

FABRICAÇÃO DIGITAL DE UMA PONTE EM MATERIAL POLIMÉRICO: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA NO ENSINO DA ENGENHARIA CIVIL

Vítor Fioroni Galiano (IC); Alfonso Pappalardo Junior (Orientador).

Apoio: PIBIC Mackenzie

Resumo

As disciplinas dos cursos de engenharia são estruturadas para atingir um determinado propósito. Cada disciplina encarrega-se de ensinar um conjunto de técnicas em termos teóricos e práticos. Cada uma destas técnicas é apresentada e, então, aplicada a problemas mostrados em sala de aula. Neste estudo, realizou-se a impressão de um modelo em escala reduzida de uma ponte em impressora 3D para aproximar as técnicas de ensino e aprendizagem ao mundo real. Solicitou-se à DERSA o projeto de uma ponte que, preferencialmente, possuísse mais de um método construtivo e, assim, foi cedido um projeto que está atualmente em execução e faz parte das obras do Rodoanel Mário Covas, da cidade de São Paulo, trecho Norte. A ponte é um acesso do trecho norte do Rodoanel para a Rodovia Presidente Dutra, sentido interior do estado. O projeto recebido estava em arquivos digitais de softwares CAD com desenhos bidimensionais que foram transformados em desenhos tridimensionais de todas as partes da ponte. Os arquivos tridimensionais foram impressos em uma impressora 3D em escala 1:100, resultando em uma ponte de 2,51m de comprimento e o tabuleiro com 9,10cm de largura. As peças impressas foram unidas com cola do tipo epóxi formando os cinco tabuleiros e um dos apoios da ponte. As demais peças, como encontros e pilares, foram impressas integralmente. Desta forma, o modelo em escala reduzida é de fácil montagem e transporte, permitindo revolucionar o ensino da disciplina Pontes.

Palavras chave: Ponte. Modelo digital. Impressão 3D.

Abstract

Subjects of engineering courses are structured to achieve a particular purpose. Each subject is in charge of teaching a set of techniques in theoretical and practical terms. Each of these techniques is presented and then applied to problems shown in the classroom. This study concerns a bridge model using 3D printer to approximate real world teaching and learning techniques. A bridge design was requested for DERSA that preferably had more than one constructive method, so a bridge design was given that is currently in execution and is part of the Rodoanel Mário Covas works, in São Paulo city, north part. The bridge is an access from the Rodoanel northern stretch to the interior direction of the state in Presidente Dutra

Highway. The received design was in digital files of CAD softwares with two-dimensional drawings that were transformed into three-dimensional drawings of all bridge parts. The threedimensional files were printed on 1:100 scale in 3D printer, resulting in a bridge with 2.51m long and a 9.10cm wide board. The printed pieces were joined with epoxi-type glue forming five boards and one of the bridge supports. The other pieces such as abutments and pillars, were printed in full. In this way, the reduced-scale model is easy to assembly and transport allowing to revolutionize the Bridges subject teaching.

Keywords: Bridge. Digital Model. 3D printing

1. INTRODUÇÃO

O presente estudo produziu um modelo físico tridimensional, em escala reduzida, de uma ponte, construída com métodos de balanços sucessivos, pré-moldagens e estruturas de cimbramento com moldagem *in loco*, em impressora 3D, demonstrando uma nova ferramenta de ensino da Engenharia.

A fabricação em impressoras 3D de maquetes digitais vem ganhando mais espaço, não só no mercado como também nas instituições de ensino. A impressão 3D pode facilitar a didática em todos os níveis da educação, desde o ensino fundamental até a pós-graduação.

Segundo Paulo Blikstein (FÁVERO, 2013a), a fabricação digital, por permitir que os alunos desenvolvam projetos complexos com conhecimento técnico limitado, aumenta o potencial de aprendizado dos mesmos, com isso, os conteúdos lecionados podem ser muito mais complexos e específicos.

Assim sendo, pode-se utilizar os projetos impressos em 3D para colocar em prática as ideias dos alunos, facilitando a maneira do professor ensinar e também aumentando o interesse do aluno pela disciplina.

A impressão de uma ponte 3D, em escala reduzida, permite a análise e a compreensão da dinâmica estrutural do projeto pelos alunos do curso de Engenharia Civil. O modelo 3D, do trabalho em questão, tornará a disciplina Pontes e Grandes Estruturas mais compreensível e o aprendizado muito mais agradável.

A utilização de um modelo físico real, de mesma proporção e características do projeto original, aproxima o aluno de graduação à realidade. As aulas podem ter uma didática mais dinâmica para a demonstração dos métodos de engenharia e para o entendimento do ensino, reduzindo as relações entre o ambiente estudantil e o ambiente de trabalho do Engenheiro Civil.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

O objetivo deste estudo é a impressão tridimensional de uma ponte, em escala reduzida, com a utilização de uma impressora 3D, para que seja usada como contribuição ao ensino da engenharia na disciplina de Pontes, da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

1.1.2. Objetivos específicos

Avaliar o modelo físico 3D de uma ponte como uma ferramenta de ensino e aprendizagem que possibilite reduzir a defasagem (*gap*) existente entre a evolução do conhecimento e a evolução dos recursos utilizados na educação.

Compreender o processo de transferência de dados entre o programa de modelagem tridimensional (softwares tipo CAD) e o software da impressora 3D;

A impressão do modelo reduzido da ponte permite avaliar este processo como uma nova ferramenta de ensino da engenharia, e analisar os benefícios e vantagens do uso da fabricação digital aplicada ao ensino e à construção civil;

A partir de um projeto de uma ponte, reproduz-se, em impressora 3D, um modelo físico tridimensional, com os métodos construtivos de balanços sucessivos, vigas pré-moldadas e concretagem *in loco* com cimbramento.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A Produção Enxuta (*Lean Manufacturing*) é uma tentativa de resgatar a qualidade dos processos e dos produtos, a partir da valorização das questões pertinentes aos clientes e ao mercado (BELHOT, 1997). Nesta perspectiva, Valente (1996, *apud* BELHOT, 1997) cita que as escolas de engenharia deveriam preparar o estudante para esse meio, passar a adotar o mesmo paradigma e reduzir as relações do ambiente industrial.

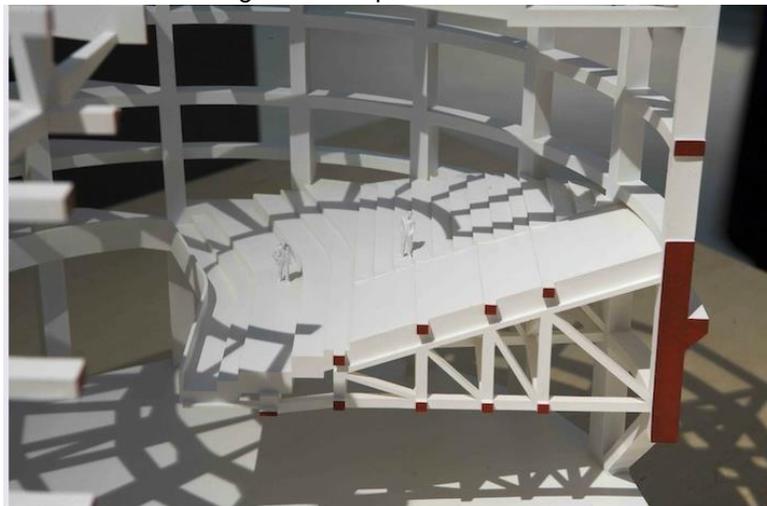
Esse estudo inclui a produção de uma maquete 3D em uma impressora digital para entendimento do método construtivo, das ligações entre elementos estruturais e do tipo de fundação. As figuras 1, 2 e 3 foram cedidas pela Pier Luigi Nervi Project Association, entidade criada para angariar fundos para a preservação das obras do renomado engenheiro-arquiteto italiano Pier Luigi Nervi (1891–1979), e mostram os projetos impressos em impressora 3D.

Figura 1: Maquete de centro de convenções



Fonte: Pier Luigi Nervi Project Association (1891-1979)

Figura 2: Maquete de estádio



Fonte: Pier Luigi Nervi Project Association (1891-1979)

Figura 3: Maquete de cobertura



Fonte: Pier Luigi Nervi Project Association (1891-1979)

Sempre houve consenso quanto à necessidade da adaptação dos sistemas educacionais ao momento em que a sociedade se apresenta em relação às mudanças socioeconômicas mundiais. Essa adaptação do modelo educacional vigente é justificada por características que são incorporadas à sociedade e ao mercado de trabalho. Como as instituições de ensino superior tornam-se o meio formal de prover à sociedade uma mão de obra especializada e capaz de satisfazê-la, essas adaptações tornam-se fundamentais para o progresso contínuo do desenvolvimento do processo de ensino e aprendizagem (MARCHETI, 2001).

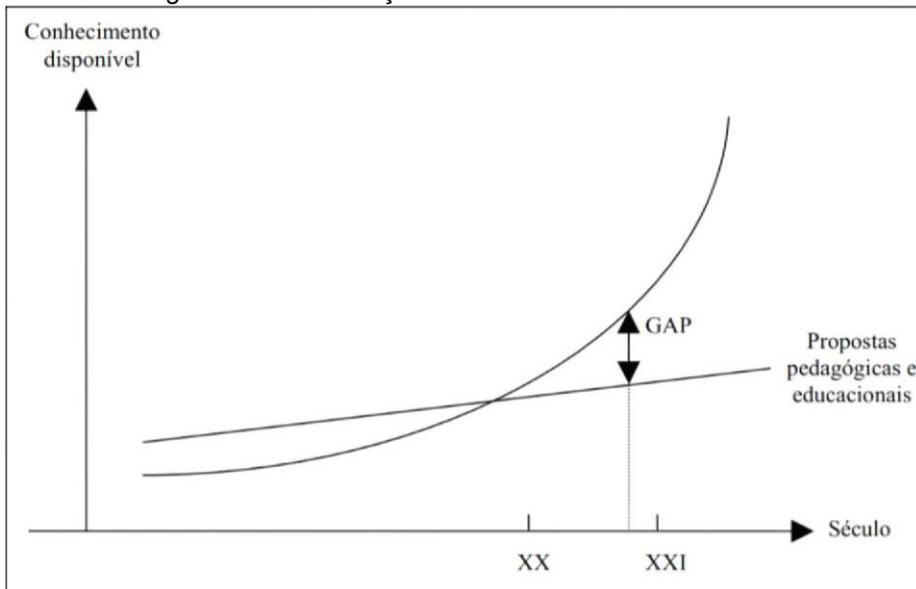
Ainda segundo Marcheti (2001), o processo de aprendizagem é natural, todas as pessoas aprendem todo o tempo no cotidiano. Quanto mais natural e confortável for a sensação de aquisição de conhecimento, maior será a possibilidade de sucesso no quesito criação de profissionais competentes, nas técnicas de ensino dos meios acadêmicos.

O jornal O Estado de São Paulo publicou em 18 de maio de 2010, na Internet, uma notícia sobre a evasão estudantil do ensino superior e citou a falta de sintonia entre a metodologia de ensino atual e os interesses de uma geração de pessoas conectadas e envolvidas com tecnologia. Uma pesquisa feita pelo Sindicato das Entidades Mantenedoras de Estabelecimentos de Ensino Superior no Estado de São Paulo (SEMESP) mostrou que houve recorde de evasão no curso superior privado no estado de São Paulo nos últimos oito anos. A evasão no ensino superior foi de 25,21% na região metropolitana e de 21,10% em todo o estado. Do ano 2000 até o ano de 2008 o aumento na evasão foi de 178,5%. A pesquisa também mostrou os motivos da evasão, que estão ligados à crise econômica, que são: razões financeiras, a concorrência entre as faculdades e, a mais importante para o presente trabalho, a distância entre as metodologias dos cursos e os interesses das novas gerações que estão ligados à tecnologia.

A ponte em questão irá reduzir a distância, comentada pelo jornal, existente entre as metodologias dos cursos e os interesses da nova geração, visto que ela trará uma nova forma de demonstrar o projeto de engenharia, através da visão do modelo físico em escala reduzida, da estrutura e de uma série de seções transversais, facilitando o entendimento da disciplina.

Belhot (1997) cita em sua tese de livre docência que, nos últimos trinta anos, a humanidade acumulou mais conhecimento que em toda a sua história. O conhecimento cresce a uma taxa exponencial, enquanto os modelos educacionais crescem em uma escala linear, criando um problema para absorver tanto conhecimento, como indicado no gráfico 1.

Gráfico 1: Defasagem entre a Evolução do Conhecimento e dos Recursos Utilizados na Educação



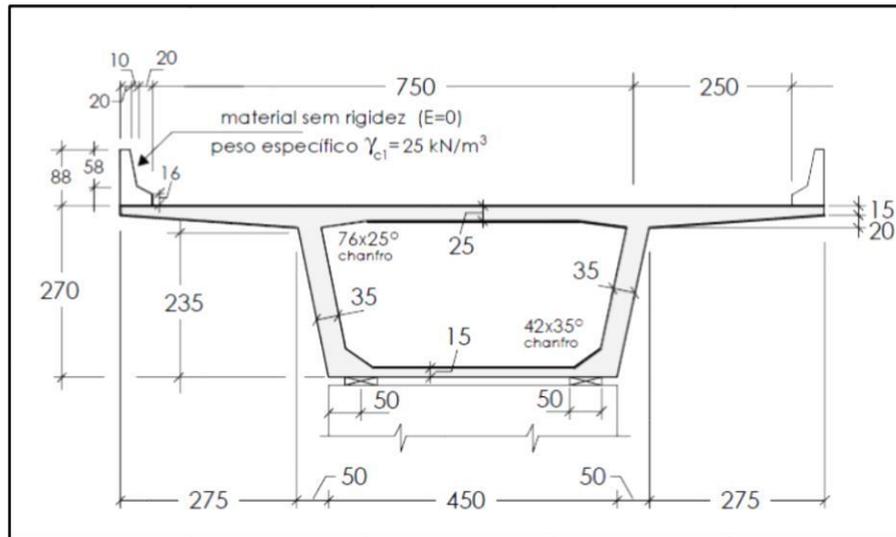
Fonte: BELHOT, 1997

Ainda segundo Belhot (1997), a partir dessa constatação algumas transformações são esperadas no campo de ensino da engenharia. O que pode ser feito para corrigir essa situação? Como resgatar a qualidade da educação? Assim como a produção em massa caminha para a produção enxuta, a educação também caminha para um novo modelo, que apesar de não ter recebido ainda um nome consensual, já conta com os pilares das mudanças.

3. CONSTRUÇÃO DO MODELO DA PONTE EM ESCALA REDUZIDA

Inicialmente, construiu-se, a partir de um software do tipo CAD, um projeto de uma seção transversal de uma ponte genérica, baseado em um projeto impresso de Seção transversal mostrado na figura 4. Após, gerou-se uma figura sólida da seção transversal, no próprio software CAD, seguindo as instruções do professor Alfonso Pappalardo Júnior. Essa figura em 3D (três dimensões espaciais) representa uma aduela da ponte.

Figura 4: Seção transversal de ponte em estrado celular



Fonte: Acervo pessoal do orientador

Foi realizada a transferência de dados de um projeto de uma ponte, em software CAD, para um formato compatível com o sistema da impressora 3D. Após gerada a figura sólida, iniciou-se o processo de impressão na impressora 3D. Os arquivos do software tipo CAD foram exportados para o formato .stl, que é o formato de arquivo digital lido pelo sistema das impressoras 3D, o qual é denominado litografia. O sistema da impressora faz o cálculo da quantidade de material e tempo necessários para a impressão do objeto.

A primeira aduela de teste impressa serviria para testar a maleabilidade do material polimérico (ABS-acrylonitrile butadiene styrene) do objeto impresso, sua resistência, a qualidade da impressão, os detalhes estéticos e o acabamento da peça. A quantidade de polímeros para a impressão em 3D da primeira aduela da ponte foi calculada em 68,7 gramas e o tempo necessário em torno de cinco horas e cinquenta e um minutos.

A impressora utilizada na aduela de teste é da marca Cubex e situa-se no laboratório da FAU Mackenzie (Faculdade de Arquitetura e Urbanismo Mackenzie), portanto, houve a necessidade de autorização do coordenador da FAU para a utilização do laboratório de prototipagem.

O processo de impressão da aduela de teste da ponte foi bem-sucedido e a réplica em 3D, como mostram as figuras 5 e 6, foi impressa em escala reduzida 1:100 e ficou pronta no horário programado pela impressora.

Figura 5: Modelo impresso em 3D da aduela teste da ponte.



Fonte: O autor

Figura 6: Modelo impresso em 3D da aduela teste da ponte em vista frontal



Fonte: o autor

A aduela teste impressa possui as dimensões de 11cm de largura, 3,58cm de altura e 10cm de comprimento. O polímero utilizado para a impressão mostrou-se capaz de produzir uma peça fidedigna com as dimensões do projeto, ou seja, a tecnologia 3D pode produzir peças com dimensões equivalentes ao projeto e com alta precisão.

Durante o processo de impressão do objeto, optou-se que o mesmo permanecesse internamente oco, para a economia de tempo de impressão e de material, observando que o enfoque do estudo não é testar a resistência das peças, mas sim demonstrar os processos construtivos de uma ponte, mostrados no modelo físico.

3.1. OBTENÇÃO DO PROJETO DA PONTE

Inicialmente, realizou-se o contato entre a UPM e a DERSA para a aquisição de um projeto de uma ponte que, preferencialmente, possuísse mais de um método construtivo, para que isso pudesse ser representado na impressão do modelo da ponte.

Posteriormente, organizou-se uma reunião na DERSA com a presença do engenheiro Rafael Prado Norcia, coordenador de projetos de engenharia, do autor e do orientador da presente pesquisa, onde foram apresentadas todas as fases executivas da obra de uma ponte contida no rodoanel, cujo projeto poderia ser fornecido e seus processos e métodos construtivos existentes no referido projeto.

A assessoria jurídica da DERSA orientou sobre a necessidade da assinatura de um termo de compromisso, referente ao sigilo do projeto cedido e à utilização dos dados apenas para fins de desenvolvimento científico e tecnológico. Com isso, lavrou-se um termo de compromisso, o qual foi assinado pelo autor do trabalho. Na ocasião foi recebido um CD contendo 21 arquivos, com extensão .dwg, do projeto de uma ponte que faz parte das obras do rodoanel da cidade de São Paulo, mais especificamente no trecho norte, tratando-se de uma ponte que permite o acesso dos veículos à rodovia Presidente Dutra.

3.2. DESCRIÇÃO DA PONTE

O projeto fornecido é de uma ponte cuja obra atualmente encontra-se em fase de construção e é parte do rodoanel trecho norte, constituindo um acesso à rodovia Presidente Dutra.

A ponte está posicionada no trajeto norte-sul e a saída dos veículos será na direção sudeste, ou seja, trata-se de uma ponte em curva que completa uma alça de acesso. São duas curvas sucessivas em sentidos contrários, a primeira é uma curva à direita onde o veículo sai do Rodoanel seguida por uma curva à esquerda para acesso à rodovia Presidente Dutra.

Nessa ponte encontram-se três métodos diferentes na execução de pontes, são eles: vigas pré-moldadas e içadas, moldagem de tabuleiro celular *in loco* e aduelas pré-moldadas e protendidas em balanços sucessivos.

A ponte é composta por dois encontros, cinco tabuleiros, cinco pilares, e 251,23m de comprimento. O primeiro tabuleiro, denominado tabuleiro 12, é composto por quatro vigas em perfil I, pré-moldadas com 40,23m de comprimento. Inicia no encontro E01 com 2,60%

de inclinação lateral à direita e termina com 0,77% de inclinação para o mesmo lado. O tabuleiro 13, com 41,00m de comprimento, possui seção típica caixa com altura constante de 2,50m. Para a construção foi utilizada a técnica de concretagem *in loco* com a fôrma apoiada sobre cimbramento, inicia com 0,77% de inclinação para a direita e termina com 3,18% de inclinação para a esquerda, pela mudança de direção da curva que ocorre neste tabuleiro. O tabuleiro 14, com 45,00m de comprimento, possui seção típica caixa com altura variável de forma crescente de 2,50m a 5,00m. Para sua construção foi utilizada a técnica de concretagem *in loco*, com a fôrma apoiada sobre cimbramento com contrapeso interno. Inicia com 3,18% de inclinação para a esquerda e termina com 4,00% para o mesmo lado, essa inclinação é constante a partir deste tabuleiro, dado que é onde inicia a curva à esquerda com raio de 153,50m. O tabuleiro 15, com 80,00m de comprimento possui seção típica caixa com altura de 5,00m em sua extremidade inicial, variando de forma decrescente até o centro onde possui altura de 2,50m, a partir desse ponto varia de forma crescente até novamente a 5,00m de altura em sua extremidade final. Para sua construção foi utilizada a técnica de aduelas moldadas *in loco*, por fôrmas que são movimentadas e montadas com a utilização de treliça metálica e, posteriormente, sendo protendidas em balanço sucessivo da extremidade para o centro. Esta técnica foi utilizada pelo fato desse tabuleiro passar por sobre a rodovia Presidente Dutra, fato que impossibilitou a construção de cimbramentos por sobre a rodovia. A execução das aduelas em balanços sucessivos da extremidade para o centro foi viabilizada pela prévia execução de contrapesos internos aos caixões dos tabuleiros 14 e 16 (anterior e posterior). Essa é uma técnica incomum para construções em balanços sucessivos, porém foi empregada para aumento da velocidade da execução da obra e consequente ganho de tempo para a entrega da mesma. A maneira mais comumente utilizada seria protender as aduelas simetricamente para ambos os lados de cada pilar que se apoia esse tabuleiro 15. Desta forma, este método seria empregado também nos tabuleiros 14 e 16 completando os balanços, fato que demandaria mais tempo para a execução. O tabuleiro 15 foi construído com inclinação constante à esquerda de 4,00%, desenvolvendo curva à esquerda com raio de 153,50m. O tabuleiro 16, com 45,00m de comprimento, possui seção típica caixa com altura variável de forma decrescente de 5,00m a 2,50m. Para sua construção foi utilizada a técnica de concretagem *in loco*, com a fôrma apoiada sobre cimbramento com contrapeso interno, também possui inclinação constante à esquerda de 4,00% desenvolvendo curva à esquerda com raio de 153,50m, apoiando no encontro E02. Para apoiar os tabuleiros 12 e 13 foram construídos dois pilares que são o prolongamento do fuste de dois tubulões com diâmetro de 1,40m. Sobre os pilares construiu-se uma travessa de concreto para a transferência do carregamento dos tabuleiros para os pilares citados. O conjunto formado pela travessa citada e os dois pilares foi chamado de Apoio 12. Entre os tabuleiros 13 e 14 foi construído um pilar denominado P13, de seção

retangular vazada, com dimensões de 2,00m x 5,50m, cujo espessura da parede é de 0,25m, sendo construído sobre um bloco de coroamento que une dois tubulões. Para apoiar os tabuleiros 14 e 15 foi também construído um pilar denominado P14, de seção retangular vazada, com dimensões de 1,50m x 5,50m, cujo espessura da parede é de 0,25m, sendo construído sobre um bloco de coroamento que une um conjunto de seis tubulões. E, para o apoio dos tabuleiros 15 e 16 foi construído um pilar P15 similar ao anterior, de seção retangular vazada, com dimensões de 1,50m x 5,50m, cujo espessura da parede é de 0,25m, sendo construído sobre um bloco de coroamento que une um conjunto de seis tubulões.

3.3. GERAÇÃO DO MODELO TRIDIMENSIONAL

Foi cedido pela DERSA o projeto de uma ponte que pertence ao rodoanel, trecho norte do rodoanel da cidade de São Paulo, e que está atualmente em execução, fica posicionada no trajeto norte-sul, permite o acesso dos veículos que trafegam no rodoanel à rodovia Presidente Dutra sentido interior.

O projeto adquirido pela DERSA já era digitalizado em formato .dwg, então, optou-se por continuar utilizando um software do tipo CAD para gerar o sólido tridimensional da ponte.

Inicialmente escolheu-se a curva do tabuleiro 15 que estava no arquivo que continha a planta da superestrutura do tabuleiro e a locação das seções 22 a 40, por se tratar de uma estrutura em curva, inclinação e superelevação que seria, possivelmente, a etapa de maior dificuldade, contudo, no decorrer do estudo, a etapa de maior dificuldade foi a do tabuleiro 13.

O arquivo da planta do tabuleiro 15 fornecia a tabela do projeto com as especificações de formato, dimensões e inclinações das vinte seções desse tabuleiro e oito seções já desenhadas no projeto, com isso, foram desenhadas as doze seções restantes.

Com todos os vinte desenhos das seções já finalizados, iniciando pelo desenho da seção 22, foi removida a hachura e deixado somente o contorno. Os polígonos do contorno da seção foram transformados em regiões no software AutoCAD e estas posicionadas com a devida inclinação da curva, que nesse trecho é constante de 4,00%, e foi criado, então, um ponto de referência para o alinhamento das regiões na devida inclinação da curva. Tendo todas as seções já alinhadas e posicionadas foram transformadas em um sólido. Inicialmente, se fez o sólido interno que é onde o tabuleiro é vazado e, posteriormente, fez-se o sólido da parte externa do tabuleiro, com isso, fez-se a subtração dos dois sólidos, removendo a parte interna do tabuleiro e deixando o mesmo vazado. Com o tabuleiro finalizado, idêntico a realidade, foi seccionado em dezenove aduelas iguais às aduelas físicas. Ajustou-se a escala para que as aduelas a serem impressas coubessem na

impressora 3D e foram exportadas em dezenove arquivos separadamente na extensão .stl para que fossem entregues ao laboratório para a impressão. Deste modo, finalizou-se o tabuleiro 15 que é executado por aduelas em balanços sucessivos.

Os projetos dos tabuleiros 13, 14 e 16, que também possuem seção caixão, porém, serão executados por concretagem *in loco*, foram transformados em sólidos digitais pelo mesmo processo utilizado no tabuleiro 15. Os tabuleiros foram subdivididos em quatro partes que resultaram em frações de 10,25m a 11,25m para que o sólido impresso permanecesse pouco maior que 10 cm de altura para facilitar a impressão 3D.

O tabuleiro 13 mostrou ser o de maior dificuldade em comparação aos demais, por conta da variação da inclinação das seções transversais, já que resultou em um sólido digital retorcido, com inclinações transversais que variam ao longo do seu eixo longitudinal. As regiões criadas a partir das seções transversais inclinadas foram interligadas de maneira constantemente variada, criando um sólido digital com variação de inclinação transversal ao longo do eixo longitudinal, construindo, desta forma, a mudança de direção da curva do veículo que ocorre nesse tabuleiro.

A criação do sólido digital do tabuleiro 12 foi realizada em menor tempo que os demais tabuleiros. Esse tabuleiro é composto por quatro vigas I, cujas seções das vigas já estavam desenhadas no projeto. Os polígonos do contorno dessas seções foram unidos ao contorno da laje e transformados em regiões no software, que interligadas geraram o sólido digital correspondente à seção transversal do tabuleiro 12. O tabuleiro foi subdividido em quatro partes que resultaram em frações de 10,06m para facilitar o processo da impressão 3D.

Os projetos das demais partes da ponte foram transformados em sólidos digitais pelo mesmo processo utilizado nos tabuleiros. As demais partes são: Pilares P13, P14 e P15 e seus respectivos blocos de fundação, apoio 12, composto por dois tubulões prolongados por uma travessa central, e pelos encontros E01 e E02.

3.4. TRANSIÇÃO DOS ARQUIVOS DIGITAIS DE SOFTWARE TIPO CAD PARA ARQUIVOS DE IMPRESSORAS 3D

Todos os sólidos digitais gerados no software do tipo CAD foram salvos na extensão .dwg, que é a padrão de desenhos desse tipo de software. Esses arquivos foram exportados separadamente na extensão .stl, que é a extensão padrão lida pelo software das impressoras 3D.

3.5. IMPRESSÃO DO MODELO TRIDIMENSIONAL

O modelo impresso reproduz as técnicas construtivas da ponte e a sua impressão foi dividida para que pudesse manter a fidelidade com o projeto real. No tabuleiro 15, as aduelas foram impressas uma a uma, para que no processo de colagem fosse possível distinguir a junção das mesmas. Nas partes constituídas de vigas pré-moldadas, tabuleiro 12, e no estrado celular, tabuleiros 13, 14 e 16, a impressão foi dividida de acordo com as medidas compatíveis com o espaço de impressão da impressora, e de acordo com as recomendações dos técnicos de laboratório, pela experiência de trabalho com a impressão 3D.

Para que não houvessem problemas na impressão das peças, foi sugerido que elas não ultrapassem dez centímetros de altura, assim, a impressora poderia trabalhar com mais eficiência e sem correr riscos de danos ou falhas na peça durante o processo de impressão.

A escolha do material da impressão da ponte foi realizada a partir da impressão da aduela teste, em que foi utilizado o polímero ABS, que possui alta temperatura de impressão e demanda ambiente controlado para que o acabamento final da peça impressa seja uniforme. Para a impressão do modelo foi escolhido o polímero PLA, por possuir temperatura de impressão mais baixa e melhor acabamento final.

A marca da Impressora utilizada é Felix Printer e está localizada no laboratório de prototipagem da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo Mackenzie.

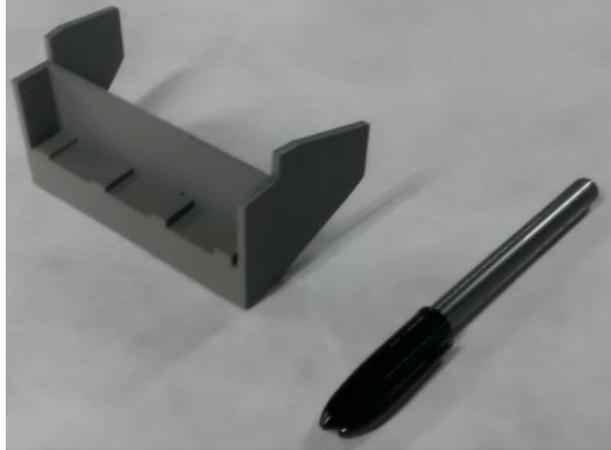
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este estudo conduziu a construção de uma ponte em escala 1:100, em polímero PLA, com a utilização de uma impressora 3D.

A ponte foi impressa seguindo a mesma sequência construtiva da ponte em concreto. As figuras a seguir mostram as peças da ponte impressa no sentido do rodoanel para a rodovia Presidente Dutra.

A figura 7 mostra o encontro E01 impresso que está na extremidade de ligação ao rodoanel.

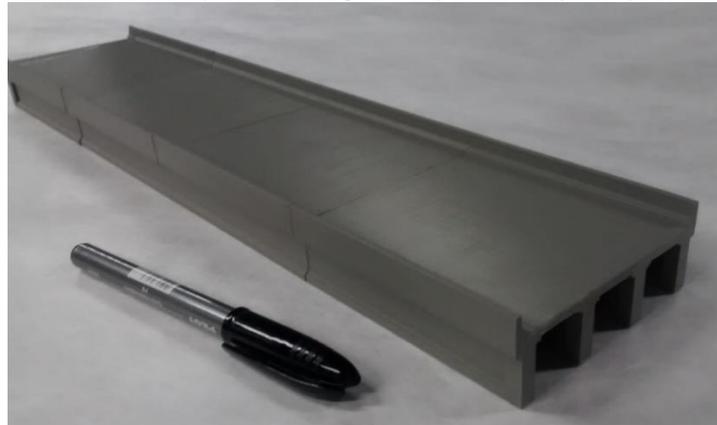
Figura 7: Encontro E01 que recebe o tabuleiro 12.



Fonte: O autor.

A figura 8 mostra o tabuleiro 12 que está apoiado no encontro E01 e no pilar P12.

Figura 8: Tabuleiro 12 composto por vigas em perfil I e laje da pista de rolamento.



Fonte: O autor.

A figura 9 mostra o apoio 12 com sua respectiva fundação.

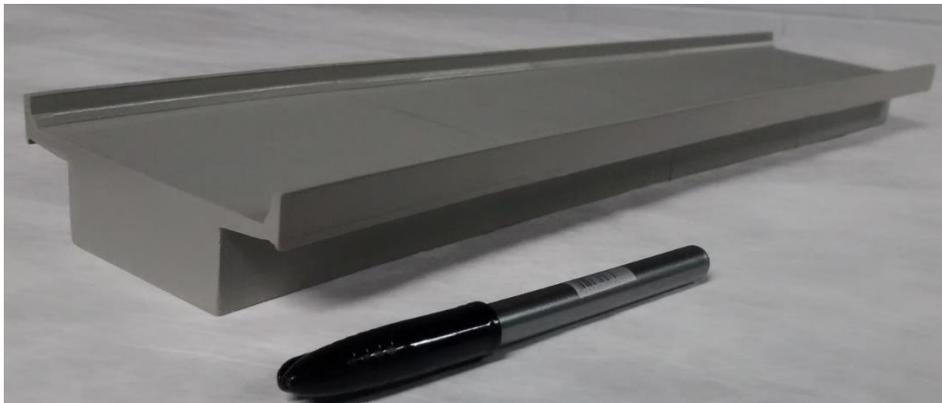
Figura 9: Apoio 12 composto por travessa e tubulões.



Fonte: O autor.

A figura 10 mostra o tabuleiro 13 que está apoiado no apoio 12 e pilar P13.

Figura 10: Tabuleiro 13 composto por seção caixão de altura constante.



Fonte: O autor.

A figura 11 mostra o pilar 13 e o bloco de coroamento.

Figura 11: Pilar P13 e bloco de coroamento.



Fonte: O autor.

A figura 12 mostra o tabuleiro 14 que está apoiado no pilar P13 e pilar P14.

Figura 12: Tabuleiro 14 composto por seção caixão de altura variável.



Fonte: O autor.

A figura 13 mostra o pilar P14 e o bloco de coroamento.

Figura 13: pilar P14 e o bloco de coroamento.



Fonte: O autor.

A figura 14 mostra o tabuleiro 15 que está apoiado no pilar P14 e pilar P15.

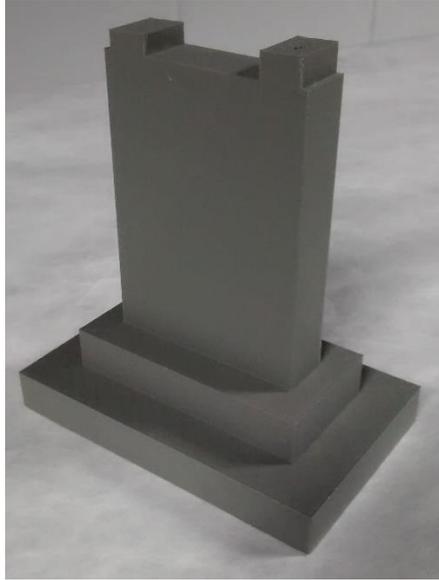
Figura 14: Tabuleiro 14 composto por seção caixão impresso em aduelas.



Fonte: O autor.

A figura 15 mostra o pilar P15 e o bloco de coroamento.

Figura 15: pilar P15 e o bloco de coroamento.



Fonte: O autor.

A figura 16 mostra o tabuleiro 16 que está apoiado no pilar P15 e no encontro E02.

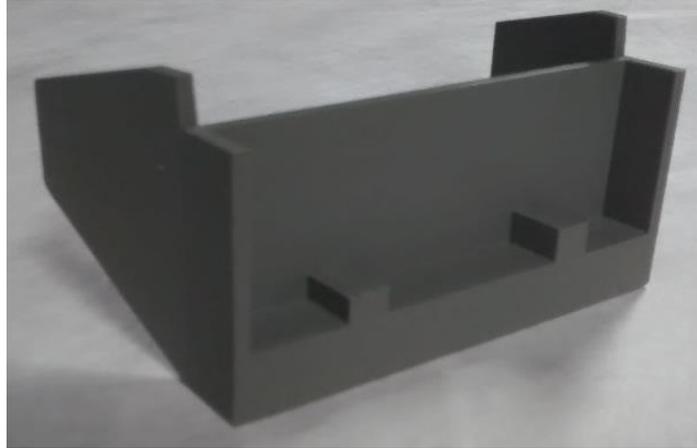
Figura 16: Tabuleiro 16 composto por seção caixão de altura variável.



Fonte: O autor.

A figura 17 mostra o encontro E02 que está na extremidade de ligação a rodovia Presidente Dutra.

Figura 17: encontro E02 que recebe o tabuleiro 16.



Fonte: O autor.

A figura 18 mostra a ponte montada sobre uma mesa.

Figura 18: Ponte impressa montada.



Fonte: O autor.

A figura 19 mostra a ponte montada sobre uma mesa

Figura 19: Ponte impressa montada.



Fonte: O autor.

O modelo fabricado mostrou-se uma excelente ferramenta didática por tratar-se de um material resistente e leve, tornando o modelo de fácil manuseio. A cor do polímero escolhida foi *concret gray* intencionalmente, já que, apesar do objetivo não ser construir uma maquete e sim um modelo com dimensões em perfeita escala, a cor cinza concreto propiciou o excelente efeito visual.

As peças impressas foram unidas com cola epóxi formando cada tabuleiro da ponte, desse modo, o modelo pode ser montado ficando com 2,51m de comprimento. A pista de rodagem ficou com 9,10cm de largura e os encontros com 11,42cm de largura. Foram preparados suportes em isopor produzindo as cotas do perfil do terreno onde a ponte será construída no trecho do rodoanel de São Paulo. Propositadamente, nenhum acabamento foi feito nos suportes de isopor para destacar o modelo impresso em escala reduzida, permitindo visualizar antecipadamente a ponte que será construída. Com isso, espera-se a continuação de estudos e análises nesse modelo construído, uma vez que esse PIBIC foi realizado com o objetivo de avaliar este modelo fabricado como ferramenta de ensino da engenharia, entretanto, ao observar a perfeição da ponte em escala reduzida, certamente novas finalidades serão vislumbradas. Acredita-se, por exemplo, que a fabricação de modelos em 3D servirá como estudo para um projeto de um possível cliente, ou como apresentação de uma nova obra proposta a uma entidade governamental.

O modelo de ponte fabricado foi apresentado ao professor Aiello Giuseppe Antônio Neto da UPM, professor e chefe da disciplina de Pontes, que aprovou a sua utilização em

sala de aula para que os alunos possam manipular o modelo com cada parte da ponte separadamente. Compreender os diferentes métodos construtivos, uma vez que o modelo possui três diferentes métodos como: vigas pré-moldadas, seção caixão moldadas *in loco* e aduelas em balaços sucessivos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu a construção de um modelo digital, em escala reduzida, e a avaliação desse modelo como ferramenta de uma nova técnica de ensino e aprendizagem, que possibilitou a aproximação de novas tecnologias ao aluno de engenharia, reduzindo a defasagem existente entre a evolução do conhecimento e a evolução dos recursos utilizados na educação. A avaliação feita pelo professor Aiello Giuseppe Antônio Neto da UPM foi positiva, visto que o modelo é autoexplicativo para que os alunos de engenharia da disciplina de Pontes compreendam com maior facilidade todas as etapas de execução e as finalidades de cada parte de uma ponte. A continuação desse estudo é necessária, para que futuras pesquisas possam demonstrar detalhadamente o passo a passo das etapas de execução de uma obra de engenharia com esta magnitude e importância.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELHOT, R. V. (1997). **Reflexões e propostas sobre o “ensinar engenharia” para o século XXI**. São Carlos, 1997. 113p. Tese (Livre Docência). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

FAVERO, B. ‘Fabricação digital’ é a revolução tão importante quanto os PCs, diz brasileiro em Stanford. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 16 dez. 2013a. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/tec/2013/12/1386314-fabricacao-digital-e-revolucao-taoimportante-quanto-pcs-diz-brasileiro-em-stanford.shtml>>. Acesso em: 8 set. 2013.

MARCHETI, A. P. C. Aula Expositiva, Seminário e Projeto no Ensino da Engenharia: Um estudo Exploratório Utilizando a teoria das Inteligência Múltiplas. São Carlos-SP, 2001; 179p. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.

MATÉRIA ONLINE DE O ESTADO DE SÃO PAULO, publicada em 18/05/2010, visualizada dia 30/08/2014 as 19:43 em <http://ultimosegundo.ig.com.br/educacao/evasao-defaculdades-privadas-em-sp-bate-recorde/n1237623930431.html>.

VALENTE, J. A. **Ensinando engenharia através do fazer engenharia.** 1996. NIED – UNICAMP, Relatório Técnico.

Contatos: vitorgaliano95@gmail.com e alfonso.pappalardo@mackenzie.br