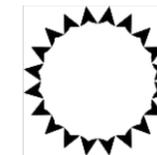




FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
PEF2602 - Estruturas na Arquitetura II: Sistemas Reticulados  
2º SEMESTRE DE 2016  
PRIMEIRO EXERCÍCIO EM GRUPO



#### Instruções:

Este exercício deverá ser resolvido em grupos de três a cinco alunos, de qualquer uma das turmas de PEF-2602. Os grupos deverão se inscrever na lista disponibilizada junto à secretaria do PEF, onde receberão um número de identificação ( $n_g$ ). A entrega do exercício deverá ser feita via Moodle, até o dia 10/10/2015.

O relatório deverá consistir de um único arquivo PDF, com nome composto conforme a regra **GR $n_g$ -ex01.pdf** (por exemplo, se  $n_g=5$ , o nome do arquivo será **GR05-ex01.pdf**). 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 formato do relatório é livre, mas ele será avaliado tanto pela correção dos resultados como pela sua clareza, estrutura lógica e qualidade da apresentação. Na página da disciplina no Moodle podem ser encontrados alguns exemplos de exercícios de anos anteriores.

#### Contextualização:

As figuras mostram o 'Viaducto del Ulla', localizado na Espanha (2011), estrutura de concreto protendido, com 630 metros de comprimento, altura máxima 117m, e vão principal 168m. O projeto é de Torroja Ingeniería SL (José María de Villar Luengo, José Andrés del Valle Pérez e Ángel Carriazo Lara). O método construtivo, empregando balanços sucessivos, pode ser depreendido da Figura 2. Descrições detalhadas do projeto e da construção desta interessante estrutura são dadas em:

- <http://torrojaingenieria.es/Publicaciones/540-ACHE-Construccion%20viaducto%20del%20Ulla-AVE.pdf>
- <http://e-ache.com/modules/pd-downloads/visit.php?cid=1&lid=37>

O arranjo geométrico básico do viaduto é mostrado na Figura 3. As Figuras 4(a/b/c) mostram as seções transversais típicas do tabuleiro, das pilares principais e do arco. A Figura 5 mostra três arranjos geométricos alternativos, que foram considerados pelos projetistas durante as fases iniciais do projeto. A Tabela 1 dá os principais quantitativos da estrutura.



Figura 1.

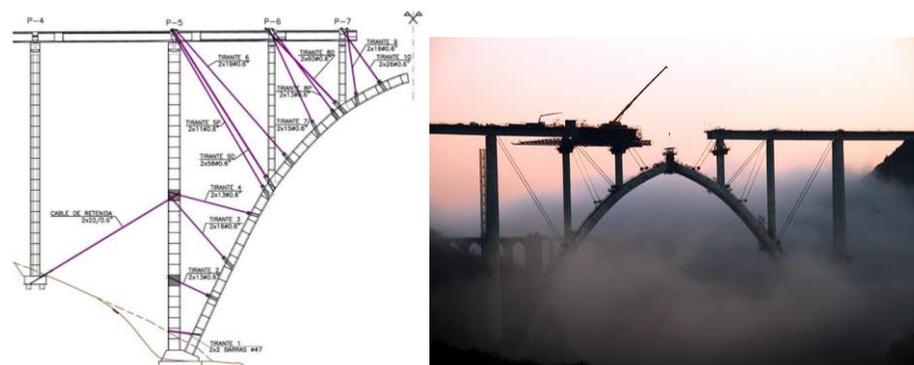


Figura 2 -



FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
PEF2602 - Estruturas na Arquitetura II: Sistemas Reticulados  
2º SEMESTRE DE 2016  
PRIMEIRO EXERCÍCIO EM GRUPO

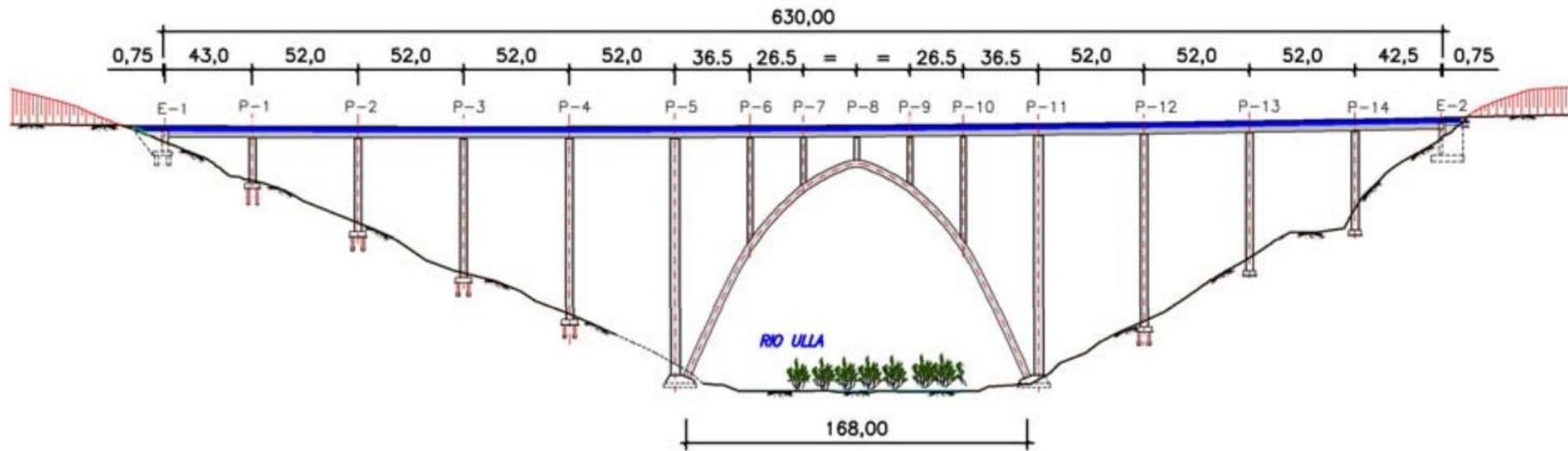
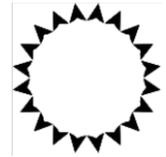


Figura 3.

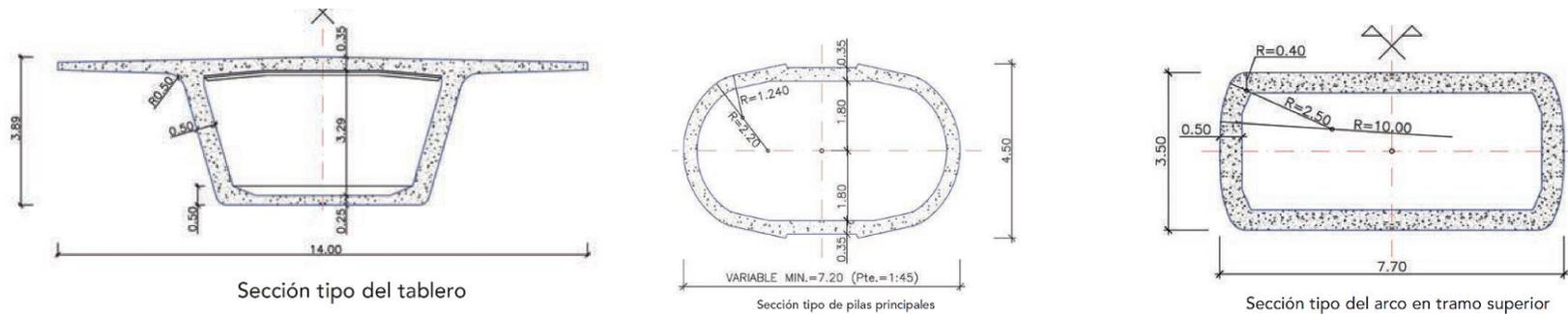
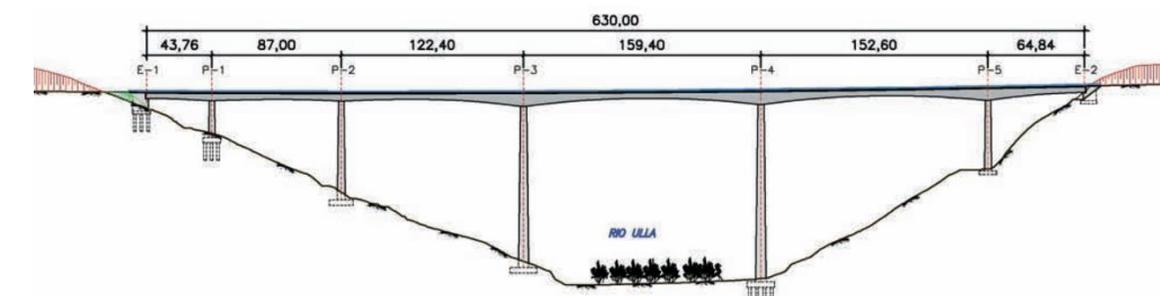
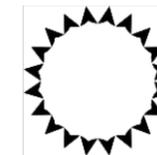


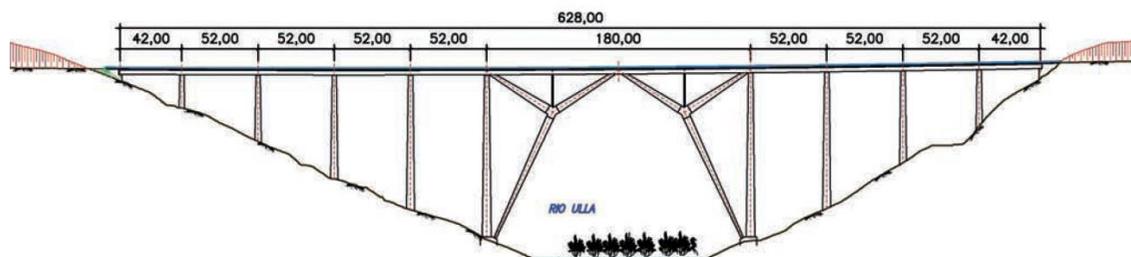
Figura 4 - seções transversais típicas do tabuleiro, dos pilares principais e do arco



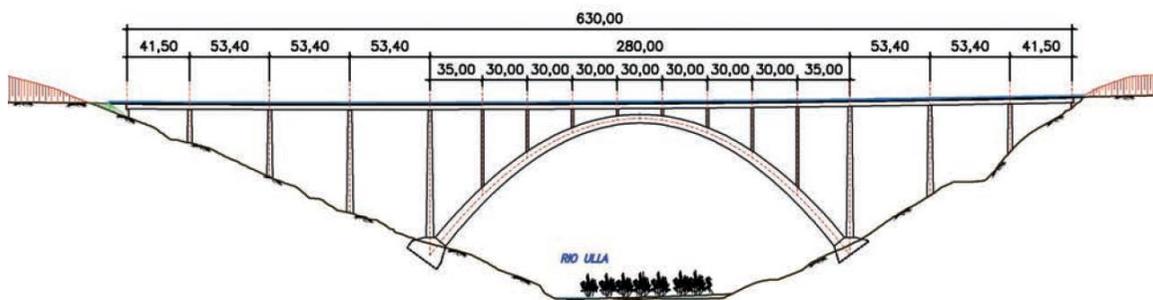
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
 PEF2602 - Estruturas na Arquitetura II: Sistemas Reticulados  
 2º SEMESTRE DE 2016  
 PRIMEIRO EXERCÍCIO EM GRUPO



Solução alternativa de voladizos sucessivos com 159,4 m de luz central



Solução alternativa com arco inferior peraltado poligonal de 170 m de luz



Solução alternativa com arco inferior rebajado curvo de 280 m de luz

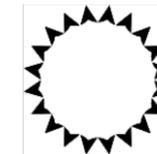
Figura 5 - arranjos geométricos

Tabela 1 – Quantitativos Globais

Longitud tablero.....	631,50 m
Anchura tablero.....	14 m
Canto tablero.....	3,89 m
Luz arco.....	168 m
Flecha arco.....	104,31 m
Luz típica tramos de acceso.....	52 m
Altura máxima pilas (P11).....	116,88 m
Longitud pilotes (1,80 m diámetro).....	1.191,30 m
Hormigón en cimientos, estribos y pilas.....	16.363 m <sup>3</sup>
Hormigón en arco.....	3.153 m <sup>3</sup>
Hormigón en tablero.....	6.540 m <sup>3</sup>
Acero de armar.....	3.934.798 kg
Acero de pretensar en cordones.....	220.164 kg
Acero de pretensar en barras.....	4.293 kg
Acero en tirantes en cordones.....	58.286 kg
Acero en tirantes en barras.....	22.632 kg
Anclajes al terreno (1176 kN).....	24 ud.



FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
PEF2602 - Estruturas na Arquitetura II: Sistemas Reticulados  
2º SEMESTRE DE 2016  
PRIMEIRO EXERCÍCIO EM GRUPO



**Exercício:**

1. Faça uma estimativa das cargas de peso próprio sobre o tabuleiro, considerando que este seja constituído de um material homogêneo (concreto de alta resistência), com a seção transversal dada na Figura 4(a). Pesquise valores típicos para a densidade de concretos de alto desempenho. Tratando-se de uma análise preliminar, a área da seção transversal das diversas peças que compõe a estrutura pode ser estimada de forma aproximada. Compare suas estimativas com os quantitativos dados na Tabela 1.
2. Faça uma estimativa do peso dos pilares P1 a P5 e P11 a P14, considerando que todas tenham a seção transversal indicada na Figura 4(b). Considere que os pilares P6 a P10, que descarregam sobre os arcos, tenham uma área de seção transversal de 25% das demais colunas, com um peso distribuído (por metro de comprimento) proporcionalmente menor.
3. Faça uma estimativa do peso distribuído (por metro de comprimento) do arco, considerando a seção homogênea mostrada na Figura 4(c). Compare as estimativas dos pesos dos pilares e do arco com os quantitativos da Tabela 1.
4. O arco do *Viaducto del Ulla* tem geometria funicular aos carregamentos permanentes, e cada segmento apresenta ligeira curvatura, em função das cargas de peso próprio. Tratando-se de uma análise preliminar, considere que o arco seja poligonal, com segmentos retilíneos.
5. Considere um modelo estrutural do arco poligonal, sujeito às cargas de peso próprio do tabuleiro e das colunas  $P_6$  a  $P_{10}$ . Considere que os pilares  $P_5$  e  $P_{11}$  tenham ambos a mesma altura ( $h_5=h_{11}=117m$ ). Faça uma estimativa da altura  $h_8$  a partir da Figura 3 (em escala) e determine analiticamente as alturas  $h_6=h_{10}$  e  $h_7=h_9$ , para que o arco seja funicular ao peso próprio. Admita que o peso próprio do arco e dos pilares que nele se apoiam possa ser assimilado a cargas verticais concentradas, aplicadas aos vértices do arco poligonal.
6. Compare os valores calculados para as alturas  $h_6$  e  $h_7$  com os valores estimados em escala, a partir da Figura 3. Determine os esforços solicitantes em cada trecho do arco poligonal (funicular em relação aos carregamentos de peso próprio, que se supõe concentrados nos nós). Estime a máxima tensão de compressão nos arcos, considerando a seção transversal da Figura 4(c), e compare-a com os limites de resistência de concretos de alto desempenho, pesquisados na literatura.
7. Considere um segundo caso de carregamento, com uma carga acidental correspondente a 30% do peso do tabuleiro, aplicada a

apenas metade do vão central, no trecho que vai do  $P_5$  ao  $P_{11}$ . Considere o arco articulado em correspondência ao vértice central. Determine empuxos e os esforços solicitantes neste caso.

8. Em seguida faça um modelo numérico do arco poligonal, por meio do programa FTool. Discretize o tabuleiro, as colunas e o arco com elementos de viga, com as seções transversais da Figura 4. Aplique os carregamentos concentrados de peso próprio anteriormente considerados no modelo analítico e compare os resultados dos modelos numérico. Inspeção os esforços solicitantes e as deformações resultantes no modelo numérico. Considere inicialmente o arco articulado nas bases e no nó central.
9. A seguir, considere o caso de carregamentos assimétricos e compare os resultados obtidos no modelo numérico (em termos de deformações, empuxos e esforços solicitantes ao longo do arco), tanto em presença de articulações nas bases e no nó central, como no caso destes nós serem rígidos. Note que neste último caso a estrutura é três vezes hiperestática.
10. Faça um segundo modelo numérico, incluindo todo o tabuleiro da ponte e os pilares  $P_1$  a  $P_{14}$ . Considere que os pesos dos pilares possam ser aplicados como cargas concentradas nos seus topos. Para evitar momentos fletores espúrios nos arcos, decorrentes do peso próprio, represente o peso do arco como forças concentradas, aplicadas aos vértices da poligonal. Considere todos os nós como rígidos, exceto os encontros dos pilares com o tabuleiro (que dispõe de aparelhos de neoprene, funcionando como articulações).
11. Inspeção os esforços as deformações resultantes neste último modelo e faça estimativas das tensões nos arcos e nos pilares, apenas em função da força normal (mais adiante no semestre, serão feitas estimativas das tensões desta estrutura, considerando os demais esforços solicitantes).
12. **Opcional:** repita o procedimento de análise dado acima, também para as alternativas mostradas na Figura 5. Compare criticamente os resultados obtidos.
13. **Aviso aos navegantes:** este exercício é bastante aberto e relativamente trabalhoso. Não deixem para resolvê-lo às vésperas do prazo de entrega, garantindo tempo para que as dúvidas surgidas possam ser esclarecidas com seus professores e o monitor da disciplina.

**Bom trabalho,**

**Ruy & Leila**