



FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
PEF2602 - Estruturas na Arquitetura II: Sistemas Reticulados  
2º SEMESTRE DE 2012  
SEGUNDO EXERCÍCIO EM GRUPO  
PRAZO DE ENTREGA: 04/11/2013



## Instruções:

Este exercício deverá ser resolvido pelos grupos de três a cinco alunos, de qualquer uma das turmas de PEF-2602, inscritos na lista aberta junto ao AUT. A entrega deverá ser feita pela internet, no endereço [pef2602.apoio@poli.usp.br](mailto:pef2602.apoio@poli.usp.br), até o dia 04/11/2013.

O e-mail deverá ser identificado exclusivamente pelo assunto **GR<sub>nm</sub>-ex02**, e o relatório deverá ser anexado em arquivo PDF, com o nome **GR<sub>nm</sub>-ex02.pdf**, onde **nm** é o número do grupo. Mensagens com outros assuntos e relatórios com outros nomes não serão considerados!

O relatório deve conter uma página de rosto, identificando os componentes do grupo, com fotografia dos mesmos (obrigatório!). O relatório deve incluir o detalhamento dos cálculos manuais necessários para o desenvolvimento do trabalho e apresentar os resultados do programa Ftool, de forma gráfica, com breves comentários interpretativos.

O formato do relatório é livre, mas ele será avaliado tanto pela correção dos resultados como pela sua clareza, estrutura lógica e qualidade da apresentação.

## Exercício 2:

A Figura 1 mostra uma vista frontal e uma elevação cortada do Memorial do ET de Varginha, MG. Iniciativa da Prefeitura de Varginha, o projeto é de autoria do Arq. Salvador Homero Maia Silva (circa 2007). Com 548 m<sup>2</sup> distribuídos em dois andares, estão previstas, no piso inferior, quatro salas para lanchonete, venda de artesanato e outras atividades. No piso superior, um grande pavimento para o museu. Conforme o então Secretário de Turismo Municipal, "a intenção é fazer algo que traga o turista e o segure na cidade durante dois, três dias. Vamos instalar um centro de pesquisas ufológicas, com relatos de pessoas que dizem ter vivido um contato alienígena e toda a história do ET de Varginha" (<http://www.blogdomadeira.com.br/turismo/museu-do-et/>).

Conforme relata reportagem da Folha de São Paulo, de 09/08/2013, em 2007 o Ministério do Turismo repassou ao município R\$ 828,7 mil (R\$ 1,1 milhão, em valores atualizados) para a obra. Com conclusão inicialmente prevista para dezembro de 2013, a obra foi paralizada

em 2010, com 40% de realização. A situação atual pode ser vista na Figura 2. Veja também a reportagem da FSP em: <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2013/08/1323860-governo-federal-investe-mais-de-r-1-mi-em-museu-sobre-et-de-varginha.shtml>).

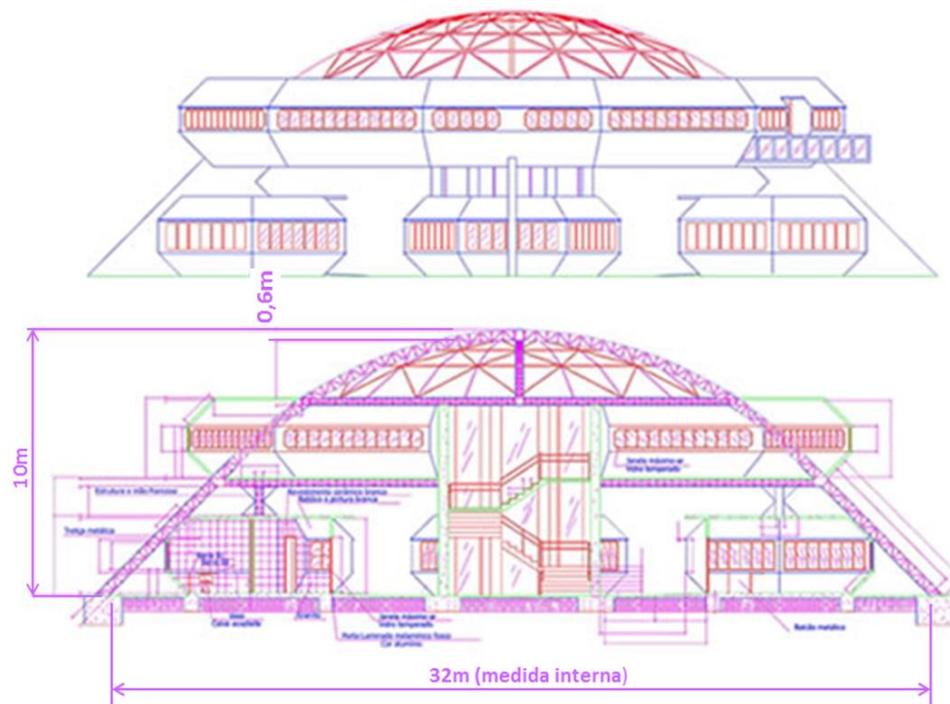


Figura 1. Vista frontal e elevação em corte do Memorial do ET de Varginha, MG. Arq. Salvador Homero Maia Silva (2007).

**Sistema estrutural.** Embora polêmica, a obra é interessante do ponto de vista estrutural. O piso superior do museu é constituído por um tabuleiro treliçado, de planta circular, de raio 11m, que se apoia, na sua parte central, nas paredes da caixa da escadaria de acesso, e, na sua borda externa, nas quatro pernas dos dois arcos que se cruzam ortogonalmente (as fotos da estrutura, na situação atual, mostram que a borda do piso dispõe ainda de algumas escoras, entre os arcos, porém estes elementos são redundantes, em termos arquitetônicos e estruturais, e podem ser desconsiderados).



FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
PEF2602 - Estruturas na Arquitetura II: Sistemas Reticulados  
2º SEMESTRE DE 2012  
SEGUNDO EXERCÍCIO EM GRUPO  
PRAZO DE ENTREGA: 04/11/2013



As paredes laterais do piso superior se apoiam na borda externa do piso. A cobertura do piso superior, por sua vez, é composta de duas partes:

- externamente aos arcos, a cobertura é constituída uma coroa circular, plana, cuja borda externa se apoia nas paredes laterais, e cuja borda interna se apoia em um anel treliçado, que por sua vez se apoia nas quatro pernas dos arcos;
- na parte interna aos arcos, a cobertura é composta por um domo reticulado (provavelmente fechado por painéis de vidro), dividido em quatro quadrantes que se apoiam nos arcos, e cujas bordas externas se apoiam no anel treliçado. Assim, o anel treliçado equilibra o empuxo da cúpula por meio de esforços de tração, e transfere as cargas de peso próprio provenientes da cúpula para os quatro apoios proporcionados pelos arcos.



Figura 2. Estrutura inacabada do Memorial do ET de Varginha, MG (setembro de 2013)

**Carregamentos.** Para realizar um pré-dimensionamento dos arcos desta estrutura, considere que a carga de peso próprio do piso superior seja da ordem de  $q_{1pp}=1,0kN/m^2$ , e que a carga máxima de serviço seja dada pela expressão

$$q_{1sr} = 2,5 + \begin{cases} nm/10, & \text{se } nm \leq 15 \\ nm/20, & \text{se } 16 \leq nm \leq 30, \\ nm/30, & \text{se } nm \geq 31 \end{cases} \text{ em } kN/m^2,$$

onde  $nm$  é o número de seu grupo. Resulta uma carga distribuída total, sobre o piso superior,  $q_1 = q_{1pp} + q_{sr}$ .

Considere também que as paredes laterais da estrutura e a cobertura (tanto na parte plana como na cúpula) pesem  $q_{2pp}=1,0kN/m^2$ .

Considere dois casos de carregamento:

- (1) Carregamento uniforme: Admita que metade da carga total sobre o piso, uniformemente carregado, descarregue nas paredes da escadaria, e a outra metade se distribua igualmente entre os quatro apoios proporcionados pelos arcos. Admita também que as paredes laterais se apoiem integralmente na borda externa do piso superior. Admita que metade do peso da parte externa da cobertura descarregue nas paredes laterais, e metade no anel treliçado. De forma simplificada, admita que todo o peso da cúpula descarregue no anel treliçado, e deste se transfira igualmente para os arcos. Despreze o peso próprio dos arcos e do anel treliçado.
- (2) Carregamento não-uniforme: considere que a carga de serviço  $q_{1sr}$  aja apenas sobre uma das metades do piso superior, de modo que em uma das pernas do arco exista uma carga  $P_3 < P_1$ . As cargas de peso-próprio não se alteram.

**Primeiro modelo de análise.** Desenvolva no FTool um modelo de análise em que um dos arcos da estrutura é discretizado por uma série de elementos de viga, recebendo as cargas de peso próprio e de serviço provenientes do piso superior, das paredes laterais e da cobertura. Considere as bases dos arcos engastadas. Determine as dimensões necessárias a partir da Figura 1. Analise este modelo para os casos de carregamento uniforme e não-uniforme definidos acima.



FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
PEF2602 - Estruturas na Arquitetura II: Sistemas Reticulados  
2º SEMESTRE DE 2012  
SEGUNDO EXERCÍCIO EM GRUPO  
PRAZO DE ENTREGA: 04/11/2013



**Pré-dimensionamento.** Com base nos máximos esforços solicitantes do arco, encontrados por meio deste primeiro modelo, analisado para os dois casos de carregamento, determine as máximas forças normal agindo nos banzos dos arcos. Para tanto, admita que a força normal agindo no arco se distribua igualmente entre seus banzos superior e inferior, e que o momento fletor seja equilibrado por um binário de forças, de modo que, em cada seção:

$$N_{\text{b sup, binf}} = \frac{N}{2} \pm \frac{M}{d},$$

onde  $d = 0,6\text{m}$  é a altura da seção transversal do arco treliçado. Com base na máxima força normal determinada para os banzos, determine a seção transversal necessária para os mesmos. Adote um aço com tensão de escoamento  $\sigma_e = 270\text{MPa}$ , e considere um fator de segurança  $s = 1,8$ . Admita que não existam problemas de estabilidade global dos arcos, nem de seus membros comprimidos.

**Segundo modelo de análise.** Finalmente, considerando a mesma área de seção transversal para os banzos superior e inferior, e 1/4 dessa área para diagonais e montantes, desenvolva no FTool um modelo de arco treliçado, apenas para o caso de carregamento uniforme.

Note que, neste caso, as condições de simetria permitem que seja modelada apenas a metade da estrutura, impondo condições de contorno adequadas, em correspondência ao eixo de simetria. Consulte os professores sobre estas condições.

Compare os esforços solicitantes obtidos neste segundo modelo de análise com aqueles obtidos com o primeiro modelo. Redimensione os membros do arco, se necessário.

Faça uma estimativa do peso total dos arcos e consulte tabelas de custos unitários da construção civil para uma estimativa dos custos de produção destes elementos. Enriqueça o Relatório com informações sobre a estrutura e seu contexto, obtidas na imprensa e internet.

Note que este é um exercício trabalhoso e bastante aberto. Embora o prazo de entrega seja longo, não deixe a resolução para última hora, e não hesite em discutir com os professores as hipóteses e os modelos de cálculo adotados, bem como os resultados obtidos!

Boa sorte e bom trabalho!

**Profs. Ruy Marcelo Pauletti e Dimas Ribeiro Bettioli**

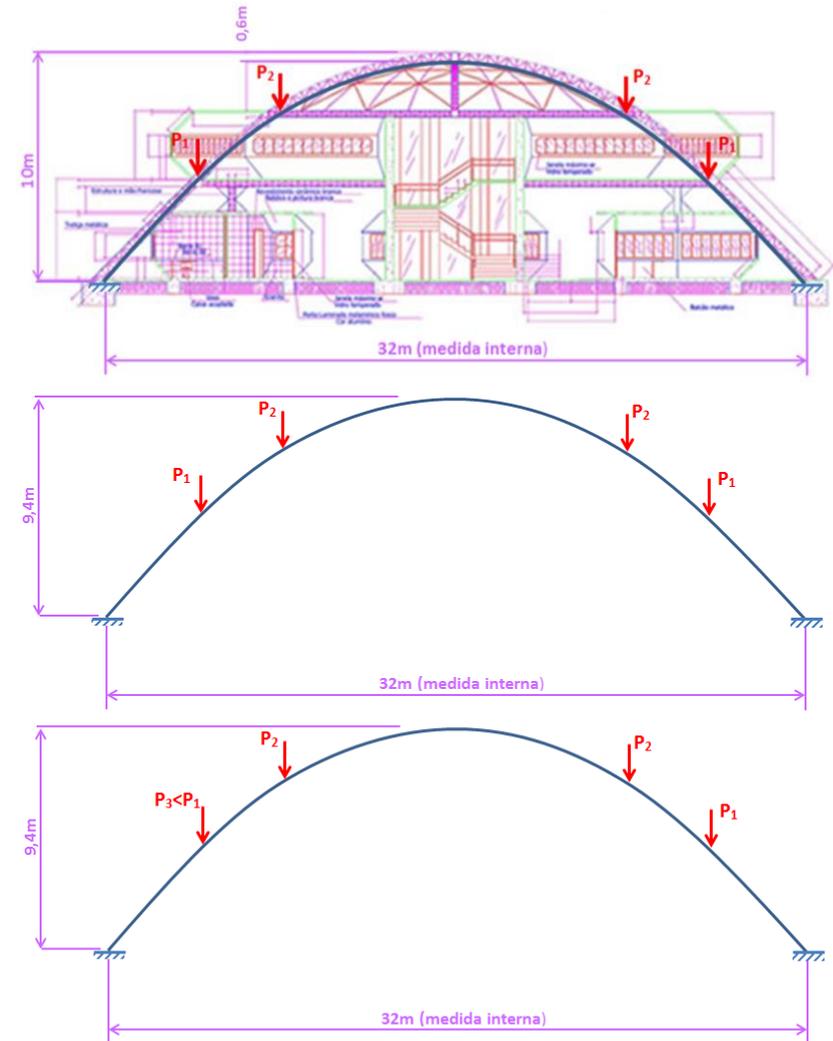


Figura 3 - (a) identificação dos pontos de transferência de carga para os arcos; (b) carregamento uniforme sobre o piso superior; (c) carregamento não-uniforme sobre o piso superior, resultando em  $P_3 < P_1$ .