

UNIP - UNIVERSIDADE PAULISTA

Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia - ICET

Curso de Engenharia

“PONTE DE MACARRÃO”

Carlos F. L. F. Junior	RA: B36HJI-7
Clayton Sibuya	RA: B2416B-3
Danilo de Oliveira	RA: B21681-6
Jhonatan César	RA: B4266H-2
Kelly S. T. dos Anjos	RA: B44273-5

Campus – Chácara Santo Antônio

2012

UNIP - UNIVERSIDADE PAULISTA

Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia - ICET

Curso de Engenharia

“PONTE DE MACARRÃO”

Carlos F. L. F. Junior	RA: B36HJI-7
Clayton Sibuya	RA: B2416B-3
Danilo de Oliveira	RA: B21681-6
Jhonatan César	RA: B4266H-2
Kelly S. T. dos Anjos	RA: B44273-5

Trabalho de conclusão do segundo semestre,
do ciclo engenharia básico apresentado a
Universidade Paulista - UNIP

Orientador: (Prof. Márcio Frugoli)

Campus – Chácara Santo Antônio

2012

Sumário

1. INTRODUÇÃO	4
2. OBJETIVOS	5
3. PASSOS PARA A CONSTRUÇÃO DA PONTE DE MACARRÃO	6
4. FABRICAÇÃO DA PONTE	13
5. DESENVOLVIMENTO DOS GABARITOS.....	15
6. RESULTADO FINAL	16
7. CONCLUSÃO.....	18
8. ANEXOS.....	19
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

1. INTRODUÇÃO

As pontes são uma das estruturas mais antigas inventadas pelo homem. Foram criadas pela necessidade de se atravessar obstáculos, como rios ou vales, na tentativa de encontrar alimentos ou abrigos. Ganharam grande notoriedade na arquitetura após a revolução industrial, pois construir pontes se tornou essencial para fazer a economia acelerar, significando rapidez e economia de tempo e dinheiro.

Nos tempos atuais, com toda infraestrutura tecnológica, comunicação digital e equipamentos pesados que temos a disposição, é fácil chamar as pontes mais antigas de “primitivas”, mas não se pode esquecer das reais circunstâncias que essas pontes foram construídas. Mesmos sem os cálculos de engenharia e os testes de materiais usados atualmente, o raciocínio lógico das estruturas esteve presente na mente dos antigos construtores de pontes. Através do teste e do erro, construíram estruturas tão bem projetadas e sólidas que sobrevivem por séculos, até os dias atuais.

A competição para construção e teste de cargas em pontes feitas de macarrão é uma proposta que algumas Universidades do Brasil e do mundo fazem aos seus alunos de Engenharia, com o intuito de motivá-los a empregar os conhecimentos obtidos em sala de aula na prática. No geral, através de análises e pesquisas, o desafio é demonstrar passo a passo a construção do protótipo de uma ponte feita de macarrão bem como o esboço do projeto, cálculos utilizados e o ensaio destrutivo para verificar a quantidade máxima de carga suportada.

Como alunos do segundo semestre de engenharia básica sabemos que ainda não possuímos conhecimentos suficientes para demonstrarmos todos os cálculos corretos que envolvem a construção de uma ponte de macarrão. Por tanto para desenvolvê-la, fizemos pesquisas, utilizamos nossos conhecimentos de física e matemática adquiridos até o momento e assim como os antigos construtores, nossa intuição, raciocínio lógico, experimentos e testes.

2. OBJETIVOS

Objetivo Geral

- Construir uma ponte utilizando no máximo 1kg de macarrão e cola, capaz de vencer um vão livre de 1,00m e suportar em seu ponto central a carga mínima de 2kg.

Objetivos específicos

- Fundamentar teoricamente e demonstrar os cálculos utilizados para construção do protótipo.
- Detalhar passo a passo como foi feita a construção.
- Relatar os resultados finais.

3. PASSOS PARA A CONSTRUÇÃO DA PONTE DE MACARRÃO

Definições da Geometria da ponte

Existe uma série de bibliografias referente ao tema deste trabalho, por tanto focamos nas mais relevantes para execução do nosso projeto. Nosso objetivo foi construir uma ponte com uma boa resistência, mas que sua montagem e cálculos fossem descomplicados para serem executados. O primeiro passo foi a definição de que tipo de ponte deveríamos utilizar.

Há três tipos principais de pontes:

- Ponte em Viga
- Ponte em Arco
- Ponte Suspensa

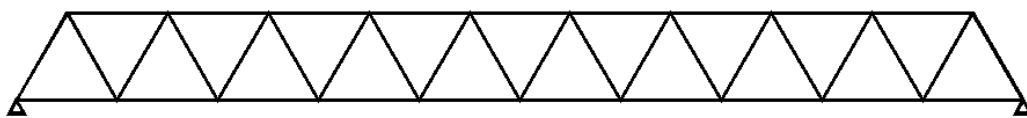
A maior diferença entre as três é a distância que elas podem cruzar entre um suporte e outro. As pontes em viga são as mais antigas feitas pelo homem, sua estrutura tem menor capacidade de atravessar longas distâncias. Como para o nosso projeto a distância a se atravessar foi pré-estabelecida em 1m, a estrutura da ponte em viga é suficiente, e são as menos descomplicadas de se calcular e construir.

- Cada tipo de ponte lida com duas forças importantes, chamadas de compressão e tração:
- Compressão: é uma força que age para comprimir ou diminuir a coisa sobre a qual está agindo;
- Tração: por sua vez, é uma força que age para expandir ou aumentar a coisa sobre a qual está agindo.

A compressão e a tração estão presentes em todas as pontes, e é trabalho do projeto da ponte lidar com essas forças sem o risco de que a ponte entorte ou rache. Entortar é o que acontece quando a força de compressão ultrapassa a habilidade de um objeto em lidar com essa compressão, e rachar é o resultado do excesso de tração sobre o objeto. A melhor maneira de lidar com essas forças é dissipá-las ou transferi-las. Dissipar força é espalhá-la sobre uma grande área, fazendo com que nenhum ponto tenha de suportar o impacto da força concentrada. Transferir força é mudá-la de uma área de fraqueza para uma área de força, uma área projetada para suportar a força.

O tamanho da viga, e especialmente sua altura, controla a distância que essa viga pode atingir sem precisar de uma nova coluna. Ao aumentar a altura da viga, há mais material para dissipar a tração. Para criar vigas bem altas, os projetistas de pontes adicionam redes de apoio, ou tesouras, à viga da ponte. Essa tesoura de suporte adiciona rigidez à viga existente, aumentando bastante sua capacidade de dissipar tanto a compressão como a tração. Assim que a viga começar a comprimir, a força será dissipada por meio da tesoura.

Dentre inúmeros modelos de tesouras que existem, para que nosso protótipo ficasse rígido e com boa resistência, escolhemos o modelo de tesoura proposto por Warren (Figura 1).



Viga Warren com tabuleiro inferior

Figura 1

Como o teste de carga em nosso protótipo seria concentrado em seu centro e a distância que precisávamos vencer era pequena em relação a uma ponte de tamanho real, então deduzimos que a geometria de nossa ponte já com as medidas dentro dos padrões de regulamento poderia ficar conforme a figura 2.

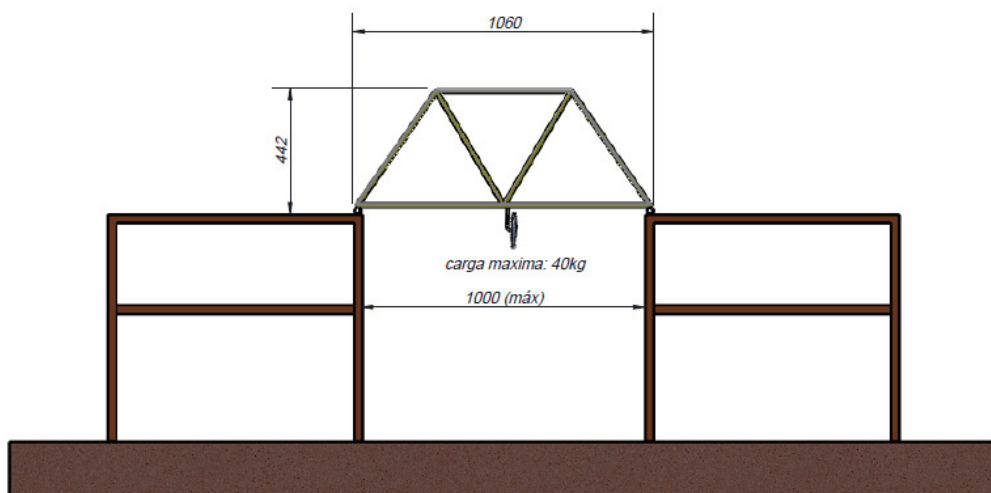


Figura 2

Dimensionamentos das barras

Com conhecimento dos conceitos de tração e compressão, e a geometria da ponte já definida, o segundo passo foi dimensionar cada uma das barras que formariam nossa ponte. Queríamos descobrir a tamanho e o tipo de força que cada uma dessas barras estava sofrendo. Para isso nos aprofundamos aos conceitos desta tesoura que iríamos construir e assim caminhamos até o estudo das treliças.

Denomina-se treliça plana o conjunto de elementos de construção (barras redondas, chatas, cantoneiras, etc.), interligados entre si, sob forma geométrica triangular, através de pinos, soldas, colas, rebites, parafusos, que visam formar uma estrutura rígida, com a finalidade de resistir a esforços normais apenas.

Dois métodos de dimensionamento podem ser utilizados para as treliças

- Método dos Nós ou Método de Cremona
- Método de Ritter ou Método das Seções (analíticos e usados com maior frequência).

Como queríamos algo analítico escolhemos o Método das Seções, para efetuarmos os cálculos e determinarmos as cargas axiais atuantes nas barras da nossa treliça, então procedemos da seguinte forma:

Cortamos a treliça em duas partes

Adotamos uma das partes para verificar o equilíbrio, ignorando a outra parte até o próximo corte.

Repetimos o procedimento, até que todas as barras da treliça fossem calculadas.

Consideramos inicialmente todas as barras tracionadas, ou seja, barras que puxam os nós, as barras que apresentaram sinal negativo nos cálculos, estariam comprimidas.

Segue os cálculos detalhados das reações e das forças solicitantes (tensão e compressão) nas barras:

(a) Cálculo das reações de apoio

Devido à simetria da estrutura e do carregamento, $V_a = V_b = \frac{P}{2}$

(b) Cálculo dos esforços nas barras

Para determinar a carga axial nas barras 1 e 2, aplicamos o corte AA na treliça e adotamos a parte à esquerda do corte para verificar o equilíbrio.

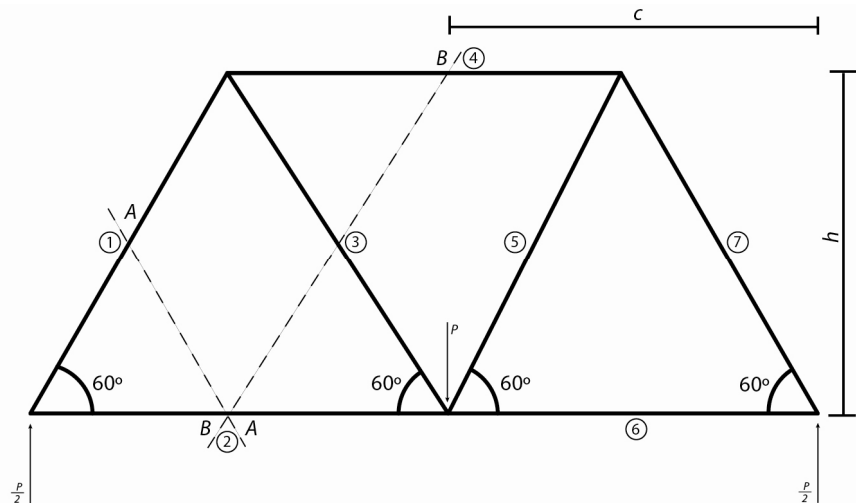
Para os cálculos adotamos $P = 392N$ o equivalente a aproximadamente 40kg.

$$\sum F_y = 0$$

$$F_1 \sin 60^\circ + \frac{P}{2} = 0$$

$$F_1 = - \frac{P}{2 \sin 60^\circ}$$

$$F_1 = - 226,32N \text{ (barra comprimida)}$$

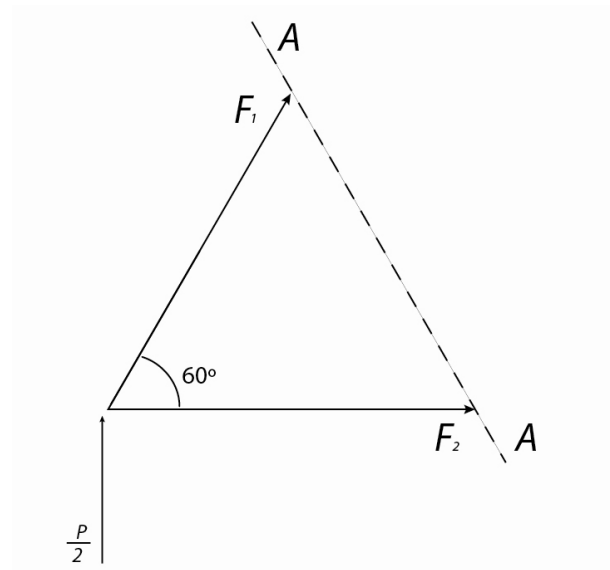


$$\sum F_x = 0$$

$$F_2 + F_1 \cos 60^\circ = 0$$

$$F_2 = - (F_1 \cos 60^\circ)$$

$$F_2 = 113,16N \text{ (barra tracionada)}$$

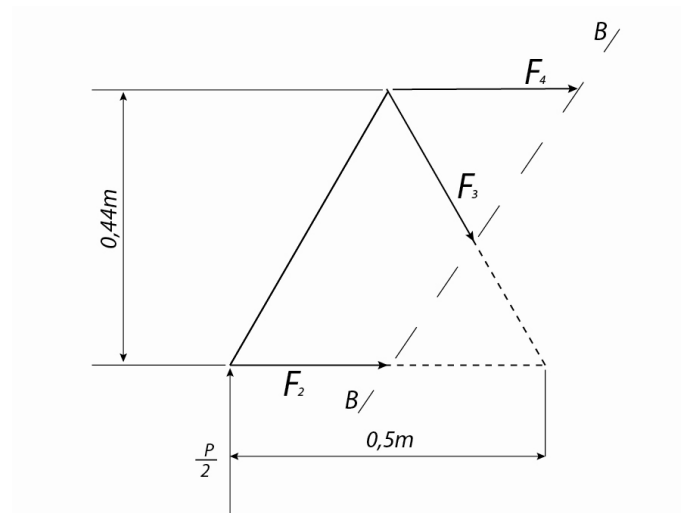


Através do corte BB, determinamos as forças nas barras 3 e 4.

$$\sum M = 0$$

$$0,44 F_4 + 0,5 \frac{P}{2} = 0 \Rightarrow F_4 = - \frac{0,25P}{h}$$

$$F_4 = - 225,28N \text{ (barra comprimida)}$$



$$\sum F_y = 0$$

$$F_3 \sin 60^\circ = \frac{P}{2}$$

$$F_3 = \frac{P}{2 \sin 60^\circ}$$

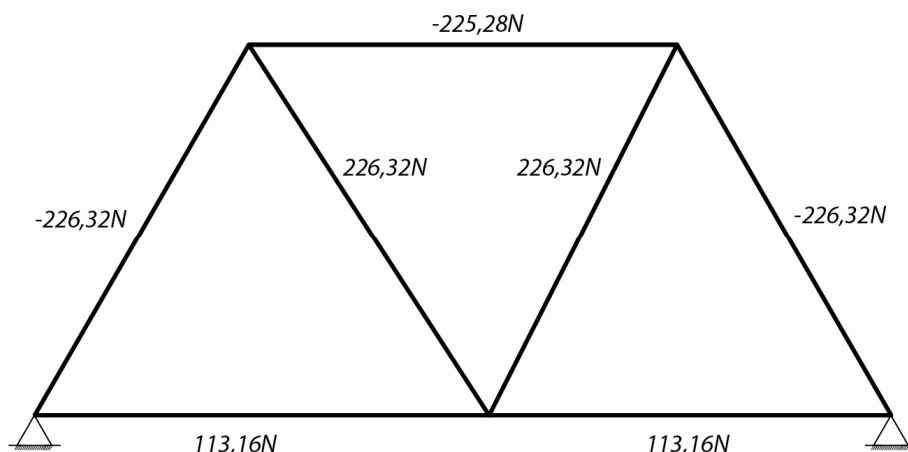
$$F_3 = 226,32\text{N (barra tracionada)}$$

Como a treliça é simétrica, concluímos que:

$$F_7 = F_1 = -226,32\text{N}$$

$$F_6 = F_2 = 113,16\text{N}$$

$$F_5 = F_3 = 226,32\text{N}$$



Resistência à tração

Conhecendo as forças em cada uma das barras, o terceiro passo foi definir a quantidade de fios de macarrão que cada barra deveria ter para que não se rompesse, para isso, pesquisamos sobre a resistência de materiais, especialmente sobre a resistência do macarrão.

Encontramos disponíveis na internet os resultados dos testes realizados pelo Professor Inácio Morsch da UFRGS. Ele testou a **tração** de 6 corpos até a ruptura. A carga média de ruptura obtida nestes ensaios foi de 4,267kgf (42,67N).

Através destes ensaios, determinou que para encontrar o número de fios de espagete necessário para compor as **barras tracionadas**, basta dividir o Esforço Normal de tração calculado, pela resistência de cada fio, independente de seu comprimento:

$$\text{Número de fios} = \frac{CARGA(N)}{42.67(N)}$$

Usamos esta equação para determinar a quantidade de fios que as nossas **barras tracionadas** (F_2 , F_3 , F_5 , e F_6) deveriam ter, para suportarem a tração a qual seriam solicitadas, sem se romperem.

Barras F_2 e F_6 :

$$\text{Número de fios} = \frac{113,16N}{42,67N} \cong 3Fios$$

Barras F_3 e F_5 :

$$\text{Número de fios} = \frac{226,32N}{42,67N} \cong 6Fios$$

Resistência à compressão

Para definir a quantidade de fios que iria compor as barras comprimidas, entramos no estudo da flambagem, este é o nome que se dá ao fenômeno pelo qual uma estrutura comprimida pode perder a forma original, acomodando-se em outra posição de equilíbrio, com geometria diferente da inicial. A flambagem pode ocorrer em barras axialmente comprimidas, em vigas, em arcos, em chapas, entre outros.

A carga de flambagem é função do comprimento da peça entre travamentos, de sua seção transversal e do módulo de elasticidade do material.

Recorremos ao roteiro criado pelo Prof. João Ricardo Masuero da UFRGS, baseado nos resultados de 93 ensaios de compressão de corpos de prova de diferentes comprimentos e formados por diferentes números de fios de espagete (ensaios realizados pelo Prof. Luís Alberto Segovia González, com seus alunos Luis Herique

Bento Leal, Mário Sérgio Sbroglia Gonçalves, Bruna Guerra Dalzochio, Rafael da Rocha Oliceira e Carlos Eduardo Berbades de Oliveira).

Para encontrar o numero de fios de espagete necessários para compor as barras comprimidas, João chegou à seguinte equação:

$$\text{Número de fios} = \sqrt{\frac{CARGA(N)l^2(mm)}{27906r^4(mm)}}$$

Onde:

l = Comprimento da Barra

r = Raio do macarrão

Usamos esta equação para determinar a quantidade de fios que as nossas **barras comprimidas** (F_1 , F_4 , e F_7) deveriam ter, para suportarem a compressão a qual seriam solicitadas, sem se romperem.

Barras F_1 e F_7 :

$$\text{Número de fios} = \sqrt{\frac{(226,32)(500)^2}{27906(0,95)^4}} \approx 50 \text{ fios}$$

Barra F_4 :

$$\text{Número de fios} = \sqrt{\frac{(225,28)(500)^2}{27906(0,95)^4}} \approx 50 \text{ fios}$$

4. FABRICAÇÃO DA PONTE

Desenvolvimento das barras

Com a definição do número de fios que iriam compor cada barra, o próximo passo, foi definir como seria o formato e a fabricação de cada uma. Deduzimos que somente “amontoar” e colar a quantidade de fios necessária, poderia influenciar negativamente o resultado esperado. Na tentativa de evitar este erro, definimos que as barras deveriam ser simétricas, conforme demonstramos na figura 3.

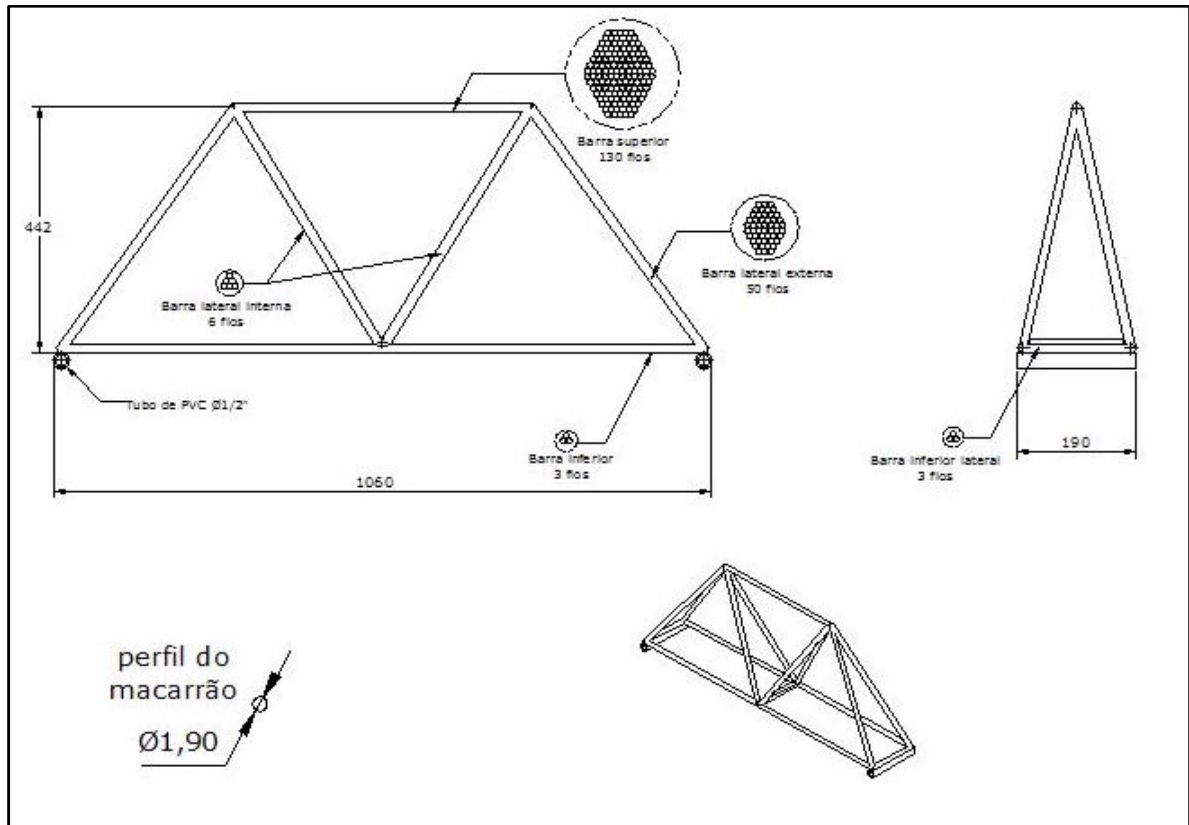
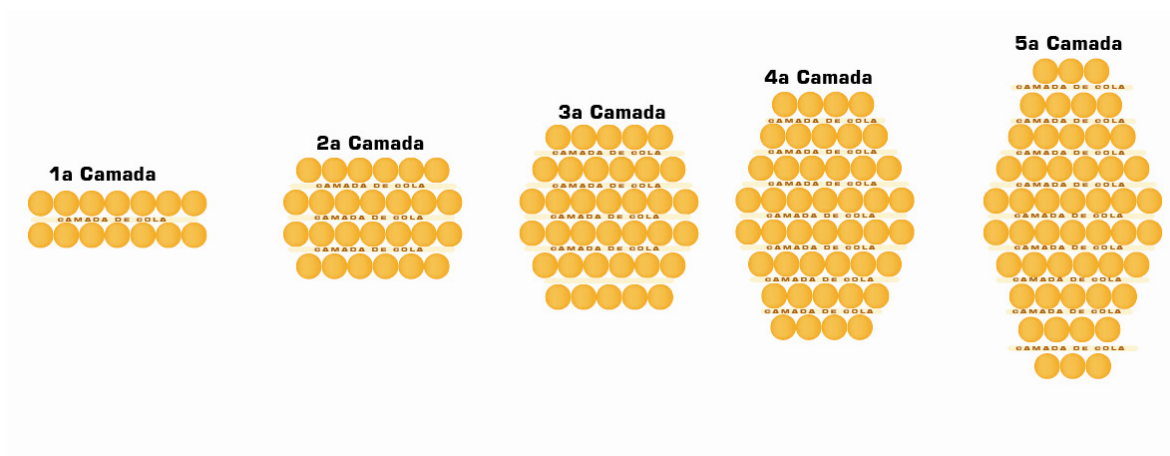


Figura 3

É importante observar que adotamos a quantidade de 130 fios na barra superior, enquanto o projetado nos cálculos foram 50 fios. Fizemos isso, pois nossos cálculos foram baseados em treliças planas, enquanto o nosso protótipo é uma treliça espacial. Como nossa barra superior seria única, dobramos o número de fios e ainda colocamos uma margem de 30% de segurança.

Explicando melhor a técnica que desenvolvemos para formação das barras, vamos tomar as laterais externas como exemplo. Cada barra lateral deveria conter 50 fios, então adotamos que em seu centro deveria existir duas fileiras composta por sete fios cada. As próximas fileiras deveriam conter seis fios e assim sucessivamente até as ultimas com três fios.



Formação da barra de 50 fios, camada a camada.

No primeiro momento para a colagem das barras utilizamos a cola Redelease, mas tivemos problemas com tempo de secagem muito longo que ela exige. Além disso, esta cola deu uma reação que amoleceu o macarrão e perdemos algumas barras já prontas. Para solucionar este problema utilizamos cola Araldite com tempo de secagem de 12min.



Barras prontas

Para melhorar os encaixes e facilitar a colagem, com a ajuda de uma lixadeira, chanframos todas as barras que formariam nossa treliça.



Chanfro na barra superior

5. DESENVOLVIMENTO DOS GABARITOS

O desenvolvimento de gabaritos foi um dos fatores determinantes para o sucesso de nosso projeto. Com eles facilitamos a colagem das barras já na posição projetada e assim foi possível reduzir o tempo de montagem do protótipo.

Foram criados de forma modular, quatro gabaritos, um para a formação das barras, um para montagem das vigas e dois para montagem das tesouras, conforme as fotos abaixo.

Para a construção deles utilizamos madeiras de pallets, régua com 600mm, pregos, martelo e fita crepe.



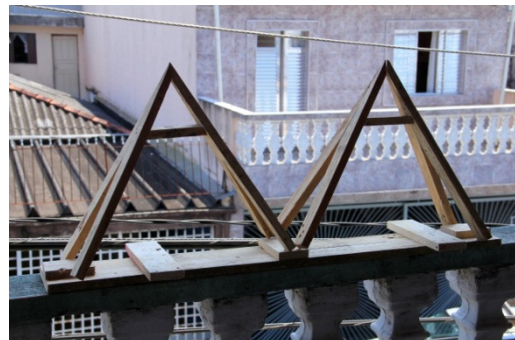
Gabarito de formação das barras



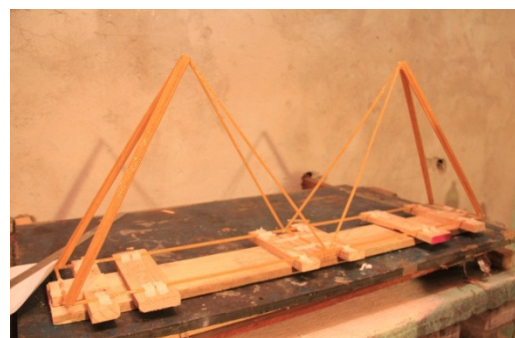
Gabarito de formação das vigas



Gabarito de montagem da tesoura



Gabarito montado com todos os módulos



Ponte em fase de término



Protótipo pronto, a poucas horas de ser testado.

6. RESULTADO FINAL

Atingimos plenamente os nossos objetivos, construímos nosso protótipo dentro das normas estabelecidas e suportando uma carga mais de doze vezes e meia maior que a mínima necessária.

Dados gerais do protótipo construído:

Material Utilizado: Espaguete marca Barilla nº 7 e cola Araldite com tempo de secagem 12 min.

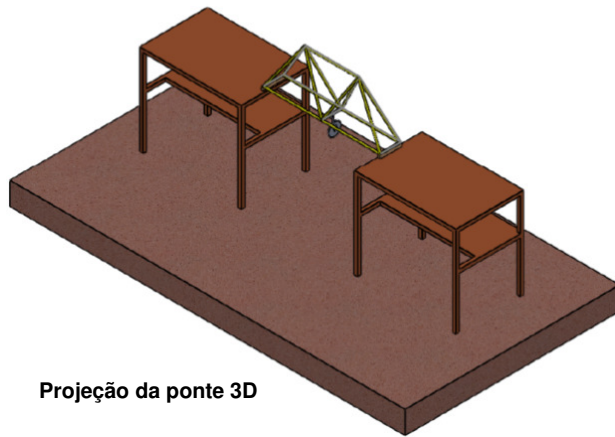
Peso total: 970g

Comprimento: 1060mm

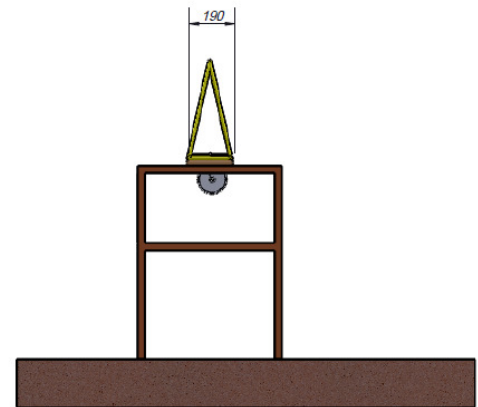
Altura: 442 mm

Largura: 190mm

Carga Suportada em seu centro: + 25kg



Projeção da ponte 3D



Projeção da ponte 3D



Ponte sendo testada em seu centro

7. CONCLUSÃO

“Construímos mais muros do que pontes”

Issac Newton

Foram aproximadamente quatro semanas o tempo gasto entre fazer os cálculos, projetar, fabricar e realizar o teste destrutivo de nosso protótipo da ponte de macarrão, porém este tempo foi o suficiente para darmos um grande passo em nossa travessia na ponte do conhecimento. A partir do momento que este trabalho foi proposto tínhamos ciência de que muitos iam ser os obstáculos, os muros, que teríamos que transpor para chegarmos a um bom resultado, mas sabíamos também que ao alcançá-lo nos tornaríamos mais sábios e preparados, para os desafios que estão por vir em nossas vidas acadêmica e profissional.

Ao final deste trabalho agregamos importantes conhecimentos no estudo das estruturas e resistências dos materiais, tanto nos aspectos conceituais quanto na prática. A oportunidade de testar o que projetamos, nos trás uma experiência que jamais teríamos somente dentro da sala de aula e isto mostra a importância de executarmos atividades práticas durante o curso de engenharia.

Verificamos na execução do protótipo os conceitos e cálculos que aplicamos. Com eles descobrimos que iriam atuar dois tipos de forças nas barras de nossa ponte treliçada, a tração e a compressão. Conforme pesquisamos o fio de macarrão tem mais resistência à tração, e assim as barras tracionadas precisam de menos fios que as comprimidas, desta forma pudemos reforçar as barras mais solicitadas e conseguimos uma maior eficiência no teste do protótipo.

Além dos conceitos de tração e compressão, vale ressaltar que tivemos que entender, ao menos o básico, assuntos como treliças, flambagem e cisalhamento, com eles foi possível calcular o tamanho da força e números de fios que teríamos por barra.

Não restaram dúvidas de que entender a física tornou viável a construção de uma ponte de macarrão e que com a matemática foi possível prever sua eficácia antes mesmo de testá-la.

8. ANEXOS



UNIP – Universidade Paulista

Engenharia – Ciclo Básico

Manual
de
Atividades Práticas Supervisionadas
(APS)

SETEMBRO DE 2012

ATIVIDADES PRÁTICAS SUPERVISIONADAS

ENGENHARIA CICLO BÁSICO – SEGUNDO SEMESTRE DE 2012

1º, 2º, 3º E 4º SEMESTRES

I. TEMA: "PONTE DE MACARRÃO"

II. ETAPAS DO TRABALHO

1. Pesquisar o tema.
2. Elaborar e desenvolver, de acordo com o regulamento, o projeto da ponte de macarrão.
3. Construir o protótipo.
4. Postar a parte escrita do trabalho no sistema da UNIP até a data prevista pela coordenação do curso.
5. Apresentar o protótipo em data futuramente estabelecida e participar da competição com os outros grupos. Previsão da apresentação e competição do projeto: segunda quinzena de outubro.

III. AVALIAÇÃO DO TRABALHO

A avaliação contemplará todas as etapas descritas no item II. Para isso serão atribuídas notas para a parte escrita, apresentação do protótipo e resultados da competição.

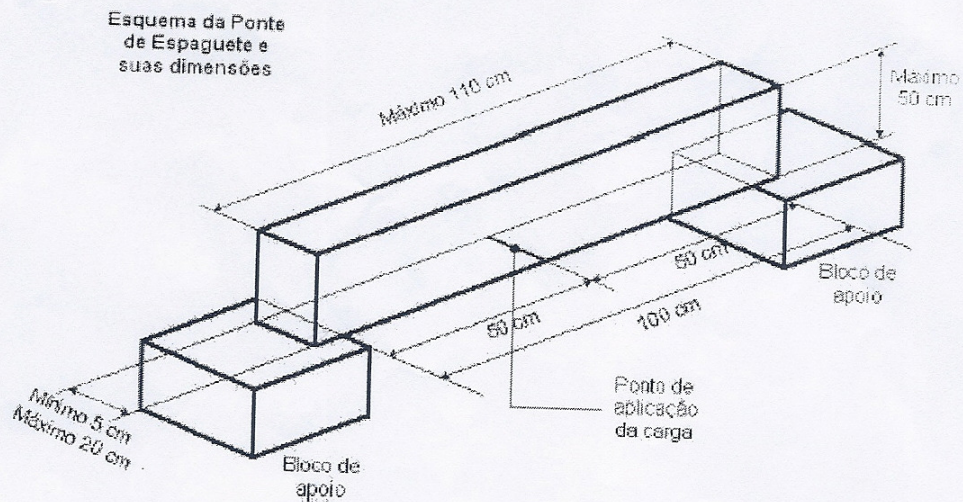
IV. GRUPOS

Os grupos devem ser formados por 10 alunos e cada grupo será subdividido em dois grupos de 5 alunos (está subdivisão é necessária para a "postagem" da parte escrita no sistema online).

V. NORMAS PARA A CONSTRUÇÃO DA PONTE (adaptado do edital da UFRGS).

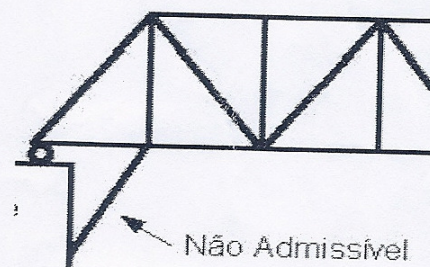
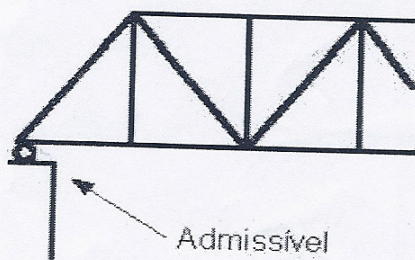
1. A ponte deverá ser indivisível, de tal forma que partes móveis ou encaixáveis não serão admitidas.
2. A ponte deverá ser construída utilizando apenas massa do tipo espaguete número 7 da marca Barilla e colas quente ou fria, ficando a escolha a critério dos componentes do grupo.
3. O peso da ponte (considerando a massa espaguete e as colas utilizadas) não poderá ser superior a 1000g (1 Kg).
4. No limite da massa prescrita (1000 g), não serão considerados o peso do mecanismo de apoio fixado nas extremidades da ponte (descrito a seguir, no item 7), nem o peso da barra de aço para fixação da carga (descrito no item 11).
5. A ponte não poderá receber nenhum tipo de revestimento ou pintura.
6. 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.

OBSERVAÇÕES: Cada grupo indicará um ou mais de seus membros para a realização do teste de carga da ponte. Durante o teste de carga, os alunos deverão utilizar equipamentos de proteção para evitar acidentes no momento do colapso da ponte (luvas, óculos de proteção, etc.).



7. Na parte inferior de cada extremidade da ponte, deverá ser fixado um tubo de PVC para água fria de 1/2" de diâmetro e 20 cm de comprimento 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 não será contabilizado no peso total da ponte, como descrito no item 4. .

8. 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.



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

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

11. 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. O peso da barra não será contabilizado no peso total da ponte, como descrito no item 4.

VI. Normas para a realização dos testes de carga:

1. A ordem da realização dos testes de carga das pontes será definida pelos membros da comissão organizadora, presidida pela coordenação do curso.

2. A carga inicial a ser aplicada será de 2 kgf. Se após 10 segundos da aplicação da carga, a ponte não romper, será considerado que a mesma passou no teste de carga mínima, estando apta a continuar o teste de ruptura.

3. 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.

4. Será considerado que a ponte atingiu colapso se ela apresentar severos danos estruturais menos de 10 segundos após a aplicação de 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.

5. Se na aplicação do 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).

6. 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.

7. Qualquer problema, dúvida ou ocorrência não contemplada neste regulamento, deverá ser analisado pela comissão organizadora, e a decisão final sobre o assunto em questão caberá à coordenação do curso ou por professor por ele designado.

VII. Trabalho Escrito

1. Introdução.

2. Objetivos do Trabalho.

3. Passos para a construção da PONTE DE MACARRÃO.

- Material Utilizado.
- Passo a passo da construção. Ilustrações (fotos) da construção da ponte.
- Esboço do projeto da Ponte de Macarrão.
- Cálculos Utilizados.

4. Conclusões.

5. Referências Bibliográficas.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-120199-224950/unrestricted/09lucko_chapter2.pdf
- <http://ciencia.hsw.uol.com.br/pontes1.htm>
- <http://www.labciv.eng.uerj.br/rm4/trelicas.pdf>
- <http://www.ppgec.ufrgs.br/segovia/espaguite/dados.html>

Fundamentos de Estruturas – Um programa para arquitetos e engenheiros que se iniciam no estudo das estruturas – Aluizio Fontana Margarido – Zigurate Editora