

## Utilizando a metodologia PDCA para a melhoria do processo da construção de uma Ponte de Espaguete

## Using PDCA methodology to improve the process of building a Spaghetti Bridge

DOI:10.34117/bjdv7n11-495

Recebimento dos originais: 12/10/2021

Aceitação para publicação: 26/11/2021

### **Claudio B. de Oliveira**

Mestrado Profissional em Gestão De Sistemas de Eng.  
Universidade de Vassouras  
Rua João Fabrício José, 195 - Vila Isabel Três Rios RJ.  
E-mail: claudiobonfa@yahoo.com.br

### **Larissa Leal Coutinho**

Graduanda de Engenharia Civil  
Universidade de Vassouras  
Avenida Marechal Paulo Torres, 952 - Madrugada / Vassouras -RJ.  
E-mail. lariissasouza87@gmail.com

### **Luis O. de O. Pancotti**

Luis Otávio de Oliveira pancotti  
Graduando de Engenharia civil  
Universidade de Vassouras  
Rua Rita De Jesus Moura Dos Santos, 96 Parque Sucena/ Vassouras-RJ.  
E-mail: luis.otaviodeoliveirapancotti@gmail.com

### **Arthur de S. Carvalho**

Graduando de Engenharia Civil  
Universidade de Vassouras  
Rua Maestro Costa Barros, 717 - Centro / Três Rios – RJ.  
E-mail: arthurscarvalho@hotmail.com

### **Carlos Vitor de Alencar Carvalho**

Doutorado em Engenharia Civil  
Universidade de Vassouras e Centro Universitário Estadual da Zona Oeste  
Rua Elisa Barbosa No 529, Ap 101 – Tambasco – Vassouras – RJ.  
E-mail: cvitorc@gmail.com

### **RESUMO**

Este trabalho tem o objetivo de mostrar resultados experimentais e a análise dos resultados obtidos no ensaio de uma ponte de espaguete, utilizando o método PDCA como instrumento de melhoria na elaboração e execução do projeto. O projeto ponte de espaguete é realizado no âmbito da disciplina Resistência dos Materiais do Curso de Engenharia Civil da Universidade de Vassouras. Considerando a metodologia PDCA, foram construídas diversas pontes de espaguete. Durante o processo de construção das pontes, foram identificados diversos problemas tanto nos materiais como no método de

execução. Tais problemas juntamente com os ensaios obtidos com os diversos ensaios, geraram feedbacks que foram utilizados para aperfeiçoar o processo construtivo, eliminando possíveis erros até que chegar a um o resultado ótimo. Assim, como resultado do projeto, foi constatado a melhoria ao longo de todo processo, com aumento na capacidade de carga da ponte à medida que elas eram construídas considerando as experiências e problemas identificados na ponte construída na etapa anterior. A ferramenta PDCA foi importante para direcionar na melhoria da elaboração e execução de projetos, visando a diminuição das perdas e buscando uma maior precisão no resultado da carga de ruptura. Do ponto de vista educação, pode-se verificar que projetos como este, os estudantes podem aliar conceitos teóricos com práticos, são interessantes para a construção do conhecimento e desenvolvimento das competências técnicas de engenharia, bem como das competências comportamentais.

**Palavras-chave:** PDCA, Ponte de Espaguete, Resistência dos Materiais, Educação em Engenharia

### **ABSTRACT**

This paper aims to show experimental results and analysis of the results obtained in the testing of a spaghetti bridge, using the PDCA method as a tool for improvement in the design and execution of the project. The spaghetti bridge project is carried out as part of the discipline Resistance of Materials in the Civil Engineering Course at the University of Vassouras. Considering the PDCA methodology, several spaghetti bridges were built. During the construction process of the bridges, several problems were identified, both in the materials and in the method of execution. These problems, together with the tests obtained from the various trials, generated feedback that was used to improve the construction process, eliminating possible errors until an optimum result was reached. Thus, as a result of the project, improvement was seen throughout the process, with an increase in the bridge's load capacity as they were built considering the experiences and problems identified in the bridge built in the previous stage. The PDCA tool was important to guide the improvement in the design and execution of projects, aiming to reduce losses and seeking greater accuracy in the result of the breaking load. From an educational point of view, it can be verified that projects like this one, where students can ally theoretical concepts with practical ones, are interesting for the construction of knowledge and development of technical engineering skills, as well as behavioral skills.

**Keywords:** PDCA, Spaghetti Bridge, Strength of Materials, Engineering Education

## **1 INTRODUÇÃO**

Para os discentes de engenharia civil, existe uma grande necessidade de um conhecimento estruturado e eficiente sobre diversos assuntos na área da construção civil, inclusive na construção de pontes e viadutos.

É necessário, criar mecanismos que promovam a interação da teoria e prática, a fim de promover um graduando mais preparado e consciente para o mercado de trabalho. Cabe lembrar a existência novas Diretrizes Curriculares Nacionais para os cursos de graduação em Engenharia, que foram homologadas pelo parecer CNE/CES N. 01/2019

(BRASILa, 2019), publicada no D.O.U em 26/04/2019 (BRASILb, 2019). Tais Diretrizes apresenta-se com uma proposta baseada no desenvolvimento de competências e possui pilares interessantes como: Empreendedorismo; Inovação; Matriz curricular baseada em competências; Aprendizagem ativa; Estímulo à capacitação docente (CNI, 2020). Nesse ambiente, os professores deixam de ter um papel principal e central na geração e disseminação de conteúdo, para adotar um papel de tutor, mediador do processo construtivo. Com isso, a ponte de macarrão apresenta-se como uma forma de proporcionar ao estudantes o desenvolvimento dessas competências.

A confecção de pontes de macarrão trata-se de uma atividade realizada em inúmeras instituições brasileiras e no exterior. A primeira instituição a realizar esse projeto foi a *Okaganan College* em Colúmbia Britânica. Já no Brasil, iniciou-se na Universidade Federal do Rio Grande do Sul sendo, posteriormente, seguido por outras universidades e institutos.

As pontes de macarrão se tornaram eficientes no ensino da área de estruturas visto que os graduandos necessitam realizar testes de tração e compressão e determinar as tensões das barras tanto como as reações que ocorrem nos apoios da ponte. Além disso, utilizou-se o software FTOOL, para o levantamento de cálculos necessários para a construção da ponte de macarrão. O ciclo PDCA (Planejar, Fazer, Checar, Agir) foi utilizado para o controle e melhoria contínua do processo de elaboração e execução da ponte de espaguete.

Neste trabalho descreve-se um caso de sucesso de uma proposta realizada na disciplina de Resistência dos Materiais e tem como objetivo principal construir uma ponte de espaguete que suporte uma carga de 100 kgf obedecendo as normas estipuladas para a competição na Universidade de Vassouras.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 FTOOL**

O FTOOL é um programa que se destina ao ensino do comportamento estrutural de pórticos planos, ocupando um espaço pouco explorado por programas educativos, que se preocupam mais com o ensino das técnicas numéricas de análise, ou por versões educacionais de programas comerciais, mais preocupados em introduzir os estudantes às suas interfaces. Seu objetivo básico é motivar o aluno para aprender o comportamento estrutural (MARTHA, 2021).

Segundo Martha (2021), a experiência de ensino nesta área, têm mostrado que o processo de aprendizado dos métodos de análise estrutural, não são eficientes sem os parâmetros do comportamento estrutural. É muito difícil motivar o aluno nos padrões convencionais, sendo necessário unir teoria e prática como métodos de análise para compreensão do comportamento das estruturas. O processo de aprendizado dos métodos de análise melhoraria significativamente através da interação simultânea entre teoria e prática.

O FTOOL é um software de cálculo estrutural que se destaca pela sua simplicidade e praticidade de manuseio. Permite executar cálculos de estruturas planas de forma rápida e bastante intuitiva, evitando a necessidade de recorrer a programas mais complexos. Além disso, o software é gratuito e tem uma forte componente educativa. O software foi desenvolvido pelo professor Luiz Fernando Martha, da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), e está disponível em Martha (2021).

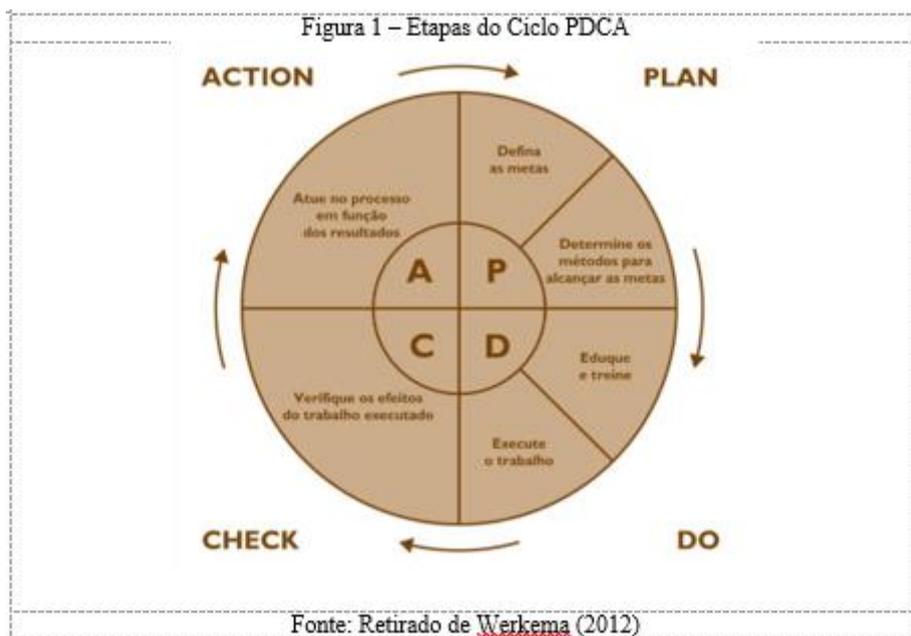
## 2.2 PDCA

Segundo o conceito de Mattos (2010, pp. 40 – 41) o método PDCA trata didaticamente o processo de melhoria contínua como uma sequência de três passos em um ciclo: aproveitado o máximo dos dados disponíveis para seu desenvolvimento sendo eles de equipes, de orçamento, planos de atuação, tendo a certeza de um planejamento como um compromisso geral e não como missão de uma área técnica; procurando uma execução de uma obra como planejamento, pois nem sempre seu cronograma de obras tem seus objetivos alcançados, tornando necessária uma nova aferição do que foi realizado. Com isso pode ser apropriado índices de campo e propriedade das equipes avaliando seus desvios inerentes a seu planejamento; e por fim uma revisão do seu planejamento dando a ele um novo direcionamento fazendo o gerente retomar sua obra no seu eixo.

Para Couto e Marrash (2012, p. 2) o PDCA nas organizações obtêm resultados contrários, com extensos e volumosos planos tendo como base os procedimentos seguidos na etapa “P” do ciclo PDCA que determina aonde se quer chegar impondo um planejamento eficaz, atingindo um caminho para uma situação desejada, na sua implementação a prática do “D” trazendo a incerteza da realização de uma atividade importante, pois através de auditorias é encontrado um grande número de atividades fora do seu procedimento, seguindo a etapa “C” identificando algo que não está saindo conforme o planejado. Por fim a etapa “A” responsável para fechar o ciclo PDCA, tão

pouco praticada, mas através de ações convincentes e com base nos insucessos nas etapas anteriores garantindo problemas decorrentes dando sentido a um ciclo de melhoria contínua de um determinado processo.

Para Costa (2007, p. 265) o conceito da metodologia do PDCA não consiste somente na implantação das mudanças estratégicas, mas também organizar as melhorias sucessíveis em círculos, composto de quatro fases. A Figura 1 abaixo mostra as etapas do ciclo PDCA.



Dentro da aplicação da ferramenta do PDCA várias outras ferramentas dão suporte ao processo, tal como a matriz GUT auxiliará na etapa de planejamento do ciclo do PDCA, permitindo a identificação das causas para a elaboração do plano de ação. Segundo Bond, Busse e Pustilnick (2012, p. 69) a matriz GUT advém da sigla gravidade, urgência e tendência, estabelecendo prioridades com objetivo de eliminar problemas de grandes quantidades relacionados entre si. Com objetivo de saber a gravidade de um problema o GUT identifica seu grau de urgência, como o problema pode ser resolvido e até onde o mesmo pode piorar se nenhuma providência for tomada.

Para auxiliar na identificação das causas, o diagrama de Ishikawa se apresenta como uma ferramenta válida. Segundo Mello (2011, p. 22) o diagrama de Ishikawa é uma ferramenta que serve para identificar as causas de um desvio da qualidade que pode ser denominado como diagrama de causas e efeito ou espinha de peixe, na construção do diagrama é utilizado os 6Ms como as principais causas dos problemas, sendo eles, a mão

de obra, os materiais com seus componentes, as máquinas e equipamentos, os métodos, o meio ambiente e a medição. É válido lembrar que nem sempre é necessária a citação dos seis elementos que compõem o diagrama, podendo ele ter uma solução mais simplificada.

Outra ferramenta relevante no processo de aplicação do PDCA é os cinco porquês, segundo Seleme e Stadler (2012, p. 44) os cinco porquês podem auxiliar na identificação da causa da problemática estudada. A técnica tem como objetivo identificar a verdadeira causa do problema fazendo a sistemática de uma simples pergunta (porquê) propondo soluções cabíveis. Não se torna necessário o uso dos cinco porquês, pois ele pode ser uma natureza simples e de fácil solução, podendo então ser solucionada com mais antecedência.

Para a elaboração do plano de ação que suportará a execução da etapa DO o método 5W2H é amplamente difundido tanto no meio acadêmico quanto no meio organizacional, segundo Custodio (2015, p. 32), a metodologia definida do 5W2H que teve origem nos Estados Unidos define um conjunto de perguntas para melhor eficácia da solução de um problema esta técnica tem por finalidade simplificar o entendimento para a solução de problemas identificando onde deve ser trabalhado. Esta nomenclatura vem do inglês: What (o quê); Why (por que); Where (onde); When (quando); Who (quem); How (como); How much (quanto custa).

### **2.3 A COMPETIÇÃO**

A Universidade de Vassouras, por meio da disciplina de Resistência de Materiais, vem realizando a Competição da Ponte de Macarrão. O objetivo principal do trabalho proposto é motivar nos alunos o desenvolvimento de habilidades que lhes permitam aplicar conhecimentos básicos adquiridos nas disciplinas Mecânica Básica e Isostática, que de forma interdisciplinar com a disciplina Resistência dos Materiais e Mecânica dos Sólidos, proporcionam ao aluno condições de desenvolver projetos como a ponte de espaguete.

A competição tem sido realizada em várias instituições do país, com o intuito de proporcionar aos seus alunos oportunidades lúdicas de aprendizagem. É uma competição diferente, pois estimula o discente a trabalhar em equipe e aprender a dimensionar uma ponte treliçada de macarrão. Cada competição abrange um edital onde são especificados parâmetros, tais como: tipo do macarrão a ser usado, colas permitidas, materiais para os apoios e a espessura da barra de aço que deve ser colocada no meio da estrutura (onde serão colocados os pesos no dia da competição).

A competição apresenta muitos pontos positivos com relação ao aprendizado que os alunos podem adquirir participando da mesma. Alguns conhecimentos da área de Engenharia Civil são essenciais para a execução do projeto, tais como: Resistência dos Materiais, Pontes, Desenho Técnico (para fazer o desenho do projeto), Cálculo Estrutural, além de ensinar ao aluno a pensar e trabalhar em grupo, executar um projeto, calcular, montar e fazer o acabamento e estética da ponte. Ao participar de várias competições ao longo do curso, o aluno passa a ter uma análise mais crítica sobre o próprio projeto, passa a identificar as possíveis falhas e erros, aprende uma maneira nova de executar a montagem e a colagem das barras, o grupo redimensiona o projeto para melhorar a estimativa de carga. O aluno e o grupo adquirem muito conhecimento na área. Na Universidade de Vassouras, em específico, o edital já traz as especificações das dimensões e do limite de peso próprio que a ponte deve ter.

#### **2.4 IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DO MODELO REDUZIDO NO ENSINO DA ENGENHARIA**

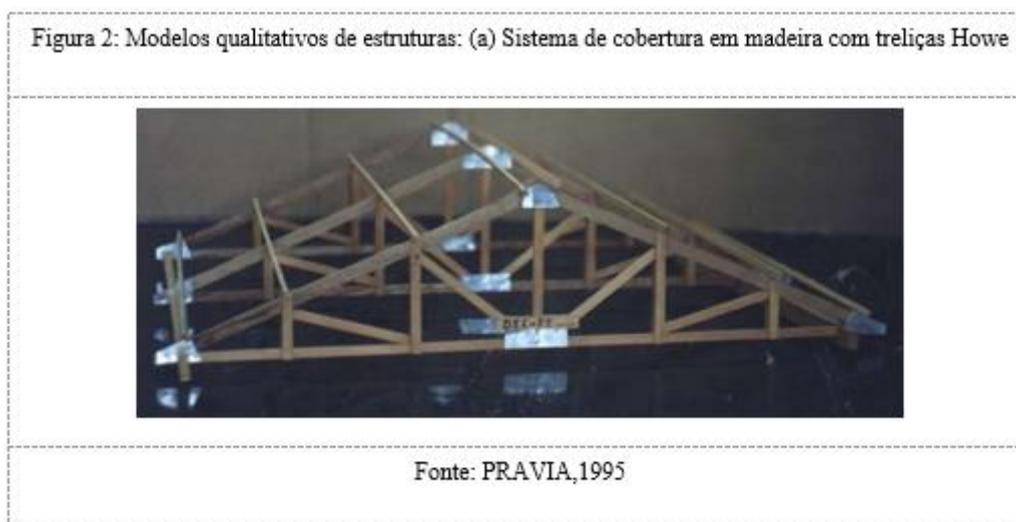
É imprescindível que os profissionais técnicos envolvidos com projetos estruturais, tenham a habilidade de constatar e abarcar o comportamento das estruturas em suas variadas hipóteses de combinações das ações e carregamentos, intrínsecas e extrínsecas à estrutura (HILSON, 1972). Para esse fim, na graduação é essencialmente que os alunos desenvolvam a sapiência espacial intuitiva, para entender o comportamento micro e macro de uma determinada estrutura, desde a primeira fase no parecer Estrutural até a execução da obra, a fim de delinear o projeto arquitetônico associando conhecimento técnico com a importância da otimização ao forçar a estrutura, buscando além obter os aspectos harmoniosos, assegurar maior precisão na apreciação das condições de segurança e viabilidade econômica do empreendimento.

A aplicação de modelos reduzidos qualitativos empregados na instrução do comportamento de estruturas é uma atividade com o intuito de complementar o que vem sendo desenvolvida há mais de sete décadas, como um instrumento didático auxiliador na aprendizagem. Segundo HARRIS *et al.* (1999) apud OLIVEIRA (2008), um dos primeiros a utilizar modelos estruturais para demonstrações em sala de aula foi RATHBUN, que em 1934 utilizou blocos de madeira presos por arames para demonstrar o comportamento de um arco. Porém, segundo TEIXEIRA (2016), atualmente no “ensino de engenharia, a exploração desta vertente intuitiva é deixada de certa forma para segundo plano. A exposição dos conceitos estruturais é feita quase exclusivamente por via

analítica, menosprezando noções qualitativas”, o que dificulta a aprendizagem na compreensão dos conceitos teóricos.

Contudo, devemos render uma homenagem aos docentes que dedicam seu tempo para pesquisas acadêmicas. As pesquisas contemporâneas tem defendido a importância da análise visual no comportamento de estruturas, através de modelos reduzidos qualitativos, como instrumento de auxílio no ensino/aprendizagem nos cursos de Engenharia e de Arquitetura, citando-se como exemplos: HILSON (1972); SANTOS (1983); REBELLO (1992); SCHWARK (1996); RODRIGUES e HERMIDA (2006); OLIVEIRA (2008); SARAMAGO (2011); TEIXEIRA (2016), dentre outros.

Segundo (PRAVIA, 1995), com o intuito de aprimorar a didática de ensino nas disciplinas de aço e madeira, aplicou trabalhos com construções de modelos reduzidos, como pode averiguar na figura 2, com a finalidade de demonstrar o comportamento de sistemas de coberturas em estruturas de madeira, e relata que os resultados foram excelentes dados as respostas na motivação dos alunos ao utilizar tais modelos como aprendizado prático associado ao conhecimento teórico.



DUPLAT *et al.* (2008), realizam um trabalho de estudo de ponte treliçada do tipo Warren Modificada, com banzos paralelos, utilizando palitos de picolé e cola, onde os objetivos foram além da construção a realização de testes de carga, como podemos evidenciar na figura 3.

Figura 3: Modelo de ponte treliçada do tipo Warren Modificada construído com palitos de picolé.



Fonte: Retirado de DUPLAT *et al.*, 2008

Segundo (REBELLO, 2000), no estudo das estruturas existem duas vertentes que devem ser seguidas, para que o aluno adquira a experiência, fundamental para conceber adequadamente uma estrutura: a da percepção intuitiva e a do conhecimento teórico de cálculo. Para isso, o docente deve desenvolver os conhecimentos teóricos associados ao conhecimento prático, buscando sempre a interação da teoria com a prática.

Rodrigues Júnior *et al.* (2020) mostram uma iniciativa de do uso de impressoras 3D para prototipagem tridimensional de projetos desenvolvidos por alunos nas medidas reais em escala reduzida, o que é bastante interessante pois permite aos estudantes experimentarem novas habilidades da indústria 4.0, tão requisitadas hoje em dia.

### 3 METODOLOGIA UTILIZADA

De acordo com Mascarenhas (2012, p. 43), os métodos de pesquisa e investigação são divididos de acordo com; as bases lógicas; a abordagem dada ao problema; o objetivo da pesquisa; e segundo o procedimento técnico utilizado. Para a pesquisa em questão foi adotado como base lógica de investigação a dedução, a partir de recursos lógicos-discursivos para atingir seus objetivos. Segundo Lakatos e Marconi (2010, p. 46), os métodos científicos objetivam a verdade e utilizam a comprovação de hipóteses para chegar a conclusões objetivas, através da observação sistemática do fenômeno estudado e da teoria científica.

De acordo com Matias-Pereira (2012, p. 83), em um sentido holístico os métodos se caracterizam por quantitativos e qualitativos, em que nos métodos qualitativos os dados são analisados de forma indutiva e descritiva não podendo ser quantificada. Já o método quantitativo utiliza métodos estatísticos para análise e tratamento dos dados.

Portanto este estudo utilizará com procedimento técnico o estudo de caso, que permitirá análise de um efeito e em um contexto fundamentado a partir dos conceitos examinados. Neste sentido, essa pesquisa se caracteriza tanto como qualitativa, quanto também aborda aspectos quantitativos, utilizando dados descritivos para análise e discussão dos resultados obtidos.

#### 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos descrevem os métodos realizados em cada teste executado, obtendo resultados diferentes até a conclusão desejada conforme o projeto desenvolvido. Esses resultados só foram possíveis através da utilização desta poderosa ferramenta de análise de processos, conhecida como PDCA.

Na primeira etapa dos testes, foram realizados setenta dias de estudos e cálculos para dimensionamento da ponte de espaguete, foram utilizadas dimensões intermediárias, a fim de diminuirmos os nós, porém contamos com emendas para completarmos as barras, o resultado do primeiro teste foi muito ruim, sendo alcançado apenas 2 kgf. As figuras 4, 5, e 6 mostram partes deste processo. A Figura 4 mostra a ponte concluída para o teste de carga, a figura 5 apresenta o momento da pesagem e a figura 6 temos a demonstração do teste de carga.

Com este resultado, iniciamos novos estudos, aplicamos o PDCA como alternativa para minimizarmos alguns problemas, assim, foi iniciada a segunda etapa dos testes.



Figura 05 - Pesagem da ponte



Fonte: Autores, obtida em 01/10/2019

Figura 06 - Teste de carga



Fonte: Autores, obtida em 01/10/2019

Na segunda etapa dos testes, as dimensões das barras foram aumentadas, como podemos verificar nas figuras 07 e 08, o resultado foi melhor que o primeiro teste de compressão, resistindo há 8 kgf. Podemos concluir que ao aumentar o comprimento das barras, já identificamos a flambagem das mesmas, como podemos observar nas figuras 07, 08 e 09. Novamente foi aplicado o PDCA, para podermos observar onde estava a deficiência do projeto.

Figura 07 - Construção da ponte de espaguete



Fonte: Autores, obtida em 13/10/2019

Figura 08 - Ponte pronta para teste de compressão



Fonte: Autores, obtida em 13/10/2019

Figura 09 - Pesagem da ponte



Fonte: Autores, obtida em 13/10/2019

Na terceira etapa de testes os comprimentos das barras foram dimensionados de acordo com o comprimento do espaguete, minimizando assim emendas desnecessárias que prejudicaram os testes anteriores, nas figuras 10 e 11 podemos evidenciar uma simetria e harmonia melhor nas treliças deste modelo. utilizamos nesta etapa além do durepox usamos uma resina acrílica. No terceiro teste o resultado melhorou significativamente, elevando o teste de carga para 58 kgf. Após este teste, verificou-se ao diminuirmos as emendas, buscando uniformidade no projeto, buscando um resultado melhor e eficiente.

Figura 10 - Pesagem da ponte



Fonte: Autores, obtida em 25/10/2019

Figura 11 - Pesagem da ponte



Fonte: Autores, obtida em 25/10/2019

Na quarta etapa, a competição propriamente dita, foram realizados levantamentos e comparações das etapas anteriores, aplicando novamente o PDCA, com finalidade de avaliar e nortear as novas tomadas de decisão. Nesta etapa final foram utilizados durepox, resina acrílica vitrificada e araldite, visando uma melhor performance do projeto em estudo. As figuras 12, 13, 14, 15, 16 e 17 demonstram a melhoria e exatidão na execução do trabalho final. O trabalho em questão foi dimensionado e executado em dois dias no laboratório da Universidade de Vassouras, buscando utilizar todas as orientações ministradas nas aulas de resistência dos materiais. No teste de compressão a ponte resistiu a 100 kgf conforme projeto, sendo assim superando todas as expectativas iniciais.

Figura 12 - Execução do projeto

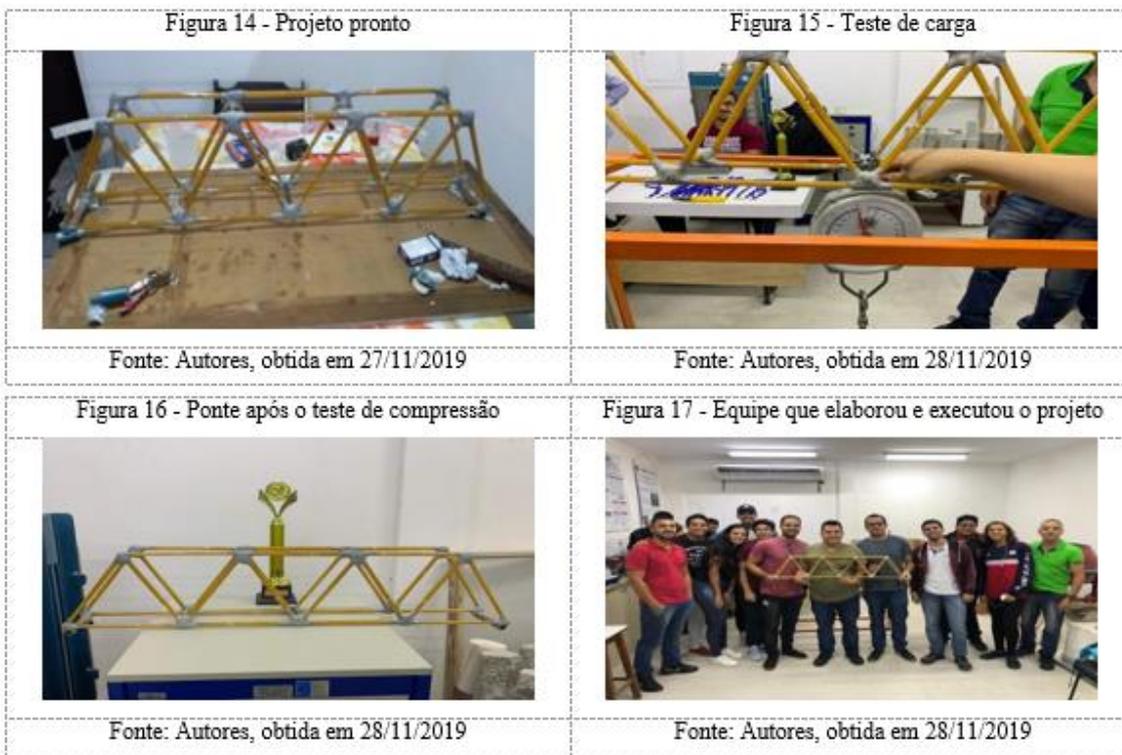


Fonte: Autores, obtida em 27/11/2019

Figura 13 - Execução do projeto



Fonte: Autores, obtida em 27/11/2019



O gráfico 01 evidencia a evolução da resistência dos testes de carga realizados no laboratório da Universidade de Vassouras, o método PDCA foi determinante na obtenção dos dados e tomada de decisões que permitiram a evolução dos resultados obtidos.



## 5 CONCLUSÃO

Neste contexto, a ferramenta PDCA pode direcionar na melhoria da elaboração e execução de projetos, visando a diminuição das perdas e buscando uma maior precisão, utilizando a melhoria constante como um dos parâmetros para assegurar a satisfação dos clientes e alta qualidade.

Ao término da pesquisa, pôde-se concluir que o propósito inicial que era observar de que maneira a ferramenta PDCA poderia colaborar para a melhoria dos processos da experimentação apresentada neste trabalho foi alcançado, ficando como resultado um mecanismo que enriqueceu o processo de execução da ponte de espaguete e trouxe ganhos significativos aos procedimentos e processos de um modo geral, sendo assim, a ferramenta PDCA foi de extrema importância para comprovação e aplicação da solução final, de maneira eficaz para a melhoria continuada dentro do escopo do projeto sugerido pelo grupo foi essencial para a diminuição de perdas e atingir melhores resultados na execução.

Do ponto de vista educação, pode-se verificar que projetos como este, os estudantes podem aliar conceitos teóricos com práticos, são interessantes para a construção do conhecimento e desenvolvimento das competências técnicas de engenharia, bem como das competências comportamentais.

Recomendam-se futuras investigações no setor, que fomentem a aplicabilidade da ferramenta PDCA em outros procedimentos, tanto indústrias, comerciais, quanto de outras áreas de atividade, pois apesar da vasta literatura e obras acadêmicas na área, a aplicabilidade da ferramenta se mostra extensa e flexível.

## **AGRADECIMENTOS**

O último autor agradece ao CNPq pelo apoio recebido no projeto 315216/2018-2.

## REFERÊNCIAS

BOND, M. T., BUSSE, A., & PUSTILNICK, R. **Qualidade total: o que é e como alcançar**. Curitiba: Intersaberes, 2012

BRASILa. **Ministério da Educação (MEC). Parecer homologado CNE/CES No 01/2019, de 23 de janeiro de 2019**. Diretrizes Curriculares Nacionais do curso de graduação em Engenharia. Disponível em < <http://portal.mec.gov.br/conselho-nacional-de-educacao/atos-normativos--sumulas-pareceres-e-resolucoes>>. Acesso em: 01 jun. 2021.

BRASILb. **Diário Oficial da União (DOU). Resolução No 2, de 24 de abril de 2019**. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. Disponível em < <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resoluçãO-nº-2-de-24-de-abril-de-2019-85344528>>. Acesso em: 02 abr. 2021.

COSTA, E. A. **Gestão estratégica: da empresa que temos da empresa que queremos** (2a ed). São Paulo: Saraiva, 2007.

COUTO, B. A., & MARASH, I. R. **Gestão por processos: em sistemas de gestão da qualidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012.

CUSTODIO, M. F. **Gestão da qualidade e produtividade**. São Paulo: Pearson, 2015.  
DUPLAT, D. N et al. **Estudo de ponte articulada do tipo Warren Modificada utilizando palitos de picolé**. Trabalho de Resistência dos Materiais EM423, Engenharia Mecânica, UNICAMP. Campinas, 2008.

GONZÁLEZ, L. A. S.; MORSCH, I. B.; MASUERO J. R. Didactic Games in Engineering Teaching - Case: Spaghetti Bridges Design and Building Contest. Ouro Preto: **18th International Congress of Mechanical Engineering**, 2005. Disponível em: Acesso em: 15/08/2019

HARRIS, H. G.; SABINS, G. M. **Structural modeling and experimental techniques**. 2nd ed. CRC Press LLC. Florida, 1999.

HILSON, B. **Basic structural behaviour via models**. Crosby Lockwood. London, 1972.  
LAKATOS, E. M., & Marconi, M. A. **Metodologia científica** (5a ed.). São Paulo: Atlas, 2010.

MARTHA, L. F. Manual on-line da versão 2.11. Disponível em: <<http://web.tecgraf.puc-rio.br/FTOOL/manual/>>. Acesso em: 03/04/2021.

MASCARENHAS, S. A. **Metodologia científica**. São Paulo: Pearson, 2012.

MATIAS-PEREIRA, J. **Manual de metodologia da pesquisa científica** (3a ed.). São Paulo: Atlas, 2012.

MATTOS, A. D. **Planejamento e controle de obras**. São Paulo: Pini. 2010.

MELLO, C. H. P. **Gestão da qualidade**. São Paulo: Pearson Education, 2011.

OLIVEIRA, M. S. **Modelo estrutural qualitativo para pré-avaliação do comportamento de estruturas metálicas.** Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2008.

PRAVIA, Z. M. C. **Modelos Reduzidos para o Ensino de Estruturas.** In: XXIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 1995, Recife. ANais, 1995. v. 1.

REBELLO, Y. C. P. **Contribuição ao ensino de estruturas nas escolas de arquitetura.** Dissertação (Mestrado) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo de São Paulo. São Paulo, 1992.

RODRIGUES JUNIOR, A. S.; GOMES, G. J. C.; BERTEGES, L. F. C.; PEREIRA, C.

S. S.; CARVALHO, C. V. A. Um material potencialmente significativo para o ensino da engenharia civil utilizando impressora 3D e realidade aumentada: uma experiência com alunos do ensino médio e do ensino superior. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 10855-10868, 2020.

RODRIGUES, P. F. N.; HERMIDA, A. S. **Modelagem de elementos básicos de estruturas para a análise qualitativa do comportamento estrutural.** Revista de Ciência e Tecnologia, Universidade Iguazu, V. 6, n. 1, jun. 2006.

SANTOS, J. A. **Sobre a concepção, o projeto, a execução e a utilização de modelos físicos quantitativos na engenharia de estruturas.** Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1983.

SARAMAGO, R. C. P. **Ensino de estruturas nas escolas de Arquitetura no Brasil.** Dissertação (Mestrado) Arquitetura e Urbanismo, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2011.

SCHWARK, M. P. **Sugestões para um curso intuitivo de teoria das estruturas.** Dissertação (Mestrado) Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996.

SELEME, R., & STADLER, H. **Controle da qualidade: as ferramentas essenciais.** Curitiba: Intersaberes, 2012.

TEIXEIRA, G. A. S. **Análise de estruturas porticadas através de modelação física.** Dissertação (Mestrado) Engenharia Civil / Estruturas. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2016.

WERKEMA, Cristina. **Métodos PDCA e Demaic e Suas Ferramentas Analíticas.** [Digite o Local da Editora]: Grupo GEN, 2012. 9788595154537. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595154537/>. Acesso em: 29 out. 2021.