

PROJETO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA ANÁLISE DE PONTES DE ESPAGUETE NO ENSINO DA MECÂNICA

Bruna Lorrany Nolasco, bruna.lnolasco@gmail.com¹

Rafael Novais Lacerda de Oliveira, rafael.nlo@hotmail.com¹

Rina Mariane Alves Dutra, rina@ufsj.edu.br¹

Diego Raimundi Corradi, diego.corradi@ufsj.edu.br¹

¹NIPEM – Núcleo de Inovação, Pesquisa e Ensino em Mecatrônica. Universidade Federal de São João Del Rei, Campus Ouro Branco/Congonhas, Minas Gerais, Brasil.

Resumo: A necessidade de mudança na metodologia de ensino utilizada na engenharia é consequência da busca por melhorias no desempenho e motivação do corpo discente. O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma bancada didática para análise de pontes de espaguete no ensino da mecânica. A análise dimensional e estrutural foi feita com auxílio computacional e determinou a faixa operacional e o funcionamento do dispositivo didático. Os instrumentos e materiais escolhidos garantiram custo reduzido de fabricação e um sistema de implementação de forças automatizado. Um aplicativo de smartphone viabilizará o controle remoto dos dados. A validação da bancada será feita através de ensaios de ponte de espaguetes, permitindo o uso da bancada em atividades práticas. Espera-se obter um recurso didático capaz de estimular o aluno, contribuindo na qualidade do aprendizado da mecânica.

Palavras-chave: bancada didática, ponte de espaguetes, atividade prática, ensino, engenharia mecânica.

1. INTRODUÇÃO

A engenharia foi definida por Kirk (1979) como uma profissão responsável por aplicar conhecimento, habilidades e atitudes no qual o engenheiro converte seu conhecimento em benefícios das necessidades humanas. Como consequência, a escola de engenharia tem o objetivo de formar cidadãos com senso crítico e criatividade para avaliar não só a técnica, mas o entendimento prático da tecnologia e suas implicações (Pereira et al., 1997). Entretanto, as metodologias tradicionais empregadas no ensino da engenharia são muitas vezes fundamentadas em processos de repetição e memorização do conteúdo e se mostram pouco eficientes e motivadoras nesta formação (Ongaratto et al., 2010).

Como solução para melhorar o desempenho acadêmico, trabalhos anteriores (Maximo et al., 2011; Coelho et al., 2001 e Rothe-Neves et al., 2004) mostraram que o desenvolvimento de aulas práticas despertam o interesse dos alunos visto que unem as diferentes ciências da grade curricular, possibilitando a aplicação de conteúdos teóricos em contextos reais e integrando diferentes especialidades e áreas do conhecimento (Marcos, 2005). Contudo, apenas os experimentos por simulação não são suficientes e a educação em engenharia deve ser realizada com equipamentos técnicos e dispositivos didáticos (Coelho et al., 2001 e Bortolo et al., 2006).

Bortolo et al. (2006) e Miranda et al. (2010) verificaram que estes dispositivos são eficazes no ensino de engenharia mecânica e contribuem para um aprendizado claro e com participação ativa do discente. O envolvimento com as atividades práticas, como competições, permite que os alunos desenvolvam várias habilidades, tais como: planejamento; cumprimento dos prazos e regras; trabalho em equipe; logística; liderança; criatividade e capacidade de comunicação; inovação e habilidade de vender projetos e ideias (Miranda et al., 2010).

Uma das competições comum no âmbito da mecânica é a de construção de pontes de espaguetes, que consiste em elaborar estruturas constituídas de macarrão formando uma ponte capaz de suportar níveis variados de força sem que haja ruptura da mesma (Oliveira et al., 2016). Este tipo de atividade prática tornou-se um complemento didático comum no meio acadêmico e ganhou visibilidade na literatura (Oliveira et al., 2016), como por exemplo, artigos que descrevem o passo a passo do desenvolvimento do projeto de uma ponte de espaguete (Lagemann et al., 2013) e que mostram uma redução do índice de reprovação nas disciplinas de análise estrutural e mecânica dos sólidos (González et al., 2009).

A UFRGS realizou sua primeira competição de espaguetes em 2004, tornando-se a universidade pioneira no Brasil (Oliveira et al., 2016). Nestas competições, a inserção de força é de forma manual, onde os competidores colocam os discos de pesos na estrutura, como pode ser visto na Fig. 1. Uma das desvantagens desta metodologia de aplicação de carga é a amplitude do incremento: não há a determinação precisa do valor suportado, apenas uma estimativa. Não é possível quantificar se a ponte aguentaria algum valor intermediário entre o valor suportado e o valor de ruptura, dado o

tamanho do incremento. Outro ponto negativo é que para valores altos de inserção, maior será a quantidade de material necessário e de volume ocupado para introduzir o peso. Além disso, a aplicação manual pode gerar distúrbios na força inserida e variação em cada teste, dado que o movimento de colocação da manilha oscila entre aplicadores.



(a)



(b)

Figura 1: Colocação manual de pesos para mensuração de forças. (a) Adaptado de González et al. (2009). (b) Adaptado de UFRGS.

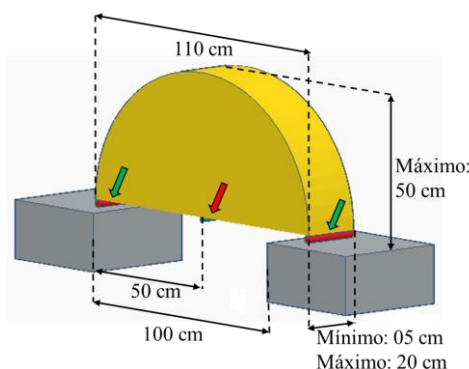
Assim, o presente artigo tem como objetivo principal o desenvolvimento do projeto estrutural e operacional de uma bancada didática para análise de pontes de espaguete no ensino de mecânica com aplicação de força automatizada. Como objetivos específicos espera-se: avançar no potencial de ensino da mecânica através de dispositivos didáticos e multidisciplinaridade; implementar uma bancada com controle eficaz e custo baixo; realizar competições estudantis; obter agilidade e precisão no processo de medição de ensaios de pontes de espaguete.

2. AS COMPETIÇÕES DE PONTE DE ESPAGUETES

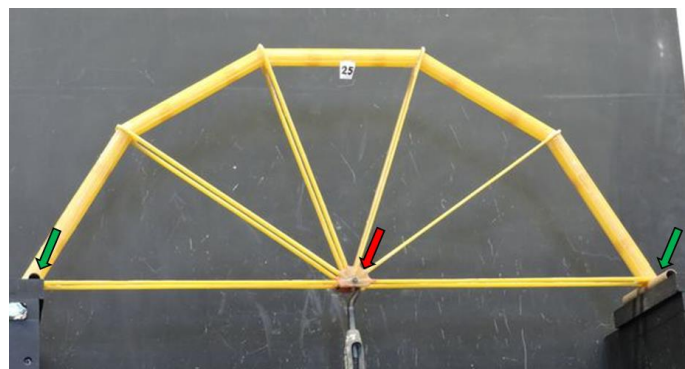
A competição de pontes de espaguete é realizada em diversas universidades brasileiras e estrangeiras (González et al., 2005; Oliveira et al., 2016; Buffoni et al., 2008; Spaghetti Bridge Building Contest; Spaghetti Bridge Competition). O objetivo da competição é confeccionar uma ponte que seja capaz de resistir à maior carga imposta sobre ela, sem que haja ruptura da mesma (UFRGS). Consequentemente, motivar os alunos no desenvolvimento de habilidades que lhes permitam aplicar conhecimentos básicos de mecânica para resolver problemas da engenharia. Além disso, aprimorar a capacidade de projetar problemas estruturais, atuar em equipe, comunicar e justificar projetos na forma oral e escrita, e utilizar softwares na resolução e simulação de desafios (Oliveira et al., 2016; Valdiero et al., 2011 e UFRGS).

A primeira competição brasileira foi realizada pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS em 2004, como um trabalho prático de diversas disciplinas do Departamento de Engenharia Civil da universidade. Seguindo o regulamento da pioneira UFRGS, muito utilizado por diversas universidades, a confecção da ponte deve ser precedida de análise da geometria e do detalhamento do projeto da ponte escolhida, com a estimativa da carga de colapso (UFRGS). São formados grupos de até quatro alunos para projetar e executar a ponte de espaguete que é indivisível, ou seja, não pode apresentar partes móveis ou encaixáveis. Para a construção é permitido apenas o uso de uma única marca de espaguete, colas epóxi do tipo massa ou resina e cola quente (tipo silicone, aplicadas com pistola).

A ponte deve ser capaz de vencer um vão livre de 100 cm, estando apoiada livremente nas suas extremidades, conforme Fig. 2.



(a)



(b)

Figura 2. (a) Dimensões da ponte de espaguete. Adaptado de UFRGS. (b) Ponte de espague com tubo e barra. Adaptado de UFRGS.

Ao centro do vão livre, no mesmo sentido transversal ao seu comprimento e no mesmo nível das extremidades apoiadas, deve-se fixar uma barra de aço de 8 mm de diâmetro e de comprimento igual à largura da ponte (seta vermelha da Fig. 2), onde será aplicado a força. Um tubo de PVC para água fria com 15 mm de diâmetro nominal e comprimento igual à largura da ponte é fixado na parte inferior da ponte em contato com a bancada de testes (seta verde da Fig. 2). A largura da ponte limita-se entre 05 cm e 20 cm e a altura máxima da ponte não pode ultrapassar 50 cm. O peso total máximo permitido da ponte é de 750 g, no qual não são contabilizados o peso da barra e do tubo.

O teste de inspeção técnica exige que a ponte suporte uma carga inicial mínima de 2 kg aplicada por 10 segundos. Estando apta, é liberada a participação no teste de carga de colapso. Neste teste, as cargas são aplicadas manualmente em incrementos definidos pela grupo avaliado. O incremento de carga é realizado a cada 10 segundos até a carga de colapso, que é a última carga suportada pela ponte no período de 10 segundos antes dela sofrer danos estruturais severos.

As cargas são inseridas através de manilhas de peso, conforme Fig. 1. O recorde brasileiro e mundial em competições de espaguetes é de 234 kgf (2294,76 N) atingido na competição da UFRGS em 2011. O maior valor obtido no exterior é de 176 kgf (1725,97 N), alcançado na Okanagan University College no Canadá (UFRGS, Spaghetti Bridge Building Contest, Spaghetti Bridge Competition).

3. A BANCADA DIDÁTICA

O esquema de atividades desenvolvidas durante o projeto da bancada didática está mostrado na Fig. 3.

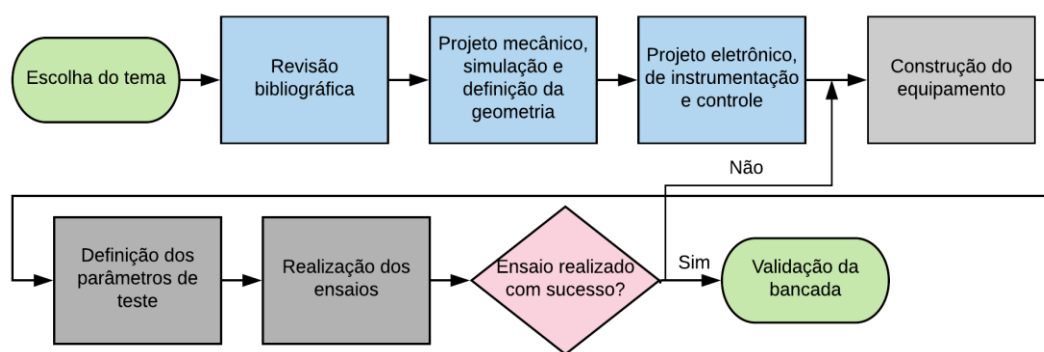


Figura 3. Etapas desenvolvidas neste projeto.

As etapas em azul correspondem às etapas desenvolvidas pelos autores. A etapa de projeto mecânico, simulação e definição da geometria refere-se à parte estrutural da bancada. O projeto eletrônico, de instrumentação e controle tratará a parte operacional. A construção do equipamento, com realização de ensaios e validação da bancada, será realizada em trabalhos futuros.

3.1. Projeto Mecânico

Esta fase tem como objetivo detalhar os componentes mecânicos, ilustrando as dimensões das peças, dos instrumentos envolvidos e a definição dos materiais. O detalhamento do projeto viabilizará a fabricação do equipamento. O software de projeto assistido por computador, SolidWorks®, foi utilizado para construir a maquete da bancada, possibilitando uma visualização do protótipo em escala real antes da sua construção.

Quatro modelos foram definidos para comparação do comportamento das diferentes geometrias a uma mesma carga estática, encontrando-se a bancada com boa resistência e o menor custo. Optou-se por variar somente o formato da seção transversal da guia e o tipo de vão visto que são as regiões mais afetadas pelos esforços do ensaio. A presença do vão é necessária para a inserção da força de tração através de cabeamento. A Figura 1 e a Tabela 1 apresentam os modelos analisados.

Tabela 1. Modelos diferentes de geometria.

	Modelo 01	Modelo 02	Modelo 03	Modelo 04
Formato do perfil da guia	Estrutura semi I	Estrutura semi I	Estrutura em U	Estrutura em U
Formato do vão	Circular	Completo	Circular	Completo

Para garantir a eficácia dos testes, a bancada não deve sofrer esforços que causam deformações permanentes em sua estrutura. Assim, foi utilizado o aço ABNT 1020 na confecção da mesa visto que apresenta baixa temperabilidade, alta ductibilidade, boa soldabilidade e forjabilidade, além do baixo custo (Associação Brasileira de normas técnicas, 2000 e Callister Junior, 2016). As guias e os apoios por sofrerem elevado atrito e, consequentemente, desgaste, foram fabricados com o aço ABNT 4340 de elevada dureza. O aço 4340 tem elevada temperabilidade e resistência à fadiga,

média resistência mecânica e resistência a fratura, comumente utilizada em sistemas mecânicos estruturais (Associação Brasileira de normas técnicas, 2000 e Callister Junior, 2016). O limite de escoamento do aço ABNT 1020 é 350 MPa e o limite de escoamento do aço ABNT é 470 MPa (Callister Junior, 2016).

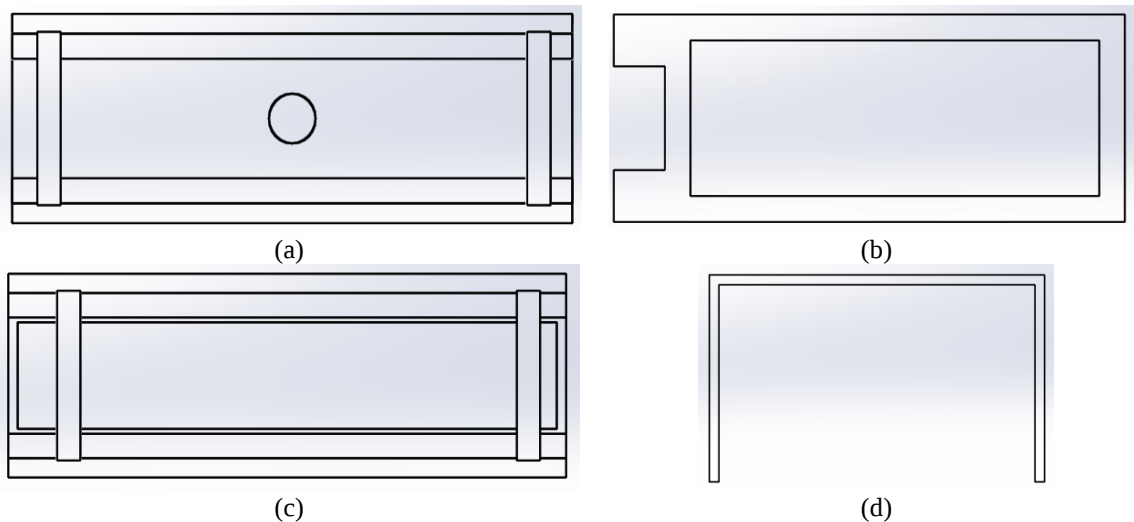


Figura 4. Parâmetros analisados na comparação de geometrias. (a) Vista superior do vão circular. (b) Vista da seção transversal do perfil da viga semi I. (c) Vista superior do vão completo. (d) Vista da seção transversal do perfil da viga em U.

O SolidWorks® foi empregado como software de CAE (*Computed-Aided Engineering*), em conjunto com a extensão de simulação SolidWorks Simulation®, para análise estática da bancada. A análise computacional proporciona redução no número de ciclos de desenvolvimento de produto, uma vez que permite aproximar o modelo ao protótipo real através de cálculos computacionais. Essa análise ajuda a aperfeiçoar o design, simulando rapidamente conceitos e cenários antes da decisão final ser tomada (Amaral et al, 2010). De acordo com Budynas et al. (2016), os engenheiros possuem vários recursos e ferramentas disponíveis para contribuir na solução de problemas encontrados no desenvolvimento de projetos. São vários os programas computacionais de análises e simulação de componentes mecânicos que permitem a modelagem e otimização de projetos, facilitando a visualização e criação de protótipos (Ashby, 2012). Portanto, uma análise de esforço estático com auxílio computacional garantirá a resistência da bancada, eficiência dos materiais escolhidos e a definição da faixa operacional, reduzindo o tempo de execução e custos do projeto.

Para assegurar a operacionalidade do equipamento nas condições de ensaio, foi definido força máxima de operação de 200 N, correspondentes à carga máxima de ruptura de 20,39 kgf. Consequentemente, cada apoio deverá ser capaz de suportar 100 N sem deformações severas, conforme Fig. 5.

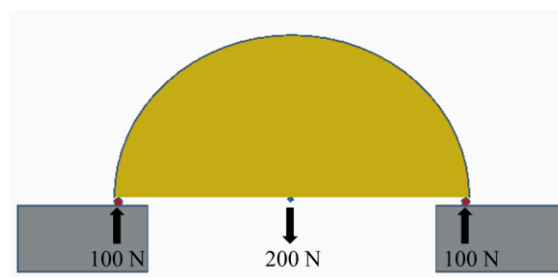


Figura 5. Distribuição de forças

Justifica-se visto que nas primeiras competições realizadas em cada Universidade, as melhores pontes suportaram valores inferiores a 20 kgf (UFRGS, Spaghetti Bridge Building Contest) e principalmente porque a bancada será implementada na Universidade Federal de São João del-Rei onde obteve-se nos primeiros testes com inserção manual, cargas de rupturas inferiores a 5 kgf. Além disso, a metodologia propõe um desenvolvimento de equipamento com faixa de trabalho pequena para redução de custos.

Todos os modelos apresentam altura da bancada equivalente a 90 cm, seguindo critérios de Edificações e Ergonomia para ensaios que exijam posição em pé (Fundação Nacional de Saúde, 2004).

3.2. Projeto Eletrônico, de Instrumentação e Controle

A instrumentação utilizada para controle e aquisição de dados permitirá a análise do comportamento das pontes de espaguetes durante o experimento. Foram utilizados materiais reaproveitados, de baixo custo e alta acessibilidade, conforme Tab. 2.

Tabela 2. Componentes da bancada.

Componente	Modelo	Características	Valor unitário (R\$)	Quantidade
Placa Arduino	UNO – Rev3	Microcontrolador ATmega328P – 16 MHz	29,90	1
Módulo Bluetooth	HC - 05	2.4 GHz Banda ISM	19,99	1
Célula de carga	Balança de banheiro	Sensor até 50 kg	13,90	2
Módulo ADC	HX711	24 bits de resolução	11,90	1
Ponte H com PWM	VNH2SP30	Corrente máxima de saída: 30 A.	29,90	1
Fonte de alimentação	FORTREK – PWS - 2003	200 W – 12 V- 9 A.	34,90	1
Motor limpador de para-brisa usado	BOSCH – 9390453038		35,00	1
Polia		Ferro fundido, diâmetro: 10 cm.	30,00	
Cabos/componentes eletrônicos			30,00	
			Valor total:	R\$: 249,39

São componentes da bancada: uma plataforma de desenvolvimento Arduino, um módulo bluetooth para comunicação com smartphone, um módulo amplificador de sinal para células de carga, duas células de carga de balança de banheiro, um módulo ponte-H para motores, uma fonte 12V reaproveitada de computadores desktop, um motor limpador de para-brisas, um sistema de transmissão de força através de polia, cabos de sustentação e inserção de força. A escolha dos componentes visou e garantiu um baixo custo de fabricação e a inserção de força automatizada.

3.2.1. Arduino

Atualmente, a cultura *Do-It-Yourself* (DIY) vem crescendo consistentemente, e como resultado, várias pessoas por todo o mundo estão trazendo práticas que antes eram restritas a laboratórios de difícil acesso para o conforto de suas casas, desenvolvendo projetos de múltiplas variedades. O Arduino é fruto desta cultura e fomenta ainda mais o movimento, promovendo cada vez mais possibilidades e acessibilidade (Tanenbaum et al., 2013).

Uma placa de Arduino é fonte aberta no mercado, tanto em hardware quanto em software. Isto quer dizer que o conhecimento e desenvolvimento nesta plataforma é disseminado gratuita e abertamente nas redes de comunicação, facilitando o aprendizado. Possui um software de simples operação e programação, além da compatibilidade com vários sistemas operacionais (Banzi et al., 2014).

Existem diversos componentes disponíveis para viabilizar e facilitar a construção de protótipos utilizando o Arduino. Os módulos de comunicação, amplificação e controle utilizados no presente projeto são encontrados com facilidade e desenvolvidos por e para a comunidade de *Makers*, que são pessoas envolvidas com criação de projetos e protótipos de forma autônoma (Banzi et al., 2014). É importante salientar que esta comunidade também produz e disponibiliza bibliotecas para auxiliar na programação e aplicação dos módulos, possibilitando, assim, que usuários principiantes utilizem e desenvolvam projetos com simplicidade.

A vantagem da tecnologia aberta é a disponibilidade de bibliotecas prontas de funções para a maioria dos componentes empregados na bancada. Através destas bibliotecas, a implementação de códigos no IDE (*Integrated Development Environment*) Arduino, software de criação e transferência de códigos para as placas, fica muito simplificada.

3.2.2. Motor

Para atender as necessidades de tração almejadas - pico de aproximadamente 200N - foi selecionado um motor limpador de para-brisa. O motor de modelo 9390453038 da BOSCH®, foi adquirido em um ferro velho e era empregado nos carros TEMPRÁ da FIAT®, da década de noventa. Este modelo foi descontinuado e sua escolha justifica-se pelo preço acessível. Ressalta-se, porém, que diversos outros modelos de motor para-brisa atendem aos mesmos requisitos.

Para converter o torque em tração, uma polia de ferro fundido de 10 cm de diâmetro foi acoplada ao eixo central do motor que opera com corrente em média de 6A e tensão de 12V. Considerando que a tensão de alimentação do arduino é de 5V, uma fonte de computador de 12 V realizará a alimentação do sistema.

Foi utilizada uma ponte-H VNH2SP30 fabricada pela STMicroelectronics® para realizar a comunicação entre o Arduino e o motor. Este componente faz o controle via PWM (*Pulse-Width Modulation*), exercendo papel fundamental na bancada. É a partir do PWM que é feito o monitoramento do ciclo de trabalho (*duty cycle*), permitindo o controle da velocidade de rotação do motor e, consequentemente, da força aplicada na ponte.

3.2.3. Célula de carga

Para saber efetivamente se a força está tracionando a ponte, foi utilizada uma estrutura que simula um elevador de carga. Nesta configuração, duas células de carga de balança de banheiro são acopladas para melhor leitura e enviam o sinal demasiadamente pequeno para o Arduino. O módulo ADC (*Analog-to-Digital Converter*) HX711 fabricado pela Avia Semiconductor®, efetua a conversão e amplificação do sinal.

A calibração das células de carga foi realizada através da plataforma IDE, que apresenta o sinal da força adquirida. A Figura 6 apresenta a curva de calibração destas células.

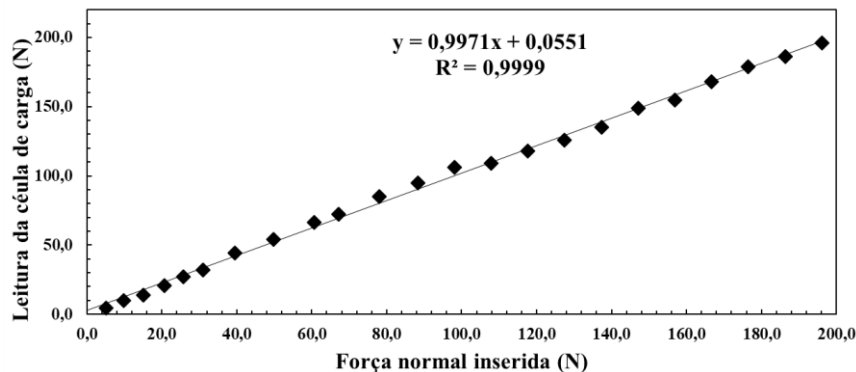


Figura 6. Curva de calibração da células de carga acopladas.

O desvio padrão é tão pequeno que não é perceptível no gráfico. Foi observado um comportamento linear do instrumento na faixa desejada de operação: de 20 N (teste de inspeção técnica) a 200 N, suficientes para a proposta deste projeto.

3.2.4. Aplicativo

Um aplicativo para smartphone da plataforma Android foi desenvolvido para facilitar a interface usuário/bancada na realização do ensaio de pontes de espaguete. Este recurso visa assegurar a participação completa do corpo discente envolvido nas competições, observando os ensaios em tempo real e configurando os incrementos da força de aplicação. Sua comunicação com o projeto é realizada pelo módulo bluetooth.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o projeto mecânico e operacional da bancada didática estabelecidos, buscou-se através da simulação estática, definir a geometria e verificar a capacidade de sustentação e operação dos elementos básicos da estrutura.

A Tabela 3 apresenta um resumo dos resultados encontrados para simulação computacional da tensão de Von Mises, deslocamento URES, deformação e peso dos modelos indicados na Tab. 1, considerando os apoios com vão de 100 cm.

Tabela 3. Resultados da simulação para os modelos com as guias na amplitude máxima.

	Modelo 01	Modelo 02	Modelo 03	Modelo 04
Tensão de Von Mises (MPa)	3,57	1,47	4,08	3,76
Descolamento URES (mm)	$0,31 \times 10^{-1}$	$1,76 \times 10^{-1}$	$0,28 \times 10^{-1}$	$0,62 \times 10^{-1}$
Deformação (adimensional)	$3,89 \times 10^{-6}$	$3,89 \times 10^{-5}$	$1,42 \times 10^{-5}$	$1,38 \times 10^{-5}$
Peso (kg)	36,67	23,22	29,28	26,88
Custo (R\$)	500,00	450,00	450,00	400,00

O modelo 04 foi escolhido para a execução do projeto pois apresenta o melhor custo benefício na análise, principalmente quando se relaciona o peso (segundo mais leve) e o custo (mais barato) com os parâmetros de fabricação (tempo e dificuldade). Não bastasse, os valores de Tensão de Von Mises, deslocamento e deformação são aceitáveis, conforme apresentado a seguir.

A Figura 7 apresenta uma vista frontal e um esquemático eletrônico da bancada desenvolvida.

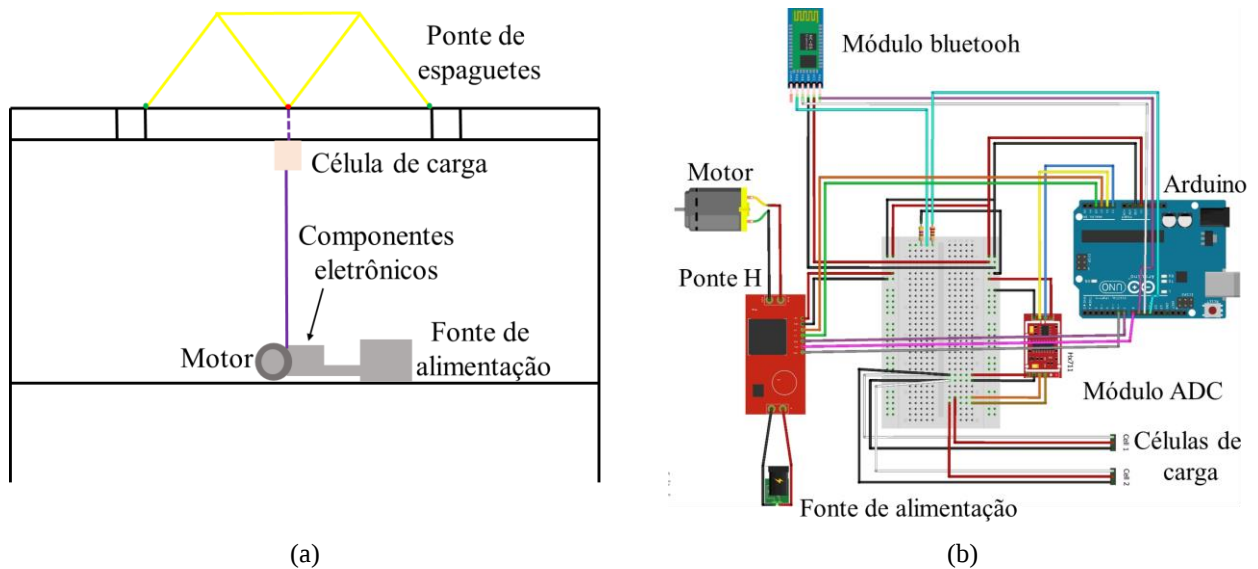


Figura 7. Bancada didática. (a) Vista frontal. (b) Esquema eletrônico.

A bancada tem duas guias lineares e dois apoios móveis. As guias possuem furos em sua face superior e os apoios possuem pinos em sua face inferior. Esta configuração permite flexibilidade no tamanho das pontes de macarrão, e consequentemente, maior variedade de ensaios. Assim, é possível realizar testes com vão livre de 20 cm (amplitude mínima), 40 cm, 60 cm, 80 cm ou 100 cm (amplitude máxima). A fixação diversifica as modalidades de competição que atualmente se restringem ao vão de 100 cm, sendo que a flexibilidade não apresenta custo elevado de fabricação. Além disso, permite o emprego de conceitos variados de mecânica, onde o comprimento do vão da ponte é um coeficiente que interfere no cálculo de ações dinâmicas e estáticas da estrutura (Marchetti, 2008). Um suporte (50 cm x 42 cm) localiza-se na parte inferior onde será disposto os instrumentos para medição e aquisição de dados.

A Figura 8 apresenta o diagrama de tensão de Von Mises e o deslocamento em magnitude resultante.

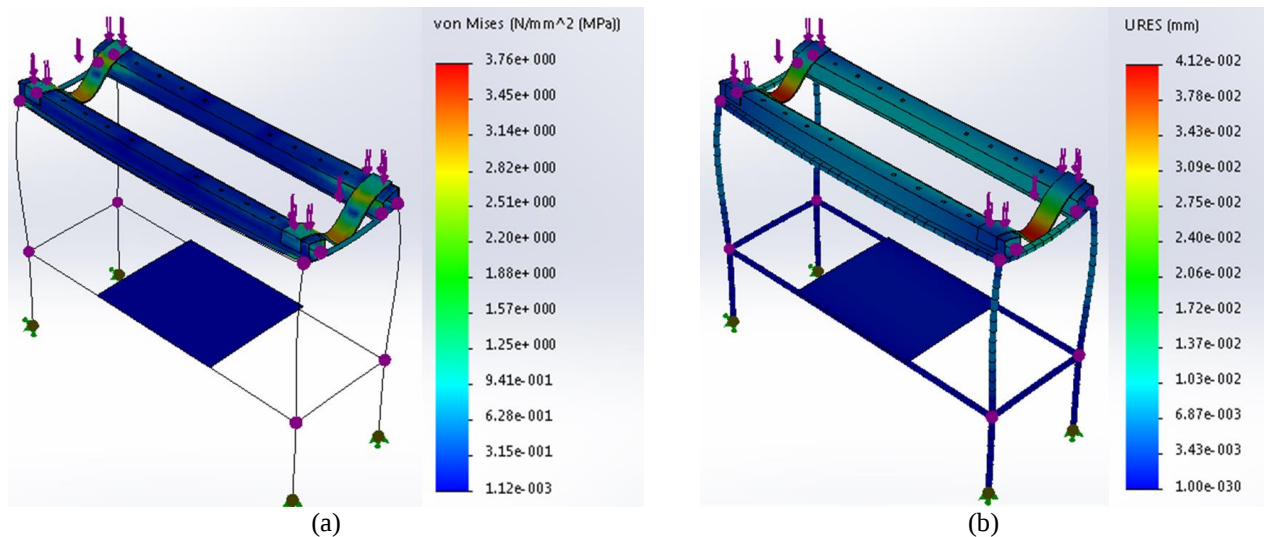


Figura 8. Apoio na amplitude máxima: (a) Diagrama de Tensão Von Mises. (b) Deslocamento URES (mm).

O diagrama de Von Mises mostra a média de tensões em cada ponto para a estrutura projetada do modelo escolhido com o apoio na amplitude máxima. O mapa de cores na Fig. 8 (a) indica a relação entre a cor e sua respectiva quantidade de tensão, permitindo avaliar pontos com maior intensidade e sua localização (Lotti et al., 2006). Com a aplicação da força de 100 N em cada apoio, a tensão máxima foi de 2,205 MPa para os apoios com amplitude mínima e de 3,76 MPa para os apoios com amplitude máxima (Fig. 8 (a)). Esses valores encontram-se bem abaixo do limite de escoamento dos materiais escolhidos para o projeto, que são 350 MPa para o aço ABNT 1020 e 470 MPa para o aço ABNT 4340. Portanto, a distribuição de tensões Von Mises indica que não há fase plástica para o nível de carga aplicada, comprovando-se a inexistência de falha para qualquer posição dos apoios.

A Figura 8 (b) apresenta um mapa de cores que indica o deslocamento máximo de cada ponto, sendo que para os apoios na amplitude mínima e na amplitude máxima foram equivalentes a $4,12 \times 10^{-2}$ mm e $2,47 \times 10^{-2}$ mm (Fig. 8 (b)),

respectivamente. Estes valores são inferiores a 2% da altura da seção transversal do apoio. A deformação máxima equivalente encontrada foi de $5,92 \times 10^{-6}$ para os apoios mais próximos ao centro da mesa e $5,81 \times 10^{-6}$ para os apoios mais próximos às extremidades. Ou seja, o deslocamento e a deformação são insignificantes perante às dimensões da estrutura e ao tipo de aplicação: testes de ponte de espaguete. Logo, o dimensionamento e cálculo estrutural forneceu um equipamento funcional, seguro e confiável. Após o projeto mecânico, validou-se os materiais escolhidos.

A faixa operacional do dispositivo didático projetado permite aplicação de forças entre 20 N e 200 N. O valor total de construção da bancada é de aproximadamente R\$ 649,39, apresentando baixo custo de implementação quando comparada a equipamentos disponíveis no mercado para ensaios mecânicos.

O controle e aplicação da carga são realizados através do torque do motor que tem uma polia acoplada ao seu eixo. O projeto eletrônico está indicado na Fig. 7 (b). Essa polia gira, enrolando o cabo que está conectado à célula de carga e, consequentemente, à barra de aço da ponte de espaguete. Ao encurtar o comprimento do cabo, traciona-se o centro da ponte. A célula de carga faz a leitura instantânea da carga ao longo do ensaio, enviando estes valores para o sistema de armazenamento de dados (aplicativo). O controle é realizado em malha fechada, sendo que, quando valores fornecidos pela célula de carga são superiores ao programado pelo sistema, o motor rotaciona em sentido oposto, reduzindo a tensão no cabo.

A Figura 9 apresenta as telas do aplicativo desenvolvido.



Figura 9. Telas do aplicativo. (a) Tela inicial. (b) Tela do teste. (c) Tela do controle manual.

A tela inicial permite ao usuário iniciar o teste com a configuração padrão do sistema ou realizar o controle manual. Na configuração padrão, a carga é inserida de forma gradual, respeitando o intervalo de 10 s entre cada incremento de 100 g. Um visor indica a carga instantânea de aplicação. Na tela do controle manual, o usuário define se fará o carregamento (sentido horário) ou descarregamento (sentido anti-horário) da força. Este controle é realizado através da velocidade do motor. Nesta etapa, é possível realizar intervalos maiores que 10 s e incrementos menores que 100 g. Botões de segurança permitem parar o motor durante a realização dos testes. A leitura de dados pelo aplicativo permite a geração de gráficos após o ensaio, observando a curva de carga aplicada por tempo, bem como a carga de ruptura.

Sua construção nesses moldes em uma Universidade pública facilitará a manutenção do equipamento, uma independência tecnológica e dos recursos necessários (González et al., 2005). Além disso, o uso da bancada garante maior precisão e agilidade para o processo de medição em ensaios de ponte de macarrão, conforme proposto por Talgatti et al. (2014), trazendo mais credibilidade ao dispositivo prático.

A validação da bancada será efetuada após a construção do equipamento e execução de ensaios com pontes de espaguete.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho apresentou o projeto de uma bancada didática de baixo custo para análise de pontes de espaguete no ensino da mecânica. O objetivo aqui presente é viabilizar um equipamento que contribua no ensino da mecânica promovendo maior interação e multidisciplinaridade.

Através da comparação de algumas geometrias, a bancada projetada foi apresentada por detalhamento de componentes mecânicos e eletrônicos, possibilitando sua fabricação. A resistência e eficácia dos materiais e instrumentos envolvidos foi comprovada por simulações computacionais. A instrumentação e o controle garantiu inserção de força automatizada e controle eficaz, determinando a faixa operacional. Como resultado, obteve-se uma estrutura com baixo custo de confecção quando comparada a equipamentos de ensaios mecânicos disponíveis no

mercado. A criação de um aplicativo para monitoramento em tempo real do ensaio permitirá maior visibilidade por parte dos alunos e armazenamento de dados para elaboração de relatórios e estudos posteriores.

O próximo passo é a validação da bancada através de competições e ensaios de pontes de espaguete. O projeto permitirá o desenvolvimento de desafios práticos, onde os estudantes serão motivados a solucionar problemas, aplicando criatividade e autonomia na execução das atividades. Busca-se um resultado positivo com o envolvimento do corpo discente nestas atividades, pois os alunos ficarão mais entusiasmados em estudar as disciplinas de mecânica e mais satisfeitos por saberem que têm conhecimento necessário para solucionar problemas de engenharia (Oliveira et al., 2016). Consequentemente estima-se avançar no potencial de ensino da mecânica visto que o aluno se tornará uma peça ativa na metodologia de ensino e aprendizagem (Miranda et al., 2010).

Portanto, o projeto da bancada demonstrará a importância de atividades práticas no ensino da engenharia. Como perspectivas futuras, pretende-se, além da construção da bancada, a organização de competições de pontes de macarrão entre os estudantes de graduação das engenharias mecatrônica e civil do Campus Alto Paraopeba da Universidade Federal de São João Del-Rei. Posteriormente, a realização de uma avaliação dos resultados em termos de desempenho acadêmico e motivação dos alunos pelas disciplinas correlacionadas. Por fim, ampliar a faixa operacional do equipamento com o projeto de uma estrutura mais robusta para cargas elevadas, realizar o controle sem o uso de célula de cargas, acoplar instrumentos ao sistema que permitirão análises de vibrações mecânicas e melhorar o aplicativo para smartphone.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Núcleo de Inovação, Pesquisa e Ensino em Mecatrônica (NIPEM) da Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ).

7. REFERÊNCIAS

- Amaral, R.D.C. e Pina Filho, A.C., 2010, “A evolução do CAD e sua aplicação em projetos de engenharia”, Anais do Nono Simpósio de Mecânica Computacional, São João del-Rey, Brasil.
- Ashby, M.F., 2012, “Seleção de materiais no projeto mecânico”, ISBN: 9788535245219.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2000, “NBR NM 87:2000 - Aço carbono e ligados para construção mecânica - Designação e composição química”, Rio de Janeiro, Brasil.
- Banzi, M. e Shiloh, M., 2014, “Getting started with Arduino: the open source electronics prototyping platform”, ISBN: 9781449363338.
- Bortolo, K.F. e Linhares, J.C., 2006, “Verificação da necessidade de dispositivos didáticos para o ensino na graduação em engenharia mecânica”, Anais do XXXIV Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Passo Fundo, Brasil.
- Budynas, R.G. e Nisbett, K.N., 2016, “Elementos de máquinas de Shigley - projeto de engenharia mecânica”, ISBN: 9788580555547.
- Buffoni, S.S.O. e Faísca, R.G., 2008, “Modelos didáticos de sistemas estruturais reduzidos através da construção de pontes de macarrão”, Anais do XXXVI Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, São Paulo, Brasil.
- Callister Júnior, W.D., 2016, “Ciência e engenharia de materiais: uma introdução”, ISBN: 9788521631033.
- Carmo, E.A., Silva, O.F., Barreiros, J.A.L e Ferreira, A.O., 2006, “Construção de protótipo didático: uma abordagem diferenciada no processo de ensino/aprendizagem de Engenharia”, Anais do XVI Congresso Brasileiro de Automática, Salvador, Brasil.
- Coelho, A.A.R., Almeida, O.M., Santos, J.E.S. e Sumar, R.R., 2001, “Experimentos práticos de controle adaptado na graduação”, Anais do XXIX Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Porto Alegre, Brasil.
- Fundação Nacional de Saúde, 2004, “Diretrizes para projetos físicos de laboratórios de saúde pública”, Brasília, Brasil.
- González, L.A.S., Morsch, I.B. e Masuero, J.R., 2005, “Didactic Games in Engineering Teaching- Case: Spaghetti Bridges Design and Building Contest”, 18th International Congress of Mechanical Engineering, Ouro Preto, Brasil.
- González, L.A.S., D’Ávila, V.M.R., Bittencourt, E. e Rosenhaim, A.L., 2009, “Objetos de aprendizagem para disciplinas de análise estrutural e mecânica dos sólidos”, Anais do IV Salão de Graduação e V Salão de Graduação a Distância, Porto Alegre, Brasil.
- Kirk, E.V., 1979, “Introdução à Engenharia”, Rio de Janeiro, Brasil.
- Lagemann, C.H., Salvador, P.F., Tremarin, R.C. e Rockenbach, D.T, 2013, “Ponte de Espaguete - Projeto de extensão Desafios de Inovação Tecnológica”, Disponível em: https://www.univates.br/media/extensao/dit/desafio_de_inovacao-ponte_de_espaguete.pdf. Acesso em: 10 set. 2018.
- Lotti, R.S., Machado, A.W., Mazzeiro, E.T. e Landre Júnior, J., 2006, “Aplicabilidade científica do método de elementos finitos”, Revista Dental Press Ortodon Ortop Facial, Vol. 11, No 2, pp. 35-43, Maringá, Brasil.
- Marcos, F.M., 2005, “Controlador PID analógico: uma abordagem didática em laboratório”, Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Campina Grande, Brasil.
- Miranda, R.J.P.C., Bock, R.A., Amann, K.U.P, Rossetti, R., Sá, A.B. e Grazzini, C.F.L., 2010, “A importância do laboratório e das competições no processo de ensino e aprendizagem de resistência dos materiais e mecânica dos sólidos”, Anais do XXXVIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Fortaleza, Brasil.
- Marchetti, O., 2008, “Pontes de concreto armado”, ISBN: 9788521204404.

- Maximo, P.H.M., Ferreira, R.P. e Pinto, V.P., 2011, “Desenvolvimento de um kit didático para utilização em aulas de laboratório de controle e automação”, Anais do XXXIX Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Blumenau, Brasil.
- Oliveira, W.C. e Silva, J.C., 2016, “Confecção de pontes de macarrão como apoio aos processos de ensino e de aprendizagem em engenharia”, XX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VI Encontro de Iniciação à Docência, São José dos Campos, Brasil.
- Ongaratto, R.A, Sarkisb, J.R. e Rech, R., 2010, “Construção de uma torre de resfriamento de bancada para o ensino de operações unitárias”, Revista de Ensino de Engenharia, Vol. 29, No 2, pp. 27-34.
- Pekelman, H. e Mello Junior, A. G., 2004, “A importância dos laboratórios no ensino de engenharia mecânica”, Anais do XXXII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Brasília, Brasil.
- Pereira, L.T.V. e Bazzo, W.A., 1997, “Ensino de engenharia: na busca do seu aprimoramento”, Florianópolis, Editora da Universidade Federal de Santa Catarina.
- Quintino, L.F., Santos, V.J.S., Coelho Junior, E.M. e Andrade, A.A., 2016, “Kit didático de baixo custo para práticas interdisciplinares em cursos de Engenharia Eletrônica”, Anais do XLIV Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Natal, Brasil.
- Spaghetti Bridge Building Contest, Okanagan College, Disponível em: http://www.okanagan.bc.ca/Programs/Areas_of_Study/Technologies/spaghettibridge.html. Acesso em: 10 jan. 2018.
- Spaghetti Bridge Competition, University of Salento, Italian Building Contest, Disponível em: <http://spaghettibridge.unisalento.it/>. Acesso em: 10 jan. 2018.
- Rothe-Neves, M., Silva, O.F. e Barreiros, J.A.L., 2004, “Metodologia para a construção de protótipos para os cursos de controle e automação de sistemas”, Anais do XXXII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Brasília, Brasil.
- Talgatti, O.L., Paiva, R.L.S., Boff, U. e Oliveira, R. P., 2014, “Aprimoramento da máquina de ensaios em pontes de espaguete”, Anais da XI Semana de Extensão, Pesquisa e Pós Graduação SEPesq, Porto Alegre, Brasil.
- Tanenbaum, J.G., Williams, A.M., Desjardins, A. e Tanenbaum K., 2013, “Democratizing technology: pleasure, utility and expressiveness in DIY and maker practice”, Anais da Conference on Human Factors 2013, Paris, França.
- Valdiero, A.C., Bortolaia, L.A. e Rasia, L.A., 2011, “Desenvolvimento de uma bancada didática para ensaio de pórticos como objeto educacional na engenharia”, Anais do XXXIX Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Blumenau, Brasil.
- UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, “Competição de Espaguete”, Disponível em: <http://www.ppgec.ufrgs.br/segovia/espaguete/>. Acesso em: 15 de dez. 2017.

8. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

DESIGN OF A DIDACTIC WORKBENCH FOR ANALYSIS OF SPAGHETTI BRIDGES IN THE LEARNING OF THE MECHANICS

Bruna Lorrany Nolasco, bruna.lnolasco@gmail.com¹

Rafael Novais Lacerda de Oliveira, rafael.nlo@hotmail.com¹

Rina Mariane Alves Dutra, rina@ufsj.edu.br¹

Diego Raimundi Corradi, diego.corradi@ufsj.edu.br¹

¹NIPeM – Innovation, Research and Teaching Group in Mechatronics Engineering. Federal University of São João del-Rei, Campus Ouro Branco/Congonhas, Minas Gerais, Brazil.

Abstract. *The growing need for change in engineering teaching methodology is a consequence of the search for improvements in the performance and motivation of the student body. This research aims to design a didactic workbench intended to analyze spaghetti bridges in teaching of mechanics. The dimensional and structural analysis was done with computational assistance and determined the operational range of the didactic device. The chosen instruments and materials chosen ensure reduced manufacturing cost and an automated force deployment system. A smartphone application will enable remote control of data. The validation of the workbench will be done through a spaghetti bridge test, which will allow its use in practical activities. This work expects to obtain a didactic resource capable of stimulating the student and contribute in the quality of the learning of the mechanics as well.*

Keywords: *didactic workbench, spaghetti bridge, practical activity, teaching, mechanical Engineering.*