D*Z14)/Req/FI;
N2 := -(C*(Z4-Z13/T)+D*(-Z3-Z14/T))*MI/Req;
M1 := C*(T*Z3+(1-R.Po)*Z14)+D*(T*Z4-(1-R.Po)*Z13);
M1 := M1*SQRT(R.Es*MI)/12/Req/Req/(1-R.Po*R.Po)/FI;
M2 := C*(R.Po*T*Z3+(R.Po-1)*Z14)+D*(R.Po*T*Z4-(R.Po-1)*Z13);
M2 := M2*SQRT(R.Es*MI)/12/Req/Req/(1-R.Po*R.Po)/FI;
ksi := (C*(-T*Z4+(1+R.Po)*Z13)+D*(T*Z3+(1-R.Po)*Z14))/R.Ec/R.Es;
END; ( ANALISE )

```

```

BEGIN ( PROCEDURE GRAVINA )
( CALCULO DO RAIO EQUIVALENTE INTERNO DA CASCA )
A:=PI*g/R.Nc/H;
C1:=LN(R.Cc/H+SQRT(SQR(R.Cc/H)+1))-A*SQR(R.Ri);
ZL:=SENH(A*R.Ri*R.Ri+C1);
FI_c:=-PI/2-ARCTAN((1/SQRT(1+ZL*ZL))/SQRT(1-(SQR((1/SQRT(1+ZL*ZL))))));
Req:=R.Ri/SIN(FI_c);

( DETERMINACAO DO DESLOCAMENTO DE MEMBRANA DA CASCA )
KK:=(POT(R.Ri,6)-POT(R.Ri,6))/3*SQR(A)+(POT(R.Ri,4)-POT(R.Ri,4))*A*C1;
KK:=GI/4*KK+PI*R.Ri;
DR:=R.Ri/R.Ec/R.Es/SENH(A*SQR(R.Ri)+C1);
DR:=DR*(-GI*R.Ri+KK*(2*A*R.Ri/SENH(A*SQR(R.Ri)+C1)+R.Po/R.Ri*COSH(A*SQR(R.Ri)+C1)));

( DETERMINACAO DO COEFICIENTE ELASTICO DA CASCA - KSI VEM DA PROCEDURE
ANALISE)
Hp:=1.0;
CALC_CD;
ANALISE;
( DETERMINACAO DO COEFICIENTE ELASTICO DO ANEL )
KSI_ai:=R.Ri*R.Ri/R.Ec/R.Bai/R.Hai;
( CALCULO DA FORCA DE FLEXAO)
IF R.Cc1 = 0 THEN Hp:=-DR/(KSI+KSI_AI)
ELSE
BEGIN
NFI:=-KK/R.Ri/SENH(A*SQR(R.Ri)+C1)*COSH(A*SQR(R.Ri)+C1);
Hp:=-NFI*COS(FI_c)+(-DR-NFI*COS(FI_c)*KSI)/(KSI+KSI_AI)
END;
WRITELN(RES);
WRITELN(RES,'Hc = ',Hp:10);WRITELN(RES);
( CALCULO DOS ESFORCOS DE FLEXAO )
CALC_CD;
WRITELN(RES);
WRITELN(RES,'***** ESFORCOS DE FLEXAO NA BORDA INTERNA *****');
WRITELN(RES);
WRITELN(RES,' X', ' N1 ', ' N2');
WRITELN(RES);
X:=R.Ri;
REPEAT
NUM:=X/Req;
FI := ARCTAN(NUM/SQRT(1-(SQR(NUM))));
T := FI*MI;
CALCZ;
ANALISE;
WRITELN(RES,X:10,' ',N1:10,' ',N2:10);
X:=X+(R.Re-R.Ri)/25;
UNTIL X > R.Ri+(R.Re-R.Ri)*0.16;
WRITELN(RES);
WRITELN(RES);
WRITELN(RES,' X', ' M1 ', ' M2 ', ' T');
WRITELN(RES);
X:=R.Ri;
REPEAT
NUM:=X/Req;

```



```

FI := ARCTAN(NUM/SQRT(1-(SQR(NUM))));
T := FI*MI;
CALCZ;
ANALISE;
WRITELN(RES,X:10,'      ',M1:10,'      ',M2:10,'      ',TT:10);
X:=X+(R.Re-R.Ri)/25;
UNTIL X ) R.Ri+(R.Re-R.Ri)*0.16;
WRITELN(RES);
END; ( PROCEDURE GRAVINA )

```

(ANALISE DOS EFEITOS DE BORDO EM TUBO DE COMPRIMENTO INFINITO)

```
PROCEDURE BORDOTUB;
```

(VARIÁVEIS DO PROGRAMA : ALFA,B = CONSTANTES DAS EXPRESSOES DOS ESFORÇOS E DESLOCAMENTOS; PSI E C = CONSTANTES DE INTEGRAÇÃO FUNÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONTO RNO UTILIZADAS NO CÁLCULO DOS ESFORÇOS; X = ORDENADA PARA CÁLCULO DOS ESFORÇOS DE PERTURBAÇÃO; M1 = MOMENTO NA DIREÇÃO DA GERATRIZ; T = CORTANTE; M2 = MOMENTO NA DIREÇÃO DO PARALELO; S2 = ESFORÇO NOS ANEIS)

```
VAR
ALFA,B,PSI,C,M1,T,M2,S2 : REAL;
```

```
PROCEDURE ANALISE;
```

(CÁLCULO DOS ESFORÇOS E DESLOCAMENTOS DE FLEXÃO)

```

BEGIN
M1 := 2*ALFA*ALFA*B*C*exp(-ALFA*x)*sin(ALFA*x+psi-1.5708);
T := -2.82843*ALFA*ALFA*ALFA*B*C*exp(-ALFA*x)*sin(ALFA*x+psi-2.35619);
M2 := 2*R.Po*ALFA*ALFA*B*C*exp(-ALFA*x)*sin(ALFA*x+psi-1.5708);
S2 := R.Ec*R.Ep/R.Re*C*exp(-ALFA*x)*sin(ALFA*x+psi);
END; ( ANALISE )

```

```

BEGIN
ALFA := SQRT(SQRT(3*(1-SQR(R.Po))))/SQRT(R.Re*R.Ep);
B := R.Ec*R.Ep*R.Ep*R.Ep/12/(1-SQR(R.Po));
IF (MMB = 0) then
BEGIN
psi := 1.5708;
C := HMB/2/ALFA/ALFA/ALFA/B
END
ELSE
BEGIN
IF (HMB = 0) then
BEGIN
PSI := 2.35619;
C := MMB/2/ALFA/ALFA/B/0.70711
END
ELSE
BEGIN
PSI := ARCTAN(-(HMB+ALFA*MMB)/ALFA/MMB);
C := MMB/2/ALFA/ALFA/B/SIN(PSI-1.5708)
END;
END;

```

```
END;
```

```

WRITELN(RES);WRITELN(RES);
WRITELN(RES,'*****          ESFORCOS DE FLEXAO NA PAREDE          *****');
WRITELN(RES);
WRITELN(RES,'AS ABCISSAS Xa TEM ORIGEM NO PONTO');
WRITELN(RES,'DE APLICACAO DOS ESFORCOS DE FLEXAO');
WRITELN(RES);
WRITELN(RES,'      Xa','          M1','          M2');
WRITELN(RES);
X:=0.0;
REPEAT
  ANALISE;
  WRITELN(RES,X:10,'          ',M1:10,'          ',M2:10);
  X:=X+FL/5;
UNTIL X > FL;
WRITELN(RES);
WRITELN(RES,'      Xa','          T          ',S2');
WRITELN(RES);
X:=0.0;
REPEAT
  ANALISE;
  WRITELN(RES,X:10,'          ',T:10,'          ',S2:10);
  X:=X+FL/5;
UNTIL X > FL;
WRITELN(RES);
END;

```

```

PROCEDURE MEMPARG;
( ROTINA - CALCULO DO ESFORCO S2 DE MEMBRANA DA PAREDE )

```

```

VAR

```

```

  S2 : REAL;

```

```

BEGIN

```

```

  WRITELN(RES);WRITELN(RES);
  WRITELN(RES,'*****          RESERVATORIO CHEIO          *****');
  WRITELN(RES);WRITELN(RES);WRITELN(RES);WRITELN(RES);
  WRITELN(RES,'*****          ESFORCOS DE MEMBRANA DA PAREDE          *****');
  WRITELN(RES);
  WRITELN(RES);
  WRITELN(RES,'      X','          S2');
  WRITELN(RES);
  X:=0.0;
  REPEAT
    S2:=R.Gama*R.Re*(R.Ap-X);
    WRITELN(RES,X:10,'          ',S2:10);
    X:=X+FL/5;
  UNTIL X >= FL;
  REPEAT
    S2:=R.Gama*R.Re*(R.Ap-X);
    WRITELN(RES,X:10,'          ',S2:10);
    X:=X+(R.Ap-2*FL)/10;
  UNTIL X > R.Ap-FL;
  REPEAT
    S2:=R.Gama*R.Re*(R.Ap-X);

```

```

WRITELN(RES,X:10,'          ',S2:10);
X:=X+FL/5
UNTIL X > R.Ap
END;

```

```

PROCEDURE PERT_NA;

```

```

( ROTINA - CALCULO DAS PERTURBACOES ACIMA E ABAIXO DO NIVEL DAGUA )

```

```

BEGIN

```

```

  HHB:=0.0;
  MMB:=0.057*R.Gama*R.Re*R.Ep*SQR(R.Re*R.Ep);
  WRITELN(RES);WRITELN(RES);WRITELN(RES);WRITELN(RES);
  WRITELN(RES,'***** ESFORCOS DE FLEXAO NA COTA DO NIVEL MAXIMO *****');
  WRITELN(RES);WRITELN(RES);
  WRITELN(RES,'Hd = ',HHB:10);
  WRITELN(RES,'Md = ',MMB:10);
  WRITELN(RES);WRITELN(RES);
  BORDOTUB
END;

```

```

PROCEDURE ENG;

```

```

( ROTINA - CALCULO DOS HIPERESTATICOS DO FUNDO ENGASTADO E DOS ESFORCOS DE
  FLEXAO - BETA,B,ALFA : AUXILIARES DO CALCULO DOS COEFICIENTES ELASTICOS
  KSI_h,FI_h,FI_m, W = DESLOCAMENTO DE MEMBRANA, FI_m = ROTACAO DE
  MEMBRANA )

```

```

VAR

```

```

  BETA,B,ALFA,KSI_h,FI_h,FI_m,W,FI_m : REAL;

```

```

BEGIN

```

```

  BETA:=R.Ec*R.Ep/SQR(R.Re);
  B:=R.Ec*R.Ep*R.Ep*R.Ep/12/(1-SQR(R.Pd));
  ALFA:=SQR(SQR(BETA/4/B));
  KSI_h:=1/(2*ALFA*ALFA*ALFA*B);
  FI_h:=1/(2*ALFA*ALFA*B);
  FI_m:=1/(ALFA*B);
  W:=R.Gama*SQR(R.Re)*R.Ap/R.Ec/R.Ep;
  FI_m:=R.Gama*SQR(R.Re)/R.Ec/R.Ep;
  HHB:=(-W*FI_m+FI_h*FI_m)/(KSI_h*FI_m-FI_h*FI_h);
  MMB:=(-KSI_h*FI_m+W*FI_h)/(KSI_h*FI_m-FI_h*FI_h);
  WRITELN(RES);WRITELN(RES);WRITELN(RES);
  WRITELN(RES,'***** REACOES DE APOIO E ESFORCOS DE FLEXAO *****');
  WRITELN(RES);
  WRITELN(RES,'          FUNDO DO RESERVATORIO - ENGASTADO');
  WRITELN(RES);WRITELN(RES);
  WRITELN(RES,'Hp = ',HHB:10);
  WRITELN(RES,'Mp = ',MMB:10);
  WRITELN(RES);WRITELN(RES);
  BORDOTUB
END;

```

PROCEDURE ARTIC;

(ROTINA - CALCULO DOS HIPERESTATICOS DO FUNDO ARTICULADO E DOS ESFORCOS DE FLEXAO - BETA,B,ALFA : AUXILIARES DO CALCULO DOS COEFICIENTES ELASTICOS KSI_h, W = DESLOCAMENTO DE MEMBRANA)

VAR

BETA,B,ALFA,KSI_h,W : REAL;

BEGIN

BETA:=R.Ec*R.Ep/SQR(R.Re);

B:=R.Ec*R.Ep*R.Ep*R.Ep/12/(1-SQR(R.Po));

ALFA:=SQR(SQR(BETA/4/B));

KSI_h:=1/(2*ALFA*ALFA*ALFA*B);

W:=R.Gama*SQR(R.Re)*R.Ap/R.Ec/R.Ep;

HMB:=-W/KSI_h;

MHB:=0.0;

WRITELN(RES);WRITELN(RES);WRITELN(RES);

WRITELN(RES,'***** REACDES DE APOIO E ESFORCOS DE FLEXAO *****');

WRITELN(RES);

WRITELN(RES,' FUNDO DO RESERVATORIO - ARTICULADO');

WRITELN(RES);WRITELN(RES);

WRITELN(RES,'Hp = ',HMB:10);

WRITELN(RES,'Mp = ',MHB:10);

WRITELN(RES);WRITELN(RES);

BORDOTUB

END;

BEGIN (PROGRAMA PRINCIPAL)

CLRSR;

WRITELN('CALCULO DE COBERTURA PENSIL EM CASCA PROTENDIDA');WRITELN;

WRITELN('DE ELEMENTOS PRE-MOLDADOS COM APLICACAO AO');WRITELN;

WRITELN('PROJETO DE RESERVATORIOS CILINDRICOS DE CONCRETO');WRITELN;

WRITELN;

WRITELN('Eng. ANTONIO CARLOS RIGITANO');WRITELN;WRITELN;

WRITE('ENTRE COM O NOME DO ARQUIVO A PROCESSAR : ');

READLN(NOME_ARQ_ENTRADA);WRITELN;

WRITE('ENTRE COM O NOME DO ARQUIVO DE SAIDA : ');

READLN(NOME_ARQ_SAIDA);WRITELN;

WRITELN('AGUARDE !!! PROCESSANDO !!!');

ASSIGN(RES,NOME_ARQ_SAIDA);

REWRITE(RES);

WRITELN(RES,'CALCULO DE COBERTURA PENSIL EM CASCA PROTENDIDA DE');

WRITELN(RES,'DE ELEMENTOS PRE-MOLDADOS COM APLICACAO AO PROJETO DE');

WRITELN(RES,'RESERVATORIOS CILINDRICOS DE CONCRETO');

WRITELN(RES);WRITELN(RES);

WRITELN(RES,'Eng. ANTONIO CARLOS RIGITANO');

WRITELN(RES);WRITELN(RES);

WRITELN(RES,'***** DADOS DA ESTRUTURA *****');

WRITELN(RES);

WRITELN(RES,' NOME DO ARQUIVO DE ENTRADA = ',NOME_ARQ_ENTRADA);

WRITELN(RES);

WRITELN(RES,' NOME DESTE ARQUIVO = ',NOME_ARQ_SAIDA);

```

WRITELN(RES);
(LEITURA DE DADOS DO DISCO)
ASSIGN(A,NOME_ARQ_ENTRADA);
RESET(A);
READ(A,R);
CLOSE(A);
(IMPRESSAO DOS DADOS DA ESTRUTURA)
WRITELN(RES,' 1 - UNIDADE DE COMPRIMENTO           = ',R.Uc);
WRITELN(RES,' 2 - UNIDADE DE FORÇA                 = ',R.Uf);
WRITELN(RES,' 3 - MODULO DE ELASTICIDADE DO AÇO      = ',R.Ea:10);
WRITELN(RES,' 4 - MODULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO = ',R.Ec:10);
WRITELN(RES,' 5 - COEFICIENTE DE POISSON            = ',R.Po:10);
WRITELN(RES,' 6 - ESPESSURA DA CASCA               = ',R.Es:10);
WRITELN(RES,' 7 - RAI0 INTERNO DA CASCA              = ',R.Ri:10);
WRITELN(RES,' 8 - RAI0 EXTERNO DA CASCA              = ',R.Re:10);
WRITELN(RES,' 9 - NUMERO DE CABOS                   = ',R.Nc);
WRITELN(RES,'10 - AREA TRANSVERSAL DO CABO           = ',R.At:10);
WRITELN(RES,'11 - FLECHA DESEJAVEL                  = ',R.Fl:10);
WRITELN(RES,'12 - PESO PROPRIO DAS PLACAS            = ',R.Pp:10);
WRITELN(RES,'13 - CARGA ACIDENTAL NOS CABOS          = ',R.Ca:10);
WRITELN(RES,'14 - CARGA ACIDENTAL NA CASCA           = ',R.Cap:10);
WRITELN(RES,'15 - CARGA DE PROTENSÃO                = ',R.Cp:10);
WRITELN(RES,'16 - CARGA CONCENTRADA NO CABO         = ',R.Cc:10);
WRITELN(RES,'17 - CARGA DISTRIBUIDA NO ANEL          = ',R.Ccl:10);
WRITELN(RES,'18 - BASE DO ANEL EXTERNO               = ',R.Bae:10);
WRITELN(RES,'19 - ALTURA DO ANEL EXTERNO            = ',R.Hae:10);
WRITELN(RES,'20 - BASE DO ANEL INTERNO               = ',R.Bai:10);
WRITELN(RES,'21 - ALTURA DO ANEL INTERNO            = ',R.Hai:10);
WRITELN(RES,'22 - NIVEL DO LIQUIDO ARMAZENADO        = ',R.Ap:10);
WRITELN(RES,'23 - ESPESSURA DA PAREDE               = ',R.Ep:10);
WRITELN(RES,'24 - DENSIDADE DO LIQUIDO ARMAZENADO     = ',R.Gama:10);
WRITELN(RES,'25 - VINCULACAO DO FUNDO               = ',R.Vi);
WRITELN(RES);WRITELN(RES);
WRITELN(RES,'***** CABO CONSIDERADO INEXTENSIVEL *****');
WRITELN(RES);
WRITELN(RES);
G:=R.Pp+R.Cp+R.Ca;
WRITELN(RES,'CARGAS ATUANTES');WRITELN(RES);
WRITELN(RES,'CARGA ACIDENTAL                        = ',R.Ca:10);
WRITELN(RES,'CARGA DE PROTENSÃO                              = ',R.Cp:10);
WRITELN(RES,'PESO PROPRIO DAS PLACAS                          = ',R.Pp:10);
WRITELN(RES);
WRITELN(RES,'TOTAL DE CARGAS DISTRIBUIDAS                    = ',G:10);
WRITELN(RES);
WRITELN(RES,'CARGA CONCENTRADA NO CABO                        = ',R.Cc:10);
WRITELN(RES);
CALC_H;WRITELN(RES);
WRITELN(RES,'FORÇA HORIZONTAL                               = ',H:10:2);
WRITELN(RES);
CALC_I;
CALC_S;
CALC_T;WRITELN(RES);
CALC_Y;
G:=R.Pp+R.Cp;
FL:=R.Fl;
R.Fl:=0.8*R.Fl;

```

(1)

```

VER:=0;
REPEAT
  CALC_H;
  Ho:=H;
  CALC_DELTAF;
  CALC_H1;
  FLECHA:=Y(H,R.Re-R.Ri);
  R.F1:=R.F1*1.02;      ( 1 )
  VER:=VER+1
UNTIL (FLECHA )= FL);
IF VER = 1 THEN
  BEGIN
    WRITELN(RES,'CASO A FLECHA FINAL SEJA MUITO MAIOR QUE A DESEJAVEL');
    WRITELN(RES,'E QUERENDO MODIFICA-LAS, ALTERAR OS DOIS PONTOS INDI-');
    WRITELN(RES,'CADDOS POR ( 1 ) NO PROGRAMA COM VALORES MENORES QUE');
    WRITELN(RES,'0.8 E 1.02, RESPECTIVAMENTE')
  END;
  WRITELN(RES);WRITELN(RES);
  WRITELN(RES,'***** CABO CONSIDERANDO A DEFORMACAO *****');
  WRITELN(RES);
  WRITELN(RES,'CARGAS ATUANTES');WRITELN(RES);
  WRITELN(RES,'CARGA DE PROTENSAD      = ',R.Cp:10);
  WRITELN(RES,'PESO PROPRIO DAS PLACAS   = ',R.Pp:10);WRITELN(RES);
  WRITELN(RES,'TOTAL DE CARGAS DISTRIBUIDAS = ',G:10);WRITELN(RES);
  WRITELN(RES,'CARGA CONCENTRADA NO CABO    = ',R.Cc:10);
  WRITELN(RES);
  WRITELN(RES);
  WRITELN(RES);
  WRITELN(RES,'FLECHA PARA MONTAGEM    = ',R.F1/1.02:10:2);
  WRITELN(RES);
  WRITELN(RES,'FORCA HORIZONTAL Ho ANTES DA DEFORMACAO = ',Ho:10:2);
  WRITELN(RES);
  WRITELN(RES,'FORCA HORIZONTAL H APOS A DEFORMACAO = ',H:10:2);
  WRITELN(RES);
  FLECHA := Y(H,R.Re-R.Ri);
  CALC_S;
  CALC_T;WRITELN(RES);
  WRITELN(RES,'***** FORMA DA CASCA *****');
  WRITELN(RES);
  CALC_I;
  CALC_Y;
  P1:=R.Cc1;
  G1:=R.Cp-R.Cap;
  WRITELN(RES);WRITELN(RES);WRITELN(RES);WRITELN(RES);
  WRITELN(RES,'***** ANALISE DO RESERVATORIO VAZIO *****');
  WRITELN(RES);
  WRITELN(RES);WRITELN(RES);
  WRITELN(RES,'CARREGAMENTO NA CASCA = ',G1:10);
  WRITELN(RES,'CARREGAMENTO NO ANEL = ',P1:10);
  WRITELN(RES);WRITELN(RES);WRITELN(RES);WRITELN(RES);
  WRITELN(RES);WRITELN(RES);WRITELN(RES);WRITELN(RES);
  WRITELN(RES,'***** ESFORCOS DE MEMBRANA ( CASCA ) *****');
  WRITELN(RES);
  WRITELN(RES,'      X ','      Nfi','      Nteta');
  WRITELN(RES);
  ( CALCULO DOS ESFORCOS DE MEMBRANA )

```

```

X:=R.Ri;
REPEAT
  ESF_DESL;
  X:=X+(R.Re-R.Ri)/25;
UNTIL X > R.Ri+(R.Re-R.Ri)*0.16;
REPEAT
  ESF_DESL;
  X:=X+(R.Re-R.Ri)/12.5;
UNTIL X > R.Ri+(R.Re-R.Ri)*0.72;
REPEAT
  ESF_DESL;
  X:=X+(R.Re-R.Ri)/25;
UNTIL (X > R.Re);
( FIM DO CALCULO DOS ESFORCOS DE MEMBRANA )
( CALCULO DAS REACOES NA LIGACAO CASCA-ANEL-PAREDE )
CALC_HIPER;
WRITELN(RES);WRITELN(RES);
WRITELN(RES,'***** REACOES DE APOIO E ESFORCOS DE FLEXAO *****');
WRITELN(RES);
WRITELN(RES,'          LIGACAO  CASCA - ANEL - PAREDE');
WRITELN(RES);WRITELN(RES);
WRITELN(RES,'Ha = ',HHA:10);
WRITELN(RES,'Hb = ',HHB:10);
WRITELN(RES,'Mb = ',MMB:10);
WRITELN(RES,'H1a = ',HLA:10);
WRITELN(RES);WRITELN(RES);
WRITELN(RES,'          LIGACAO  CASCA - ANEL INTERNO');
WRITELN(RES);
GRAVINA;
GECKELER;
(TROCA DE SINAL PARA COMPATIBILIZAR COM O SINAL DE BORDOTUB)
MMB:=-MMB;
BORDOTUB;
MEMPAR;
PERT_NA;
IF (R.Vi='ENGASTE') or (R.Vi='engaste') THEN ENG
ELSE ARTIC;
CLOSE (RES);
WRITELN('PROCESSAMENTO ENCERRADO');
WRITELN('PARA IMPRIMIR OS RESULTADOS CHAMAR ',NOME_ARQ_SAIDA);
END.

```