

## REGULAMENTO

### IV Torneio de Pontes de Espaguete

#### DISPOSIÇÕES GERAIS

1. Cada equipe deverá ser formada por, no máximo, cinco alunos dos cursos de Engenharia Civil ou Arquitetura.
2. Cada equipe poderá participar com apenas uma ponte.
3. Para inscrição da equipe, deverá ser preenchida, no hotsite da Expociência Universitária, a ficha de inscrição.
4. Antes da realização dos testes de carga das pontes, cada equipe deverá apresentar uma estimativa do valor da carga de colapso de sua ponte.
5. Na semana anterior à realização dos testes de carga das pontes, será constituída uma comissão de fiscalização formada pelos professores do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário São Camilo-ES. Esta comissão estará encarregada de verificar se as pontes se adequam às prescrições do regulamento da competição.
6. A equipe vencedora do torneio, aquela que atender as normas de construção e de apresentação da ponte e suportar maior carga na realização dos testes, será premiada com um troféu.

#### DATAS IMPORTANTES

ATIVIDADE	DATA LIMITE/HORÁRIO	LOCAL
Inscrição da equipe	26/09/19 Até às 23h59	Hotsite da Expociência Universitária
Entrega da ponte	21/10/19 18h30 às 21h30	Laboratório da Engenharia
Competição	23/10/19 19h	Auditório Inocente Radrizzani

#### NORMAS PARA A CONSTRUÇÃO DA PONTE

1. A ponte deverá ser indivisível, de tal forma que partes móveis ou encaixáveis não serão admitidas.

2. A ponte deverá ser construída utilizando apenas massa do tipo espaguete número 7 da marca Barilla.

3. As colas permitidas para construção da ponte são:

a) epoxi do tipo massa (exemplos: Durepoxi, Polyepox, Poxibonder, etc.);

b) epóxi do tipo resina (exemplos: Araldite, Poxipol, Colamix, etc.);

c) cianocrilato (exemplos de marcas: SuperBonder, Tek Bond, etc.);

d) cola quente em pistola para a união das barras nos nós.

4. Outros tipos de cola poderão ser admitidos se submetidos previamente à consideração do(s) professor(es) da(s) turma(s) participante(s) da competição.



Massa Espaguete



Colas Epoxi tipo resina

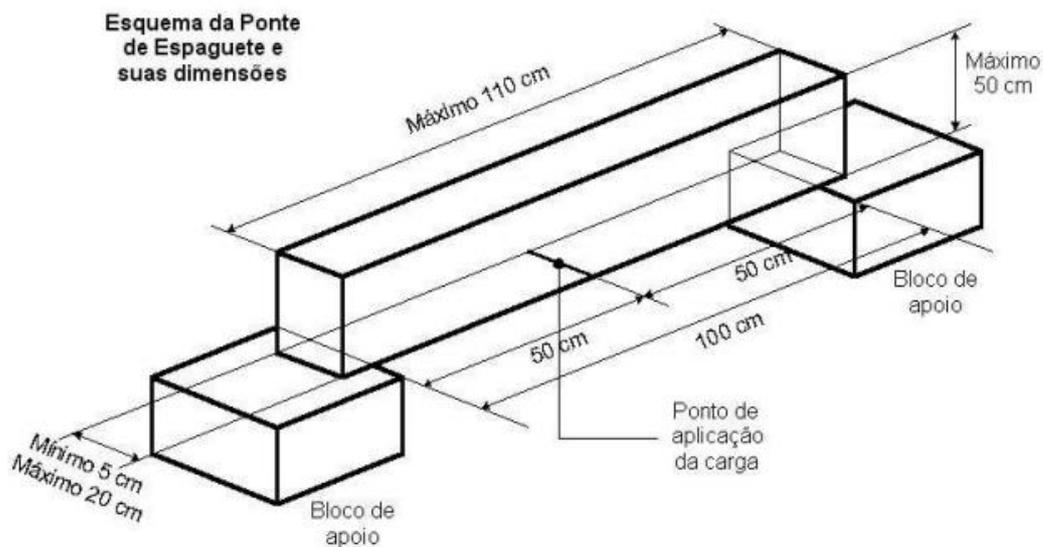


Cola Quente em pistola

5. O peso da ponte (considerando a massa espaguete e as cola utilizadas, o mecanismo de apoio fixado nas extremidades da ponte e a barra de aço para fixação da carga) não poderá ser superior a 900g.

6. A ponte só poderá receber revestimento ou pintura com as colas permitidas.

7. A ponte deverá ser capaz de vencer um vão livre de 1 m, estando apoiada livremente nas suas extremidades, de tal forma que a fixação das extremidades não será admitida.

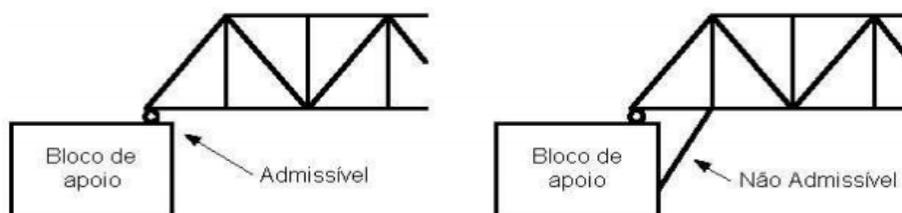


8. Na parte inferior de cada extremidade da ponte deverá ser fixado um tubo de PVC para água fria de 1/2" de diâmetro e até 20 cm de comprimento para possibilitar o apoio destas extremidades sobre as faces superiores (planas e horizontais) de dois blocos colocados no mesmo nível.



Tubo de PVC para água fria de 1/2" de diâmetro

9. Cada extremidade da ponte poderá prolongar-se até 5,0 cm de comprimento além da face vertical de cada bloco de apoio. Não será admitida a utilização das faces verticais dos blocos de apoio como pontos de apoio da ponte.



10. A altura máxima da ponte, medida verticalmente desde seu ponto mais baixo até o seu ponto mais alto, não deverá ultrapassar 50cm.

11. A ponte deverá ter uma largura mínima de 5cm e máxima de 20cm, ao longo de todo seu comprimento.

12. Para que possa ser realizado o teste de carga da ponte, ela deverá ter fixada na região correspondente ao centro do vão livre, no sentido transversal ao seu comprimento e no mesmo nível das extremidades apoiadas, uma barra de aço de construção de 8 mm de diâmetro e de comprimento igual à largura da ponte. A carga aplicada será transmitida à ponte através desta barra.



Barra de aço de construção de 8 mm de diâmetro

### **NORMAS PARA A APRESENTAÇÃO DAS PONTES**

1. Cada grupo deverá entregar sua ponte já construída, acondicionada em uma caixa de papelão. A data da entrega das pontes será divulgada pela coordenação da competição.
2. No momento da entrega de cada ponte, membros da comissão de fiscalização da competição procederão à pesagem e medição da ponte e à verificação do cumprimento das prescrições deste regulamento. Após a entrega, a ponte ficará armazenada em local a ser determinado pela comissão de fiscalização da competição, até o momento da realização dos testes de carga.

### **NORMAS PARA A REALIZAÇÃO DOS TESTES DE CARGA**

1. A ordem da realização dos testes de carga das pontes corresponderá, na medida do possível, à ordem de entrega das mesmas.
2. Cada grupo indicará um de seus membros para a realização do teste de carga de sua ponte. Durante o teste de carga, o aluno deverá utilizar óculos de proteção para evitar acidentes no momento do colapso da ponte.
3. A carga inicial a ser aplicada será de 2kg. Se após 10 segundos de ter aplicado a carga, a ponte não apresentar danos estruturais, será considerado que a ponte passou no teste de carga mínima, e ela estará habilitada para participar do teste da carga de colapso.

4. Se a ponte passou no teste da carga mínima, as cargas posteriores serão aplicadas em incrementos definidos pelo membro do grupo que está realizando o teste. Será exigido um mínimo de 10 segundos entre cada aplicação de incremento de carga.
5. Será considerado que a ponte atingiu o colapso se ela apresentar severos danos estruturais menos de 10 segundos após a aplicação do incremento de carga. A carga de colapso oficial da ponte será a última carga que a ponte foi capaz de suportar durante um período de 10 segundos, sem que ocorressem severos danos estruturais.
6. Se na aplicação de um incremento de carga ocorrer a destruição do ponto de aplicação da carga, será considerado que a ponte atingiu o colapso, pela impossibilidade de aplicar mais incrementos de carga (ainda que o resto da ponte permaneça sem grandes danos estruturais).
7. Após o colapso de cada ponte, os restos da ponte testada poderão ser examinados por membros da comissão de fiscalização da competição, para verificar se na sua construção foram utilizados apenas os materiais permitidos. Caso seja constatada a utilização de materiais não permitidos, a ponte estará desclassificada.
8. Em caso de empate de duas ou mais pontes com a mesma carga de colapso, será utilizado como critério de desempate o peso menor e se persistir o empate será considerada a ordem de entrega das pontes.
9. Qualquer problema, dúvida ou ocorrência não contemplada neste regulamento, deverá ser analisada pela comissão de fiscalização da competição e pela coordenação dos cursos de Engenharia.

Fonte: Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Msc. Luis Alberto Segovia González

## ANEXOS

### 1. Dados para o Projeto

Os dados aqui apresentados foram obtidos pelos professores Luis Alberto Segovia González, Inácio Benvegnu Morsch e João Ricardo Masuero, do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Maiores informações podem ser encontradas no artigo publicado no 18th International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2005), com o título "[Didactic Games in Engineering Teaching - Case: Spaghetti Bridges Design and Building Contest](#)".

Os dados apresentados a seguir, se referem ao espaguete prescrito para esta competição:

- Marca: Barilla
- Tipo: Spaghettoni
- Número: 7
- Peso do pacote: 500g



### Dados Gerais

- Número médio de fios de espaguete em cada pacote: 500
- Diâmetro médio: 1,8mm
- Raiomédio: 0,9mm
- Área da seção transversal:  $2,545 \times 10^{-2} \text{cm}^2$
- Momento de inércia da seção:  $5,153 \times 10^{-5} \text{cm}^4$
- Comprimento médio de cada fio: 25,4cm
- Peso médio de cada fio inteiro: 1g
- Peso linear:  $3,937 \times 10^{-2} \text{g/cm}$
- Módulo de Elasticidade Longitudinal:  $36000 \text{kgf/cm}^2$

### Dados sobre a Resistência à Tração

- Carga de ruptura por tração:

A carga de ruptura por tração para um fio de espaguete, independe do comprimento do fio, foi determinada através do ensaio de 6 corpos de prova submetidos a tração até a ruptura.

A carga média de ruptura obtida nestes ensaios foi de 4,267 kgf.

### Dados sobre a Resistência à Compressão

- Carga de ruptura por compressão:

A carga de ruptura por compressão dos fios de espaguete, está relacionada com o fenômeno da flambagem, que depende do comprimento do fio de espaguete, das propriedades geométricas da sua seção transversal e das condições de vinculação das extremidades.

Para a determinação da carga de ruptura por compressão de cada barra comprimida da treliça da ponte, sugere-se a proposta de roteiro de cálculo abaixo.

### **Proposta de Roteiro de Cálculo para Dimensionamento das Barras**

A partir dos resultados de 6 testes de tração (realizados pelo Prof. Inácio Morsch - UFRGS) e dos resultados de 93 ensaios de compressão de corpos de prova de diferentes comprimentos e formados por diferentes números de fios de espaguete (realizados pelo Prof. Luis Alberto Segovia González - UFRGS), foi redigido pelo Prof. João Ricardo Masuero - UFRGS um roteiro de cálculo para o dimensionamento das barras das treliças das pontes.

#### **Barras em tração**

Para encontrar o número de fios de espaguete necessário, basta dividir o Esforço Normal de tração calculado, pela resistência de cada fio:

$$\text{Numero de Fios} = \frac{N(\text{kgf})}{4,267(\text{kgf})}$$

#### **Barras em compressão**

Para encontrar o número de fios necessários, consideremos que a flambagem ocorre em regime elástico linear, seguindo a equação de Euler.

A equação de Euler é:

$$P_{CR} = \frac{\pi^2 EA}{\lambda^2} \quad \lambda = \frac{l_f}{\rho} \quad \rho = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Onde  $P_{CR}$  é o Esforço Normal de compressão que a barra deve suportar,  $A$  é a área da seção transversal,  $\lambda$  é o índice de esbeltez da barra,  $l_f$  é o comprimento de flambagem da barra,  $\rho$  é o raio de giração e  $I$  é o momento principal central de inércia da seção.

Considerando-se que a partir de um certo número de fios de espaguete, a seção transversal tende para uma seção circular, pode-se escrever:

$$A = \pi R^2 \quad I = \frac{\pi R^4}{4} \quad \rho = \frac{R}{2}$$

e que, em barras rotuladas-rotuladas, o comprimento de flambagem é igual ao comprimento real ou distância entre nós, obtém-se:

$$N = \frac{\pi^3 ER^4}{4l^2} \quad R = \sqrt[4]{\frac{4Nl^2}{\pi^3 E}}$$

Mesmo que os nós não sejam rotulados, mas rígidos com uniões coladas, a consideração anterior é conservativa pois não se pode garantir o engastamento perfeito das barras nos nós, levando a uma situação intermediária entre a considerada e a engastada-engastada.

O número de fios pode ser obtido dividindo-se a área necessária pela área de cada fio.

$$\text{Numero de Fios} = \frac{\pi R^2}{\pi r^2} = \frac{R^2}{r^2} = \frac{\sqrt[4]{\frac{4Nl^2}{\pi^3 E}}}{r^2} = \sqrt{\frac{4Nl^2}{\pi^3 E r^4}}$$

onde r é o raio de um fio de espaguete.

Assim, para os dados do espaguete, a equação acima fica:

$$\text{Numero de Fios} = \sqrt{\frac{Nl^2}{279056r^4}} \quad \text{para N em kgf, l e r em cm}$$

$$\text{Numero de Fios} = \sqrt{\frac{Nl^2}{27906r^4}} \quad \text{para N em N, l e r em mm}$$