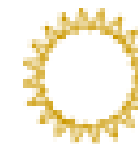




FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PEF2602 - Estruturas na Arquitetura II: Sistemas Reticulados
2º SEMESTRE DE 2014
QUARTO EXERCÍCIO EM GRUPO
PRAZO DE ENTREGA: 05/12/2014



Instruções:

Este exercício deve ser resolvido em grupos de três a cinco alunos, de qualquer uma das turmas de PEF-2602, devidamente inscritos na lista aberta junto à secretaria do PEF. A entrega deverá ser feita pela internet, no endereço pef2602.apoio@poli.usp.br, até o dia 05/12/2014. O e-mail deverá ser identificado exclusivamente pelo assunto **GR n_g -ex2**, e o relatório deverá ser anexado em arquivo PDF, com o nome **GR n_g -ex2.pdf**, onde n_g é o número do grupo.

O relatório deve conter uma página de rosto, identificando os componentes do grupo, com fotografia dos mesmos (obrigatório!). O relatório deve também 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.



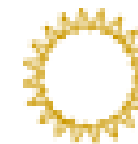
Figura 1. Fachada frontal do edifício 'Broadgate Exchange House'



Figura 2. (a) conexão dos tirantes e diagonais com os arcos; (b) bases dos arcos, sobre aparelhos de neoprene (observe as duas linhas de tirantes horizontais, absorvendo o empuxo dos arcos); (c) vista inferior das conexões entre as vigas transversais e os arcos; (d) conexões entre o arco e o pórtico (observe a seção transversal dupla dos arcos transversais e dos tirantes diagonais).



FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PEF2602 - Estruturas na Arquitetura II: Sistemas Reticulados
2º SEMESTRE DE 2014
QUARTO EXERCÍCIO EM GRUPO
PRAZO DE ENTREGA: 05/12/2014



Exercício 3:

A Figura 1 mostra a fachada frontal do 'Broadgate Exchange House', localizado em Londres, projetado pelo escritório de projetos SOM (Skidmore, Owings & Merrill). O prédio foi inaugurado em 1990, tendo se tornado "um clássico instantâneo", merecedor de diversos prêmios internacionais. Trata-se de um prédio em estrutura metálica, com 10 pavimentos, de pé-direito 4,5m, e altura total de 60m, medindo 78m x 54m em planta. O sistema estrutural envolve a repetição de 4 pórticos planos, inteiramente sustentados por quatro arcos metálicos parabólicos (aliás, poligonais). O prédio fica sobre a estação de trens de Liverpool, daí a necessidade de se evitar pilares intermediários.

montantes são travados lateralmente pelos membros horizontais do pórtico. Os tirantes não necessitam de travamento lateral, mas de fato também se encontram travados pela grelha formada pelas vigas transversais e longitudinais dos pavimentos.

As cargas sobre todo o conjunto são transferidas pelos arcos para *contrafortes* de pedra. O empuxo de cada arco é equilibrado por dois *tirantes* horizontais, um na cota do 1º pavimento, outro logo abaixo. As bases dos arcos são apoiadas em aparelhos de neoprene, aquiescentes à rotação, um deles fixo e o outro permitindo a movimentação horizontal, assim garantindo um sistema globalmente isostático, evitando esforços de origem térmica.

Transversalmente ao próprio plano, os arcos são estabilizados pela estrutura dos pavimentos, ligada a um núcleo central de rigidez, formado pelas estruturas dos elevadores e das escadas internas, além de contraventamentos em X, dispostos nas duas fachadas laterais, que também sustentam escadas de fuga externas.

Nos próprios planos, a estabilidade dos arcos é garantida por meio de tirantes diagonais, protendidos para manter a sua efetividade, mesmo no caso de carregamentos assimétricos (enquanto tirantes e diagonais não afrouxarem, estes elementos, junto com os arcos, constituem uma grande treliça, muito rígida no seu próprio plano!).

Etapas de resolução:

Para o pré-dimensionamento dos elementos estruturais, adote um coeficiente de segurança $s_o = 1,2$ para as tensões, em relação à tensão de escoamento do material. Para a estabilidade dos membros comprimidos, adote um coeficiente de segurança $s_{fl} = 2,0$.

1. Considere uma estimativa para o peso-próprio da estrutura da ordem de $w_{pp} = 5 \text{ kN/m}^2$, uniformemente distribuídos sobre cada pavimento e sobre a cobertura. À carga de peso próprio deve-se acrescentar ainda uma carga de serviço da ordem de

$$w_s = 3,5 + \begin{cases} nm/10, & \text{se } nm \leq 15 \\ nm/20, & \text{se } 16 \leq nm \leq 30 \\ nm/30, & \text{se } nm \geq 31 \end{cases}$$

sendo nm o número de inscrição de seu grupo e w_s em kN/m^2 .

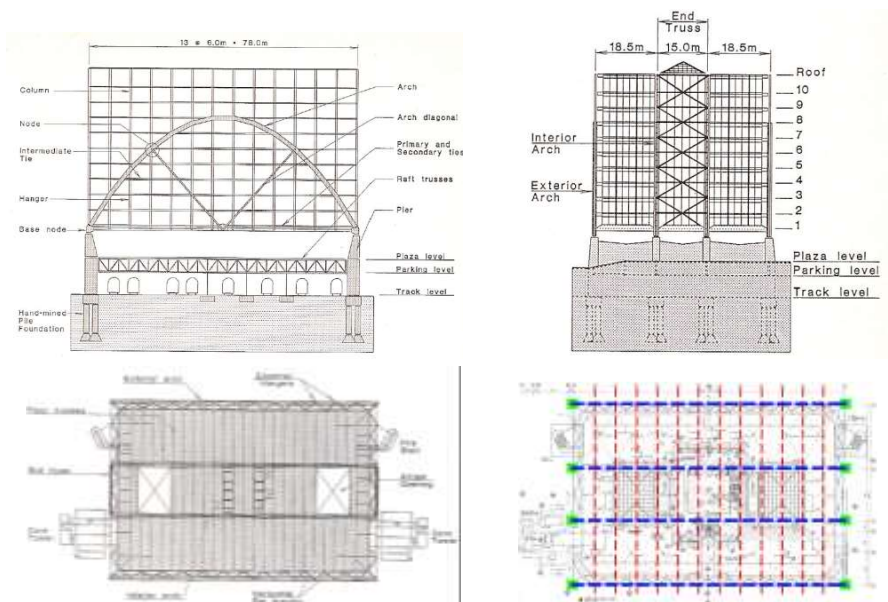
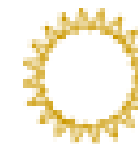


Figura 3. Vistas e plantas do sistema estrutural

O peso-próprio e as demais cargas de serviço dos pavimentos são transferidos, através de vigas transversais, para os arcos, por meio dos membros verticais dos pórticos. Acima dos arcos, estes membros são denominados *montantes*, e trabalham à compressão. Abaixo dos arcos, são denominados *tirantes*, e trabalham tracionados. Os



FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PEF2602 - Estruturas na Arquitetura II: Sistemas Reticulados
2º SEMESTRE DE 2014
QUARTO EXERCÍCIO EM GRUPO
PRAZO DE ENTREGA: 05/12/2014



2. Dimensione os montantes e os tirantes verticais dos pórticos, admitindo que estes elementos sejam responsáveis pelas cargas agindo sobre as respectivas zonas de influência, respectivamente nos pavimentos acima ou abaixo dos arcos, e que trabalhem à tração ou compressão simples. Adote perfis I de seções comerciais, uma seção para os montantes e outra para os tirantes.
3. Os montantes devem ser travados lateralmente pelos membros horizontais dos pórticos. Adote para estes membros um perfil de menor bitola, respeitando as proporções sugeridas no detalhe da Figura 6. Admita conexões rígidas.
4. Dimensione os arcos para um carregamento uniformemente distribuído, $p = d(n_{pav} + 1)(w_{pp} + w_s)$, em kN/m, sendo d a maior largura de influência dos arcos e $n_{pav} = 10$ o número de pavimentos. Considere que a seção transversal de cada arco seja composta por dois perfis I. Admita que a estabilidade global dos arcos esteja garantida, mas verifique a flambagem local dos trechos dos arcos, entre dois pontos de vinculação ao pórtico.
5. Admita que cada um dos dois tirantes horizontais de cada arco seja responsável por metade do empuxo, e dimensione as seções transversais destes elementos, adotando um perfil I para o tirante superior, e uma seção retangular equivalente para o tirante inferior.
6. **MODELO I:** com base neste pré-dimensionamento, use o programa **FTool** para desenvolver um modelo do pórtico plano composto pelas vigas horizontais de travamento, os montantes e os tirantes verticais, vinculados ao arco e aos dois tirantes horizontais, mas sem os tirantes diagonais. Dimensões não cotadas devem ser tiradas dos desenhos, em escala.
7. Analise a resposta do Modelo I para dois casos de carregamento:
 - a) Carregamento uniforme: todos os pavimentos e a cobertura sujeitos à carga $q = d(w_{pp} + w_s)$, em kN/m;
 - b) Carregamento assimétrico: metade de cada pavimento sujeito à carga $q = d(w_{pp} + w_s)$, e a outra metade sujeita apenas à $q' = d \cdot w_{pp}$.

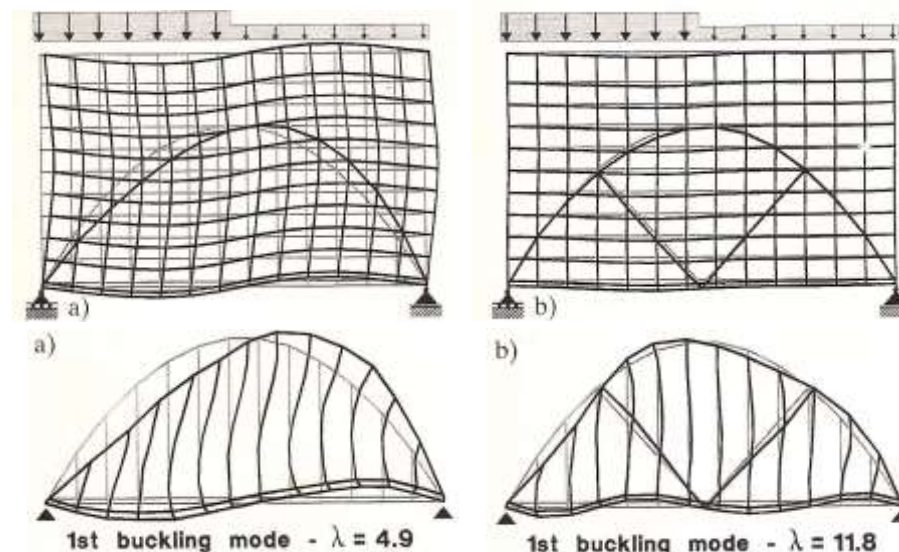
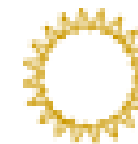


Figura 4. 1ª linha: deformações da estrutura, sem e com tirantes diagonais. 2ª linha: formas de flambagem dos arcos, sem e com tirantes diagonais.

8. **MODELO II:** inclua no modelo anterior os tirantes diagonais, adotando para estes uma área de seção transversal igual à metade da área dos tirantes horizontais. Analise o novo modelo para os mesmos casos de carregamento (a) e (b) estudados para o Modelo I.
9. Compare os esforços solicitantes e os deslocamentos para as quatro situações, resultantes da combinação dos dois modelos com os dois casos de carregamento, e extraia conclusões com relação ao desempenho da estrutura em cada situação.
10. Com base nos esforços solicitantes determinados nos itens acima, redimensione os membros do Modelo II e repita as análises para os dois casos de carregamento, somente para este modelo. Repare que os membros do pórtico e do arco ficam sujeitos a **flexão composta**!
11. Enriqueça o Memorial de Cálculo com uma pesquisa acerca dos condicionantes que levaram à definição deste sistema estrutural



FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PEF2602 - Estruturas na Arquitetura II: Sistemas Reticulados
2º SEMESTRE DE 2014
QUARTO EXERCÍCIO EM GRUPO
PRAZO DE ENTREGA: 05/12/2014



peculiar, bem como as razões para se manter a estrutura aparente. Descreva as qualidades arquitetônicas da obra. Descreva também os materiais empregados e os detalhes construtivos. Identifique os arquitetos e engenheiros.

Nota: o desenvolvimento dos itens de 12 a 14 é opcional!

12. Com base na máxima compressão que surge nos tirantes diagonais, no Modelo II redimensionado, determine uma carga de protensão a ser aplicada nestes elementos.
13. Remova todas as cargas aplicadas ao modelo e use o artifício das temperaturas para impor aos tirantes diagonais a carga de protensão determinada no item 11 (aplique um certo $\Delta T < 0$ aos tirantes, verifique a tração resultante, e faça uma regra de três para obter o valor ΔT necessário).
14. Mantendo a protensão dos tirantes, inclua novamente as cargas de peso-próprio e serviço, para os dois casos de carregamento considerados anteriormente, compare os novos resultados com aqueles obtidos no item 10 e extraia as devidas conclusões.



Figura 5. Estágio de montagem (observe as quatro linhas de arcos).

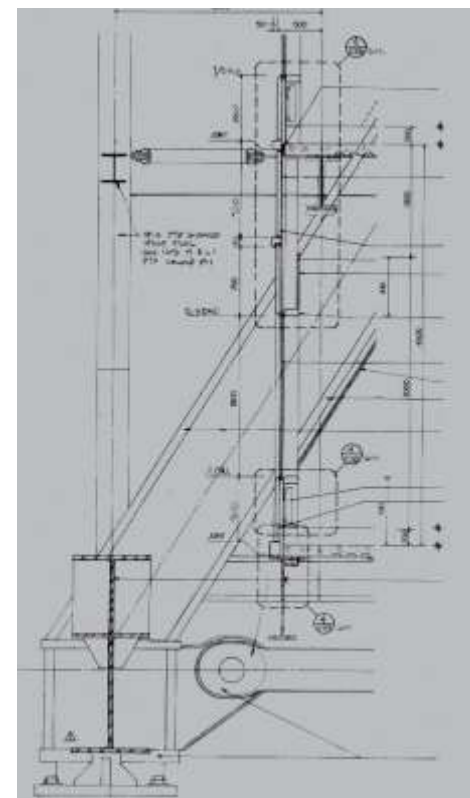


Figura 6. Detalhe construtivo das bases dos arcos e de algumas das principais conexões.

Este é um exercício trabalhoso e bastante aberto. 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 Leila Meneghetti Valverdes



FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PEF2602 - Estruturas na Arquitetura II: Sistemas Reticulados
2º SEMESTRE DE 2014
QUARTO EXERCÍCIO EM GRUPO
PRAZO DE ENTREGA: 05/12/2014

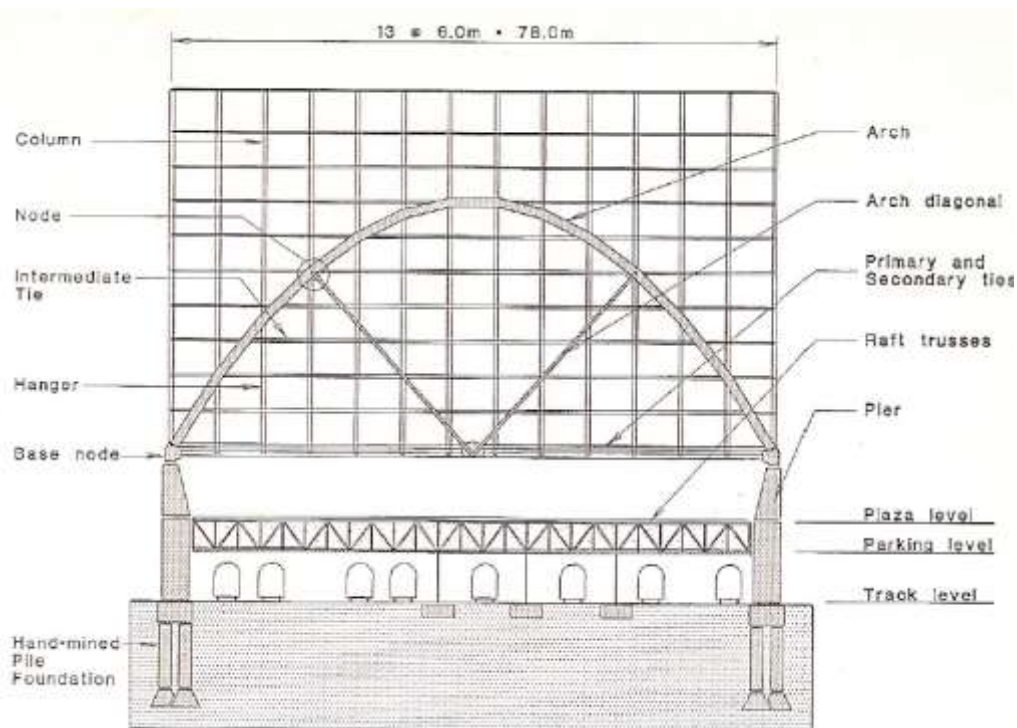
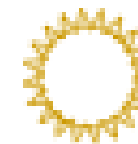


Figura 7. Elevação Frontal

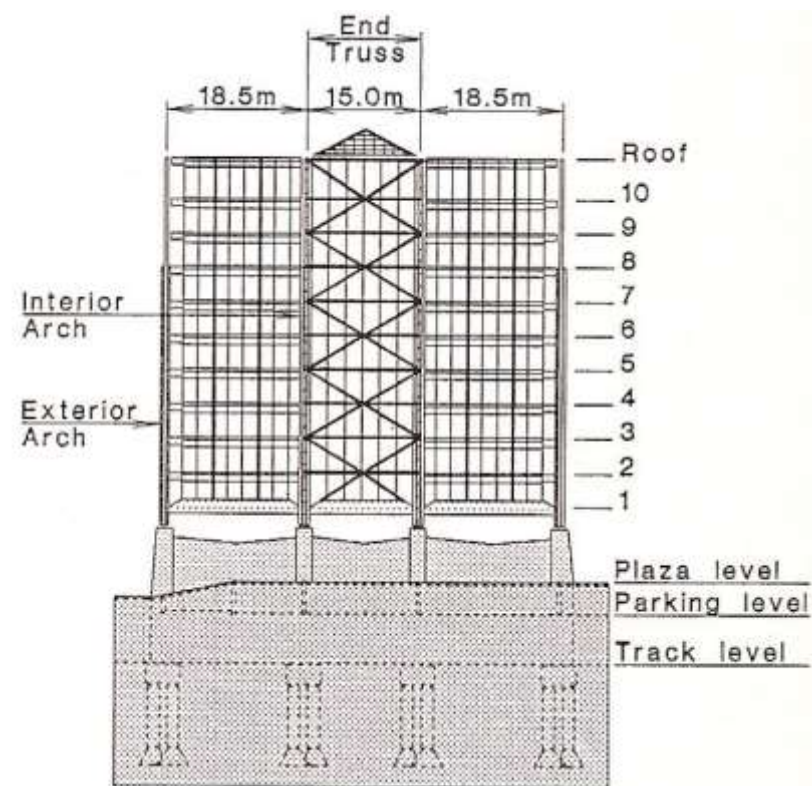


Figura 8 - elevação lateral

Referência: H. Iyengar, W. Baker, R. Sinn, "The Broadgate Exchange Hous, London, UK", Jour. Int. Assoc. for Bridge and Structural Engineering (IABSE), Vol. 3, N. 4, 1993. (Disponível na página da disciplina).