

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLOGIA
INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA, EDUCAÇÃO E TECNOLOGIA GOIANO
CAMPUS TRINDADE**

**REGULAMENTO DO VII CONCURSO DE
CONSTRUÇÃO DE PONTES
- Palitos de Bambu -**

Coordenador: Prof. Geraldo Pereira da Silva Junior

Equipe: Prof. Aleones Jose da Cruz Junior

Prof. Italo Bruno Baleeiro Guimaraes

Prof. Jeanisson Cesar Mariano Silva

Prof. Marcel Willian Reis Sales

Prof. Nicolas Hoannys Silva Oliveira

Prof. Pedro Filipe de Luna Cunha

Prof. Vinicius Otto de Aguiar Ritzmann Marzall

Trindade, 2024

1 INTRODUÇÃO

A Competição de Pontes de Espaguete, uma renomada atividade acadêmica de alcance global, tem sido promovida em diversas instituições de ensino tanto no Brasil quanto no exterior. Sua estreia ocorreu em 1983 na Okanagan College, localizada na Colúmbia Britânica. No cenário nacional, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) pioneiramente introduziu essa competição em 2004, que agora se estende praticamente a todas as instituições de ensino de engenharia.

O propósito subjacente a essa iniciativa é engajar os estudantes dos cursos voltados para a área tecnológica de estruturas de construção civil, estabelecendo vínculos entre os conceitos teóricos abordados na disciplina de Projetos Estruturais, Teoria das Estruturas e matérias correlatas, e sua aplicação prática no desenvolvimento de projetos.

Nessa perspectiva, o IF Goiano Campus Trindade está convocando os alunos matriculados no curso técnico integrado de Edificações e de Engenharia Civil para se lançarem no desafio durante a apresentação da Feira de Ciências, que se realizará na VI Semana de Ciência e Tecnologia do Campus. A tradição desta competição no IF Goiano Campus Trindade remonta ao ano de 2015, sob a orientação do Professor Geraldo Pereira da Silva Junior, em coordenação conjunta com outros docentes do mesmo campus.

No decorrer dos anos observou-se que o projeto proporciona uma forma mais aprofundada de apreender o comportamento de sistemas estruturais confeccionados com materiais flexíveis, como silicone, borracha e elásticos. No âmbito deste contexto, a partir do ano de 2013 empregaremos **o palito de bambu** como material de escolha substituindo o espaguete.

2 OBJETIVOS

A Competição de Pontes de Palitos é concebida com o objetivo central de fomentar a aplicação prática e aprofundada dos conceitos estruturais, englobando a análise, projeto, fabricação e submissão a um teste destrutivo, de uma ponte treliçada fabricada com a fusão de palitos de bambu e colas epóxi ou de silicone aplicadas com pistola.

A estrutura a ser concebida deve demonstrar a capacidade de abranger um vão livre de 1 metro, sem ultrapassar um peso de 650 gramas. A etapa construtiva da ponte requer uma prévia análise de várias alternativas de tipologias de pontes, **acompanhada de um memorial de cálculos abrangente**, especificamente do modelo selecionado, **incluindo uma avaliação estimada da carga de colapso**.

Este empreendimento pedagógico visa a estimular os estudantes a adquirirem um conjunto de competências, permitindo-lhes:

- Empregar os fundamentos adquiridos na disciplina de Teoria das Estruturas e em disciplinas correlatas para a solução de desafios estruturais;
- Utilizar recursos computacionais para a resolução de questões relativas a estruturas;
- Conceber sistemas estruturais de natureza simples;
- Comunicar e embasar suas proposições de maneira oral e escrita;
- Colaborar em equipe na execução de suas empreitadas projetuais;
- Efetuar uma atividade de conformidade rigorosa com normas regulamentares específicas.

3 REGULAMENTO

3.1 DISPOSIÇÕES GERAIS

- a) Cada equipe inscrita na competição poderá participar com **apenas uma ponte**;
- b) **Cada equipe terá um líder, definido pelo professor da referida disciplina, e será composta por até 4 componentes escolhidos via sorteio;**
- c) **O sorteio dos componentes dos grupos será organizado pelo professor**
- d) Cada grupo deverá apresentar o memorial de calculo **contendo o valor da carga de colapso de sua ponte** e uma lista das colas utilizadas na sua construção;
- e) O memorial de calculo deverá ser entregue a Comissão Organizadora antes da realização dos testes de carga das pontes;
- f) É obrigatória a presença de todos os integrantes da equipe para realização do teste de carga;
- g) As equipes, cujas pontes não atenderem todos os requisitos deste regulamento, poderão efetuar o teste de carga no final do evento, porém, **não concorrerão à premiação caso seja disponibilizado;**
- h) Para fins de pontuação na avaliação das disciplinas dos cursos IF Goianos Campus Trindade, **cada docente será encarregado de determinar a pontuação associada ao concurso em sua respectiva disciplina**, a qual será contabilizada como parte da nota total correspondente ao terceiro trimestre (em cursos integrados) ou ao semestre (em cursos de graduação ou em cursos técnicos subsequentes);
- i) A nota definida pelo professor para o concurso terá como pesos os seguintes itens:
- 40% do ato da entrega intacta da ponte,
 - 20% relacionado ao cumprimento dos requisitos de projetos estabelecidos,
 - 20% relacionado a ruptura dentro da previsão da capacidade de carga projetada (com tolerância de 10%) e;
 - 20% distribuídos de acordo com a classificação na competição;
- j) Quaisquer dúvidas ou situações não previstas neste regulamento serão definidas, pela Comissão Organizadora (as equipes deverão formalizar as dúvidas por escrito).

3.2 NORMAS PARA A CONSTRUÇÃO DA PONTE

- a) A ponte deverá ser indivisível, de tal forma que **partes móveis ou encaixáveis não serão admitidas**;
- b) A ponte deverá ser construída utilizando **apenas palitos de bambu** de acordo com o que for definido pela Comissão Organizadora da competição;



Figura 1: Palitos de Bambu

c) Será permitido colas epóxi do tipo massa (exemplos de marcas: Durepoxi, Polyepox, Poxibonder, etc.) e do tipo resina (exemplos de marcas: Araldite, Poxipol, Colamix, ProEpoxi etc.).



Colas epoxi tipo massa



Colas epoxi tipo resina

Figura 2: Colas epóxi permitidas

d) Será admitida a utilização de cola quente em pistola apenas para a união das barras nos nós;



Cola quente em pistola

Figura 3: Cola quente permitida

e) Outros tipos de cola poderão ser admitidos desde que sejam previamente submetidos à consideração da Comissão Organizadora por escrito.

f) O peso da ponte (considerando a massa espaguete, colas utilizadas, apoios e suporte de carga) **NÃO PODERÁ SER SUPERIOR A 650G**;

g) No limite de peso prescrito (650g), **SERÃO CONSIDERADOS O PESO DO MECANISMO DE APOIO FIXADO NAS EXTREMIDADES DA PONTE (descrito a seguir, no item j), E O PESO DA BARRA DE AÇO PARA FIXAÇÃO DA CARGA (descrito a seguir, no item n)**;

h) A ponte **NÃO DEVERÁ RECEBER REVESTIMENTO OU PINTURA, EXCETO DAS COLAS PERMITIDAS**;

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

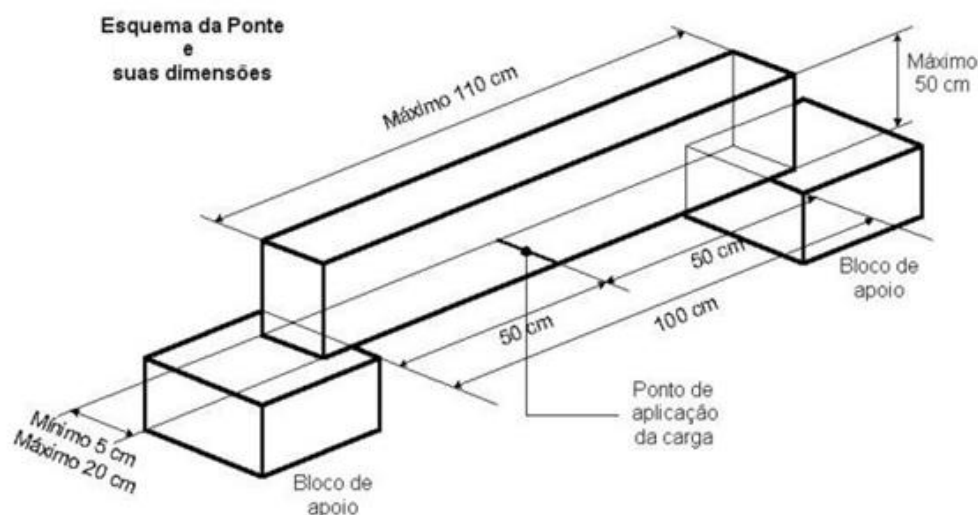


Figura 4: Esquema da Ponte e suas dimensões

j) Na parte inferior de cada extremidade da ponte deverá ser fixado um tubo de PVC para água fria, de 20 mm de diâmetro externo e entre 5 cm e 20 cm de comprimento (**independente da largura da ponte projetada**) para facilitar o apoio destas extremidades sobre as faces superiores (planas e horizontais) de dois blocos colocados no mesmo nível. O peso dos tubos de PVC, **SERÃO** contabilizados no peso total da ponte, como descrito no item f.



Figura 5: Tubo de PVC para água fria

k) Cada extremidade da ponte poderá prolongar-se até 5cm 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;

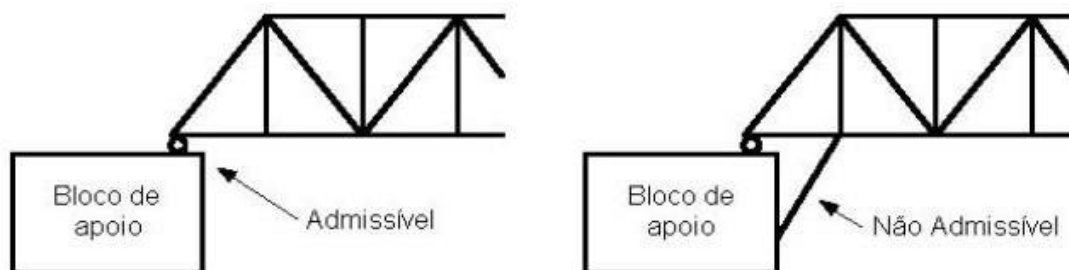


Figura 6: Forma de apoio permitida

l) A **ALTURA MÁXIMA DA PONTE**, medida verticalmente desde seu ponto mais baixo até o seu ponto mais alto, não deverá ultrapassar **50 cm** sendo admitidos **10% de tolerância**;

m) A **PONTE DEVERÁ TER UMA LARGURA MÍNIMA DE 5 CM E MÁXIMA DE 20 CM**, ao longo de todo seu comprimento, sendo admitidos **10% de tolerância**;

n) Para que possa ser realizado o teste de carga da ponte, deverá ser 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 entre 5 cm e 20 cm. **O peso da barra SERÁ contabilizado no peso total da ponte, como descrito no item g.**



Figura 7: Barra de aço de construção de 8 mm de diâmetro

o) A carga aplicada será transmitida à ponte através desta barra de aço de construção, sendo nelas fixados o mecanismo de suporte dos anéis (ganchos) para acomodação dos pesos. **O PESO DO MECANISMO DE SUPORTE DOS ANÉIS (GANCHOS) FARÁ PARTE DO CARREGAMENTO**;

p) A critério da Comissão Organizadora no dia do teste de carga **poderão ser utilizados um ou mais MECANISMO DE SUPORTE DOS ANÉIS (GANCHOS) para acomodação dos pesos.**

3.3 NORMAS PARA A APRESENTAÇÃO DAS PONTES

a) Cada equipe deverá entregar sua ponte já construída, e acondicionar em local especificado pela Comissão Organizadora no dia definido para o rompimento;

b) Após a entrega de cada ponte, a Comissão Organizadora procederá a pesagem e a medição da ponte, bem como a verificação do cumprimento de todas as prescrições deste regulamento.

c) As pontes serão identificadas com um lacre (adesivo) contendo o nome completo dos membros do grupo e o nome fantasia da ponte que deverão ser entregues no dia até o horário de início dos testes de carga;

d) Pelo menos um membro da equipe deverá acompanhar o processo de pesagem, medição e verificação;

e) No dia dos testes de carga, cada equipe será responsável pela retirada e transporte da ponte até o local do evento, que será oportunamente definido, devendo obrigatoriamente permanecer com o lacre de identificação.

3.4 NORMAS PARA A REALIZAÇÃO DOS TESTES DE CARGA

a) A ordem da realização dos testes de carga das pontes corresponderá preferencialmente à ordem de entrega das mesmas e será divulgada oportunamente no horário do rompimento;

b) Cada grupo indicará dois de seus membros para a realização do teste de carga de sua ponte, sendo que apenas um posicionará os pesos no dispositivo de carregamento e o outro poderá auxiliar na escolha dos anéis.

c) Ambos deverão utilizar equipamentos de proteção individual (capacete, óculos e luvas de proteção);

d) Os grupos também indicará outro membro para acompanhar o registro e validação do carregamento junto à Comissão Organizadora;

e) Os demais integrantes dos grupos deverão se posicionar junto à plateia;

f) A carga inicial a ser aplicada será o peso correspondente do mecanismo de suporte dos anéis (ganchos) que carregarão a ponte. **Se após 10 segundos da aplicação da 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;

g) Se a ponte passou no teste da carga mínima, as cargas posteriores serão aplicadas em incrementos definidos pelos membros da Comissão Organizadora que estão realizando o teste. **Será exigido um mínimo de 10 segundos entre cada aplicação de incremento de carga;**

h) 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;

i) 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;

j) 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);

k) Após o colapso de cada ponte, os restos da ponte testada poderão ser examinados pela Comissão Organizadora, para verificar se na sua construção foram utilizados apenas os materiais permitidos;

l) CASO SEJA CONSTATADA A UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS NÃO PERMITIDOS, A PONTE ESTARÁ DESCLASSIFICADA;

m) 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 considerado a ponte de maior comprimento e, se ainda persistir o empate, será considerada a ordem de entrega das pontes.

n) A Comissão Organizadora no dia do teste de carga pode optar por uma combinação de pesos utilizando um ou mais ganchos, também pode optar por uma combinação que resulte em descarregamento da ponte entre estágios sendo garantida a igualdade de execução dos testes de carga para as várias pontes do torneio.

o) Quaisquer problemas, dúvidas ou ocorrências não contempladas neste regulamento deverão ser analisados pela Comissão Organizadora.

4 METODOLOGIA DE CÁLCULO

4.1 DETERMINAÇÃO DO ESFORÇO INTERNO AXIAL.

Uma maneira de compreender melhor o comportamento de sistemas estruturais pode ser feito através da observação de modelos reduzidos de estruturas, como exemplo pode-se citar sistemas estruturais confeccionados com materiais flexíveis como o silicone, a borracha e o elástico.

Um sistema estrutural bastante utilizado na engenharia são as chamadas TRELIÇAS, mas o que é uma treliça?

Uma treliça é uma estrutura reticulada que tem todas as ligações entre barras articuladas, a figura abaixo mostra uma treliça plana com suas cargas e reações. Na análise de uma treliça as cargas atuantes são transferidas para os seus nós. A consequência disso em conjunto com a hipótese de ligações articuladas, é que uma treliça apresenta apenas esforços axiais (esforços normais de tração e compressão).

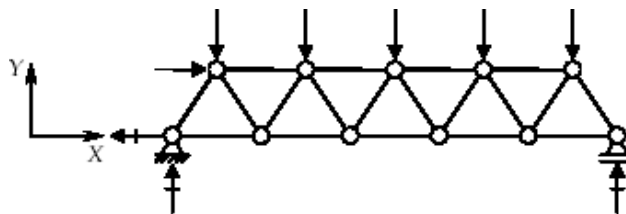


Figura 8: Representação de calculo de uma Treliça

O cálculo da treliça pode ser feito utilizando dois métodos:

- Método das seções
- Método dos nós

A seguir temos **um exemplo** simples do cálculo de uma treliça utilizando o método das seções:

1º Passo - Consideramos um peso de 40kg que a ponte irá suportar aplicado no meio da estrutura entre 4 nós definidos nas conexões dos pontos D e F de cada uma das treliças que compõem a ponte;

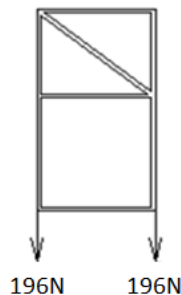


Figura 9: Representação em corte da ação das forças em cada uma das Treliças que compõe a ponte

OBS: como 40kg equivale a 392N de força peso, dividindo pela metade temos 196N de força peso para cada uma das treliças ;

2º Passo – Neste exemplo, para cada uma das treliças, temos 4 nós de suporte que dividirá a carga de 196N para cada treliça estabelecendo uma força peso de 98N em cada um dos nós – D e F - obtendo assim seguinte configuração:

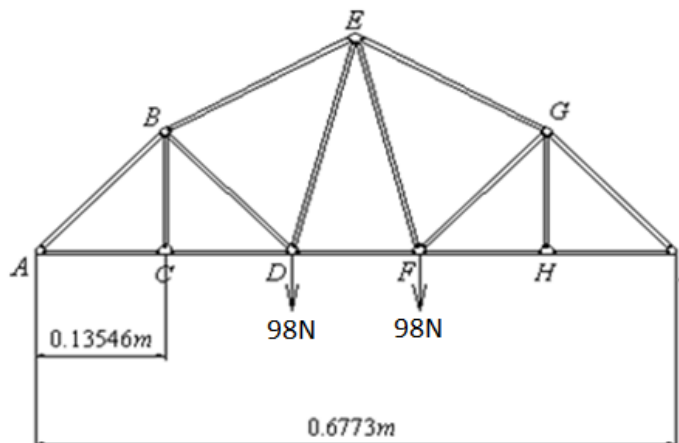


Figura 10: Representação lateral da ação das forças em uma das Treliças que compõe a ponte

3º Passo – Após a caracterização do carregamento a ser suportado, constitui-se o sistema de cálculo (diagrama de corpo livre) considerando um apoio de segunda ordem e outro apoio de primeira ordem em cada um dos nós de extremidade.

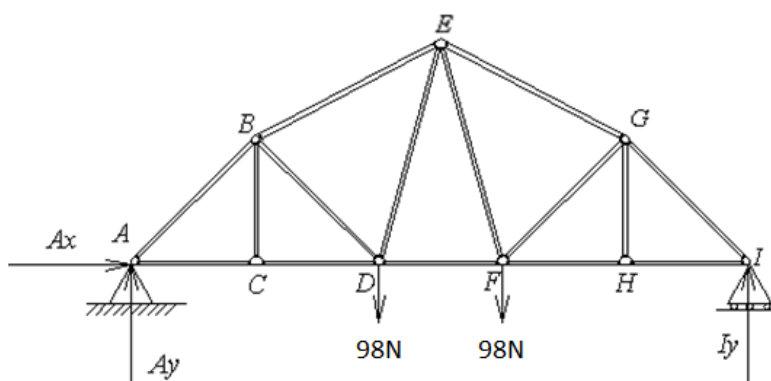


Figura 11: Representação lateral de cálculo para uma das Treliças que compõe a ponte

4º Passo – Considerando os conhecimentos de análise estrutural calculam-se as reações de apoio a partir das equações de equilíbrio estático.

$\Sigma F_x = 0$	$\Sigma F_y = 0$	$\Sigma M_A = 0$
$A_x = 0$	$I_y + A_y = 196$	$I_y(0.6773) - (0.27092)98 - (0.40638)98 = 0$
		$I_y = \frac{66,3754}{0,6773} = 98N$
	$A_y = 196 - I_y$	
	$A_y = 98N$	

5º Passo – Utilizando o Método dos nós calcula-se o valor do esforço interno axial de cada barra da treliça classificando-o como de tração ou de compressão.

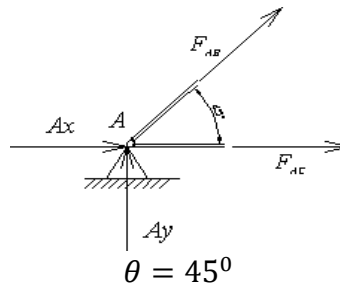


Figura 12: Representação de calculo para uma dos nós das Treliças que compõe a ponte

$\sum F_x = 0$ $A_x + F_{AC} + F_{AB} \cdot \cos(\theta) = 0$ $0 + F_{AC} + F_{AB} \cdot 0,707 = 0$ $F_{AC} = 98N$ <p>Barra AC tracionada</p>	$\sum F_y = 0$ $A_y + F_{AB} \cdot \sin(\theta) = 0$ $98 + F_{AB} \cdot 0,707 = 0$ $F_{AB} = \frac{-98}{0,707} = -138,6N$ <p>Barra AB comprimida</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

OBS: Este método pode ser utilizado em determinadas seções para se definir todas os esforços axiais que agem internamente em cada barra. Também se utiliza o Método das seções.

4.2 DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS DA TRELIÇA.

Material: Palitos de Bambu

A partir do conhecimento das propriedades do bambu foi possível definir as equações que serão as ferramentas para o dimensionamento das barras para construção da ponte.

Como dito anteriormente as barras de uma treliça podem estar submetidas a apenas dois tipos de esforços internos axiais:

- Tração
- Compressão

Quando se faz os cálculos as respostas obtidas já nos dizem se é tração ou compressão dependendo do sentido que adotamos.

IMPORTANTE!

1. A marca e modelo dos palitos de bambu que será utilizado na competição deverá ser descrito no memorial de cálculo;
2. A definição das equações de cargas de tração e compressão presentes neste regulamento será realizada com as características mecânicas obtidas nos ensaios de palitos de bambu presentes no regulamento do IV Campeonato de Pontes da Candido Mendes.

Exemplo e Cálculo de dimensionamento das barras tracionadas:

Então, como visto no exemplo da determinação do esforço interno axial, a **barra AC** sofre uma carga de 98 N (tração), considerando uma tensão característica a tração do bambu $f_{tk(bambu)} = 120,0 \text{ MPa}$ e o diâmetro do bambu de $\varnothing = 4,0 \text{ mm}$, temos:

$$\sigma_{\text{cálculo tração}} = 0,4 \cdot \frac{120,0 \cdot 10^6}{1,8} = 26,7 \text{ MPa}$$

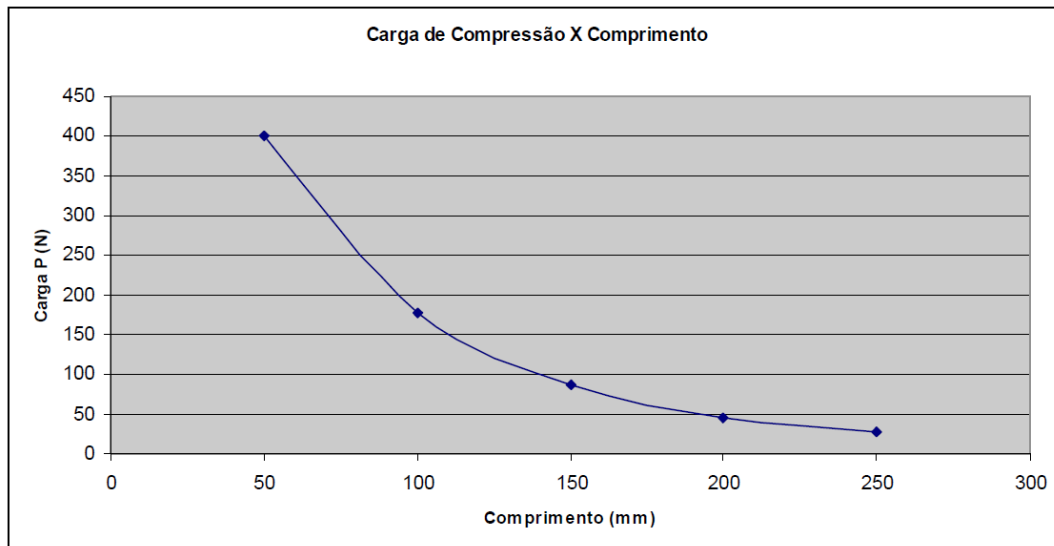
$$\text{Número final de palitos por tração} = \frac{4,1,8.96}{3,14 \cdot 0,004^2 \cdot 26,7 \cdot 10^6} = 0,52$$

É claro que é inviável utilizar **0,52** de um palito de bambu, então para isso utiliza-se um **número inteiro superior** (neste caso 1 palito) de bambu para manter a estabilidade da ponte.

Barras Comprimidas:

Para barras submetidas à compressão inicialmente será determinado o valor da tensão característica de compressão do bambu ($f_{ck(bambu)}$) que será utilizada para o cálculo do **número inicial de fios**. Para obter a tensão característica de compressão do bambu será utilizado o gráfico abaixo que relaciona a carga de ruptura por compressão com o comprimento do palito de bambu:

Gráfico de relação entre a carga crítica de compressão com o comprimento da barra obtido no regulamento do IV Campeonato de Pontes da Candido Mendes



$$f_{ck(bambu)} = \frac{4 \cdot \text{Carga de Compressão Obtida pelo Gráfico}}{\pi \cdot (\varnothing)^2}$$

Onde:

$$\varnothing = \text{Diâmetro do palito de bambu usado no ensaio} = 0,004 \text{ m}$$

Após a aquisição da tensão característica de compressão do bambu pelo gráfico obtém-se a tensão de cálculo de compressão ($\sigma_{\text{cálculo compressão}}$) através da equação:

$$\sigma_{\text{cálculo compressão}} = 0,4 \cdot \frac{f_{ck(\text{bambu})}}{1,4}$$

Ao obter o valor da tensão de cálculo de compressão calcula-se o diâmetro inicial de palitos (ϕ_{inicial}) para barra pela equação:

$$\phi_{\text{inicial}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,5 \cdot \text{CARGA CALCULADA NA BARRA (N)}}{\pi \cdot \sigma_{\text{cálculo compressão}}}}$$

Com o valor do diâmetro inicial de palitos para a barra comprimida obtém-se a carga crítica de compressão (F_e) para a barra pela expressão:

$$F_e = \frac{\pi^3 \cdot E_{\text{bambu}} \cdot \phi_{\text{inicial}}^4}{64 \cdot l^2}$$

Onde:

l = comprimento da barra comprimida em metros (m)

E_{bambu} = módulo de elasticidade do palito de bambu em Pascal (Pa) = $9,697 \cdot 10^9$ Pa

Ensaio de elasticidade obtido no regulamento do IV Campeonato de Pontes da Candido Mendes

Corpo de prova	E - Módulo de Elasticidade (GPa)	E - valor médio (GPa)
CP1	11,650	9,697
CP2	13,300	
CP3	13,305	
CP4	6,766	
CP5	11,875	
CP6	9,687	
CP7	7,374	
CP8	9,706	
CP9	7,578	
CP10	8,149	

Após a determinação da carga crítica de compressão deverá ser obtido a excentricidade de cálculo (e_d) para determinação do Momento de Excentricidade (M_d) da barra comprimida.

$$e_d = \left(\frac{\phi_{\text{inicial}}}{30} + \frac{l}{300} \right) * \left(\frac{F_e}{F_e - 1,5 \cdot \text{CARGA CALCULADA NA BARRA (N)}} \right)$$

$$M_d = e_d \cdot 1,5 \cdot \text{CARGA CALCULADA NA BARRA (N)}$$

Obtendo o Momento de Excentricidade realiza-se a **verificação da seção transversal para o diâmetro inicial de palitos ($\phi_{inicial}$)**.

$$\sigma_{Nd} + \sigma_{Md} \leq \sigma_{cálculo compressão}$$

Para barras circulares:

$$\frac{4.1.5. CARGA CALCULADA NA BARRA (N)}{\pi^2 \phi_{inicial}^2} + \frac{32. M_d}{\pi \phi_{inicial}^3} \leq \sigma_{cálculo compressão}$$

Observa-se:

1) Se o termo da equação $\left(\frac{4.1.5. CARGA CALCULADA NA BARRA (N)}{\pi^2 \phi_{inicial}^2} + \frac{32. M_d}{\pi \phi_{inicial}^3} \right)$ for igual ou menor que $\sigma_{cálculo compressão}$, **então o diâmetro inicial de palitos ($\phi_{inicial}$) pode ser usado sendo o diâmetro final de palitos (ϕ_{final}) igual ao diâmetro inicial de palitos.**

$$\phi_{final} = \phi_{inicial}$$

2) Se o termo da equação $\left(\frac{4.1.5. CARGA CALCULADA NA BARRA (N)}{\pi^2 \phi_{inicial}^2} + \frac{32. M_d}{\pi \phi_{inicial}^3} \right)$ for maior que $\sigma_{cálculo compressão}$, então o diâmetro inicial de palitos ($\phi_{inicial}$) deve ser acrescido de um valor obtendo assim um novo diâmetro denominado verificação ($\phi_{verificação}$).

$$\phi_{verificação} = \phi_{inicial} + valor$$

O calculo do termo da equação $\left(\frac{4.1.5. CARGA CALCULADA NA BARRA (N)}{\pi^2 \phi_{verificação}^2} + \frac{32. M_d}{\pi \phi_{verificação}^3} \right)$ deve ser refeito até que se atinja a condição onde o termo da equação fique igual ou menor que $\sigma_{cálculo compressão}$, sendo estabelecido como o **diâmetro final de palitos (ϕ_{final}) o valor igual ao do diâmetro de verificação.**

$$\phi_{final} = \phi_{verificação}$$

Com a obtenção do diâmetro final de palitos para a barra comprimida calcula-se o **número final de palitos por compressão.**

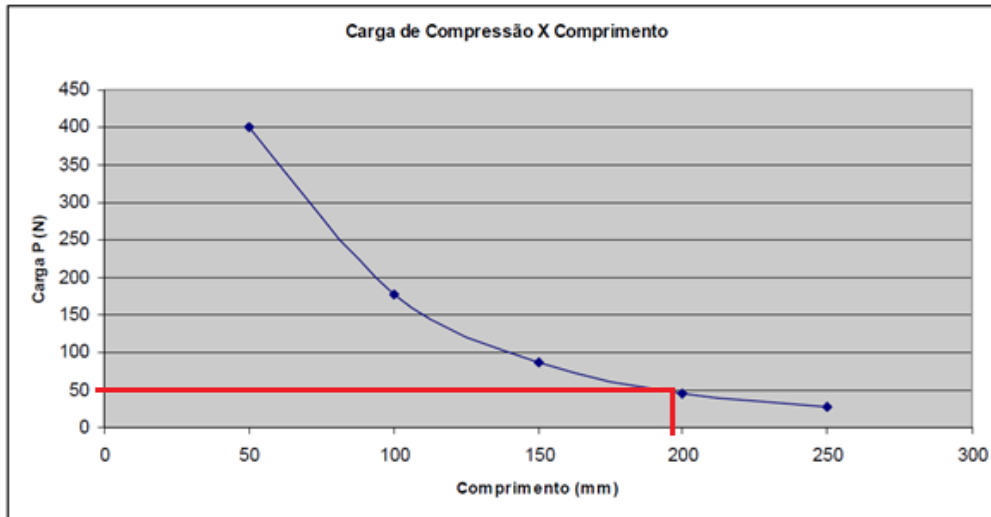
$$\text{Número final de palitos por compressão} = \frac{\phi_{final}}{\phi}$$

Onde;

$$\phi = \text{Diâmetro de um palito de bambu em metros (m)}$$

Exemplo e Cálculo de dimensionamento das barras comprimidas:

No exemplo temos que a **barra AB** suporta uma carga de 138,6N (compressão) e seu comprimento é de 0,19307 metros. A obtenção da tensão característica de compressão do bambu ($f_{ck(bambu)}$) é feita a partir da análise do gráfico da carga de ruptura por compressão com o comprimento do palito de bambu.



$$f_{ck(bambu)} = \frac{4.50}{\pi \cdot (0,004)^2} = 3,98 \text{ MPa}$$

Obtendo a tensão de cálculo de compressão:

$$\sigma_{\text{cálculo compressão}} = 0,4 \cdot \frac{3,98 \cdot 10^6}{1,4} = 1,14 \text{ MPa}$$

Cálculo do diâmetro inicial de palitos:

$$\phi_{\text{inicial}} = \sqrt{\frac{4,15.138,6}{\pi \cdot 1,14 \cdot 10^6}} = 0,0152 \text{ m}$$

Verificação do diâmetro obtido.

- Carga crítica de compressão.

$$F_e = \frac{\pi^3 \cdot 9,697 \cdot 10^9 \cdot 0,0152^4}{64 \cdot 0,19307^2} = 6,73 \text{ KN}$$

- Excentricidade de cálculo:

$$e_d = \left(\frac{0,0152}{30} + \frac{0,19307}{300} \right) * \left(\frac{6,73 \cdot 10^3}{6,73 \cdot 10^3 - 1,5.138,6} \right) = 1,17 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

- Momento de excentricidade:

$$M_d = 1,17 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 138,6 = 0,2434 \text{ Nm}$$

- Verificação:

$$\sigma_{Nd} + \sigma_{Md} \leq \sigma_{\text{cálculo compressão}}$$

$$\sigma_{\text{cálculo compressão}} = 1,14 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{4,15 \cdot \text{CARGA CALCULADA NA BARRA (N)}}{\pi^2 \phi_{\text{inicial}}^2} + \frac{32 \cdot M_d}{\pi \phi_{\text{inicial}}^3} \right) = \left(\frac{4,15 \cdot 138,6}{\pi^2 0,0152^2} + \frac{32 \cdot 0,2434}{\pi 0,0152^3} \right) = 1,07 \text{ MPa}$$

Como $1,07 \text{ MPa} \leq 1,14 \text{ MPa}$ então:

$$\phi_{\text{final}} = \phi_{\text{inicial}} = \mathbf{0,0152m}$$

- **Número final de palitos por compressão para a barra AB.**

$$\text{Número final de palitos por compressão} = \frac{0,0152}{0,004} = 3,8$$

É claro que é inviável utilizar **3,8** palitos de bambu, então para isso utiliza-se um **número inteiro superior** (neste caso 4 palitos) de bambu para manter a estabilidade da ponte.

5 SUGESTÃO DE MODELOS DE PONTES

Para incentivar a imaginação no projeto da ponte, estão disponíveis algumas versões de demonstração de jogos que tratam da construção de pontes e outros tipos de estruturas:

- A empresa CronicLogic disponibiliza em seu site vários demos de jogos cuja temática é a construção de pontes. Entre eles o Bridge Builder, o Bridge Building Game, o Pontifex I, o Pontifex II e o Bridge Construction Set. Estão disponíveis apenas versões para Windows.

- A empresa Armadillo Run disponibiliza em seu site uma versão de demonstração de um divertido jogo onde as leis da física são as peças fundamentais para solucionar o desafio de transportar um tatu (em inglês, "armadillo"), de um ponto para outro do espaço. Para realizar a tarefa proposta devem ser considerados de forma divertida conceitos de tensão, gravidade, resistência e impulso. Está disponível apenas uma versão para Windows do jogo Armadillo Run.

- A empresa Valusoft disponibiliza a versão de demonstração de um jogo onde o objetivo é destruir e construir estruturas. Está disponível apenas uma versão para Windows do jogo Construction Destruction. Atenção: o arquivo tem 83 MB e o jogo exige um computador com boa placa gráfica.

6 BIBLIOGRAFIA

Regulamento baseado nas orientações previstas no Edital da Competição de Pontes de palitos de bambu, UNISINOS.

GONZÁLES, Luis Alberto Segovia González. COMPETIÇÃO DE PONTES DE ESPAGUETE. UFRGS. <http://www.ppgec.ufrgs.br/segovia/espaguete/dados.html> Último acesso: 10/10/2017.