



ASSOCIAÇÃO DOS PROFESSORES DE
DESENHO E GEOMETRIA DESCRITIVA



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA
DE EXPRESSÃO GRÁFICA

GEOMETRIAS & GRAPHICA 2015 PROCEEDINGS VOLUME 2

PROCEEDINGS OF THE
III APROGED'S INTERNATIONAL CONFERENCE
&
XI INTERNATIONAL CONFERENCE ON
GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN

1,2,3 . OUTUBRO | OCTOBER. 2015
UNIVERSIDADE LUSÍADA DE LISBOA



PROJETO E EXECUÇÃO DE MODELAGEM PARA FABRICAÇÃO DIGITAL: APLICAÇÃO EM REPRESENTAÇÃO DE PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO

VALENTINA TOALDO BRUM

Universidade Federal de Pelotas, Brasil (valentinatbrum@hotmail.com)

LUISA FÉLIX DALLA VECCHIA

Universidade Federal de Pelotas, Brasil (luisafelixd@gmail.com)

LARISSA PEDERZOLLI

Universidade Federal de Pelotas, Brasil (lmpederzolli@gmail.com)

ADRIANE BORDA

Universidade Federal de Pelotas, Brasil (adribord@hotmail.com)

ABSTRACT

This paper reports the production of physical models of an element of architectural heritage: the first water reservoir of the city of Pelotas, Brazil. The models aim to support educational actions in order to valorize this heritage and develop skills on digital fabrication techniques. The study started with an analysis and observation of formal and constructive logic element, followed by the production of the projects of models. In parallel, there was a stage of appropriation of technologies and 3D printing. The execution, experimentation and validation relied on partnership with educational and cultural public institutions. Two types of models were executed and are presently being experimented. By using laser cutting as conceptual model, a playful aspect is added to the educational purpose of formal recognizing and the development of spatial skills and through 3D printing, a model that aims to reproduce formal details of represented Architecture. The documentation of this heritage interest is added to the purpose of valuation through visual and tactile contemplation, extending the possibilities of broadcasting and cultural inclusion.

KEYWORDS: Digital Fabrication, Laser Cutting, 3D Printing, Architectural Heritage.

RESUMO

Este trabalho relata o projeto e execução de maquetes de uma Arquitetura de interesse patrimonial: o primeiro reservatório d'água da cidade de Pelotas, Brasil. As representações objetivam apoiar ações educativas, de valorização deste patrimônio,



e promover a apropriação de tecnologias de fabricação digital. Parte-se da análise e observação da lógica formal e construtiva do elemento, seguidas da realização dos projetos dos modelos. Paralelamente, considera-se a apropriação das tecnologias de corte a *laser* e impressão. A execução, experimentação e validação contam com a parceria com instituições públicas educativas e culturais. Foram executados, e estão em experimentação, dois tipos de modelos. Utilizando-se do corte a *laser*, um modelo conceitual. O aspecto lúdico é adicionado ao propósito educativo de reconhecimento formal e desenvolvimento das habilidades espaciais. Utilizando-se da impressão 3D, um modelo buscando reproduzir detalhes formais da Arquitetura representada. O interesse de documentação é adicionado ao propósito de valorização pela contemplação visual e tátil, ampliando possibilidades de difusão e inclusão culturais. PALAVRAS-CHAVE: Fabricação Digital, Corte a *Laser*, Impressão 3D, Patrimônio Histórico.

O PROBLEMA TRATADO

A representação de obras de interesse patrimonial, no contexto de ensino/aprendizagem de representação gráfica e digital, que envolve este trabalho, tem sido intensificada a partir da formalização de uma parceria entre a universidade (Universidade Federal de Pelotas) e a administração municipal (Secretaria de Desenvolvimento Econômico e Turismo da Prefeitura Municipal de Pelotas)¹. Esta parceria tem aliado os interesses formativos na área de representação e Arquitetura com os interesses públicos de educação e difusão de patrimônio.

O caso relatado neste trabalho é o de representação, através de modelos físicos produzidos a partir de fabricação digital, do Reservatório R1, localizado na Praça Piratinino de Almeida, na cidade de Pelotas. Este reservatório é sustentado por uma estrutura em ferro, composta por peças pré-fabricadas, e é ornamentado com consoles, grades, molduras e arcos em ferro fundido. Apresenta planta circular, volume cilíndrico e capacidade para 1500 m³ de água. Na parte superior destaca-se um torreão, com acesso através de uma escada helicoidal, que se destinava ao passeio público da época, caracterizando-se como um mirante.

A Fig. 1 ilustra o monumento, vindo da Escócia e erguido em 1875. É um dos quatro bens tombados da cidade de Pelotas pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), do Ministério da Cultura. Destaca-se que na imagem da esquerda da figura, uma fotografia de 1912, havia a possibilidade de visualizar o torreão.

¹ Disponível em <http://ccs2.ufpel.edu.br/wp/2014/05/12/patrimonio-arquitetonico-de-pelotas-sera-representado-por-modelos-virtuais-desenvolvidos-pela-ufpel/>



Fig. 1 - Reservatório R1, à esquerda, cartão postal da época e à direita, atualmente.
Fonte: SANEP [1].

Este era o cartão postal do monumento. Atualmente, a vegetação de grande porte encobre as visuais, tendo-se a hipótese de que haja um desconhecimento, por muitos, da existência deste elemento que tanto qualifica tal Arquitetura. A imagem da direita tem-se estabelecido como cartão postal atual. Poucos moradores, residentes em edifícios em altura do entorno da Praça Piratinino de Almeida, têm o privilégio de contemplar o torreão.

O Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas, SANEP, buscando preservar e divulgar a história de Pelotas, tem investido em ações para a implantação do Museu e Espaço Cultural do Saneamento. Neste contexto, as representações desenvolvidas no âmbito deste trabalho respondem a esta demanda, sendo este reservatório um testemunho de uma história de 140 anos de um sistema de abastecimento. Com o objetivo de uso e emprego dos modelos físicos como apoio às ações de educação patrimonial, dirigidas especialmente aos públicos escolares, considerou-se a necessidade de atribuir, por um lado, um caráter lúdico e, por outro, de acessibilidade. Desta maneira, buscando promover o interesse e a curiosidade pelo objeto representado, partiu-se do propósito de constituir modelos para montar e desmontar, permitindo assim a interatividade. E, que considerasse também a possibilidade de representação correspondente ao máximo com a geometria envolvida. Entretanto, partiu-se de uma infraestrutura tecnológica predeterminada para a produção dos modelos e dirigida para o interesse formativo em processos de fabricação digital. As tecnologias utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho referem-se a uma cortadora a *laser*, com área de corte de 500mm x 800mm, a qual possibilita o corte de acrílico, mdf e variados tipos de papel e a uma impressora 3D,



com área de impressão de 180mm x 180mm x 100mm, possibilitando a geração de modelos por deposição de material fundido (FDM).

Desta maneira, os estudos centraram-se em dois métodos de produção de peças modeladas digitalmente: o subtrativo, com o uso da cortadora a *laser*, e o aditivo, com o uso da impressora 3D. O corte a *laser* é classificado de acordo com Celani e Pupo [2, p. 32], como um equipamento subtrativo, no que se refere à maneira com que os objetos são produzidos e de duas dimensões quanto ao número de eixos que se movimenta. Já a impressão 3D é classificada segundo Celani e Pupo [2, p. 32] como aditiva, no que se refere à maneira com que os objetos são produzidos e de três dimensões, quanto ao número de eixos em que se movimenta.

O MÉTODO DE ESTUDO EMPREGADO

Este estudo dá prosseguimento ao método adotado junto ao Projeto MODELA Pelotas [3, p. 314]. Este Projeto adota a Arquitetura de interesse patrimonial da cidade de Pelotas como objeto de estudo para a promoção de processos de ensino aprendizagem que integram as áreas de geometria, representação gráfica (e digital) e projeto de Arquitetura. A investigação está dirigida à construção de conhecimento sobre o patrimônio, valendo-se exatamente de tal integração e da exploração das tecnologias digitais como potencializadoras do processo. O estudo de representação do Reservatório em questão, busca incrementar os resultados de tal projeto, caracterizando-se como um trabalho exploratório, que parte da experiência concreta de sua representação em um processo de apropriação das tecnologias de fabricação digital. No contexto trabalhado os processos de modelagem digital tridimensional estavam estabelecidos especialmente para a representação da forma e da aparência de objetos em realidade virtual e realidade aumentada. As possibilidades de fabricação digital, por decorrência da aquisição de equipamentos para tal, têm impulsionado a revisão dos métodos até então empregados. Frente a isto, este trabalho também se caracteriza por um estudo de caso, sob uma abordagem tecnológica, de uso de um modelo digital previamente executado e da análise e experimentação para ser empregado em processos de fabricação digital.

Desta maneira, além de prosseguir com a mesma dinâmica do projeto em que se insere, de desenvolver uma etapa de análise, a qual permite efetivamente construir conhecimento sobre a forma, identificar seus princípios estéticos, e compreender o sistema construtivo e lógicas de montagem utilizados para erguer o patrimônio em questão, o estudo tem sua particularidade: a de ampliar o repertório tecnológico utilizado junto ao contexto referido.



Respondendo a esta especificidade tecnológica, foram então adicionadas etapas de trabalho. Uma delas, de análise do modelo digital já existente; outra relativa ao desenvolvimento do projeto do modelo para a impressão 3D e de adequação do modelo virtual para a execução de tal projeto; ainda outra, com o mesmo propósito, mas relativa ao projeto e execução do modelo para o uso da tecnologia de corte a *laser*. A etapa de experimentação dos modelos inclui o uso em uma instituição museológica e com estudantes de escolas públicas, especialmente municipais devido ao acordo com a administração municipal, mencionado anteriormente.

Paralelamente aos experimentos configura-se a etapa de análise e reformulação dos modelos, buscando aprimorar o processo, especialmente detectando possíveis necessidades de adequação dos projetos para diferentes faixas etárias e públicos. Por fim, o método compreende o processo de avaliação e publicação dos resultados.

ANTECEDENTES DO MODELO

O modelo digital preexistente foi realizado a partir da documentação arquitetônica do reservatório, em formato digital, como plantas, cortes e vistas ortogonais, cedida pela Prefeitura. O modelo digital tridimensional foi desenvolvido no *software Rhinoceros*, como atividade didática de disciplina do Curso de Especialização em Gráfica Digital da UFPel, em 2014. O modelo, ilustrado na Fig. 2, não incluiu a representação

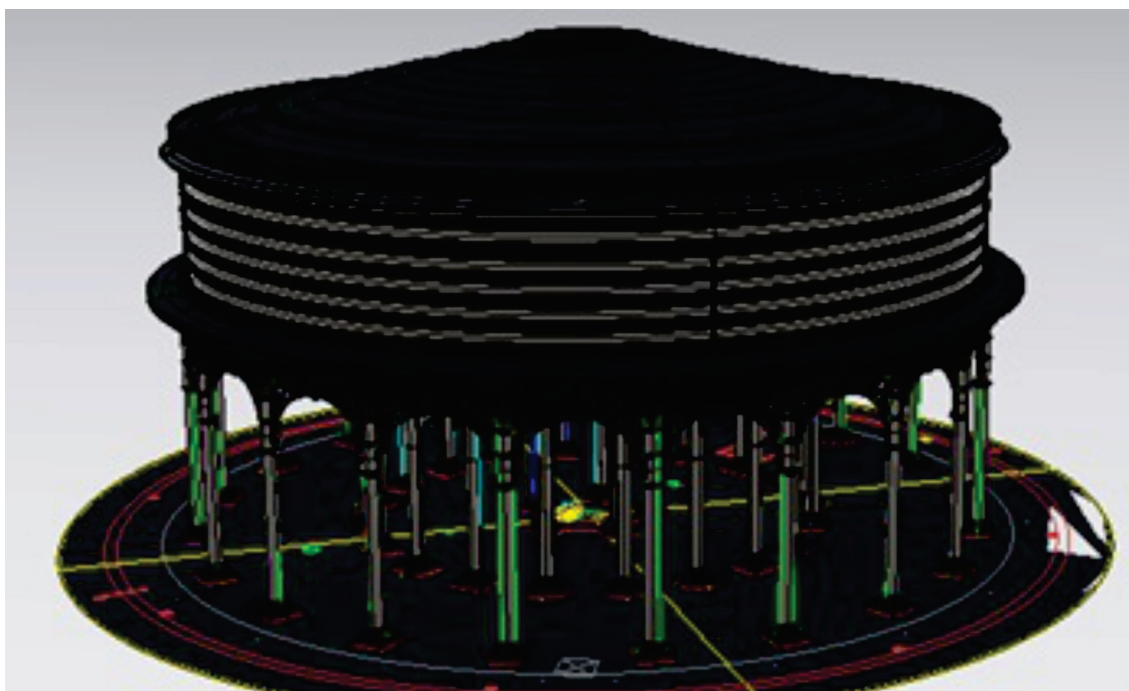


Fig. 2 - Modelo digital tridimensional do reservatório desenvolvido pelo Arq. Juarez Parode, estudante da turma de 2014 do Curso de Especialização em Gráfica Digital, UFPel.

Fonte: Acervo do Curso de Especialização em Gráfica Digital, UFPel.



do torreão e da escada em caracol. A representação do torreão do reservatório foi desenvolvida através do *software Rhinoceros*. O modelo foi construído a partir da representação de um único módulo, tendo-se em vista que sua estrutura se constitui por uma simetria radial de dez destes módulos. As técnicas empregadas para a geração de cada um dos elementos que compõem este módulo, fundamentalmente, foram a extrusão e a rotação.

Os testes com impressão 3D, até o momento, foram realizados com o modelo do torreão referido anteriormente. A tecnologia empregue disponibiliza uma ferramenta de análise da compatibilidade do modelo digital, o *software NetFabb*, a qual demonstra visualmente as áreas do modelo que devem ser revisadas. Foram detectadas falhas no modelo realizado, identificadas pelas áreas em vermelho, conforme ilustradas na Fig. 4.

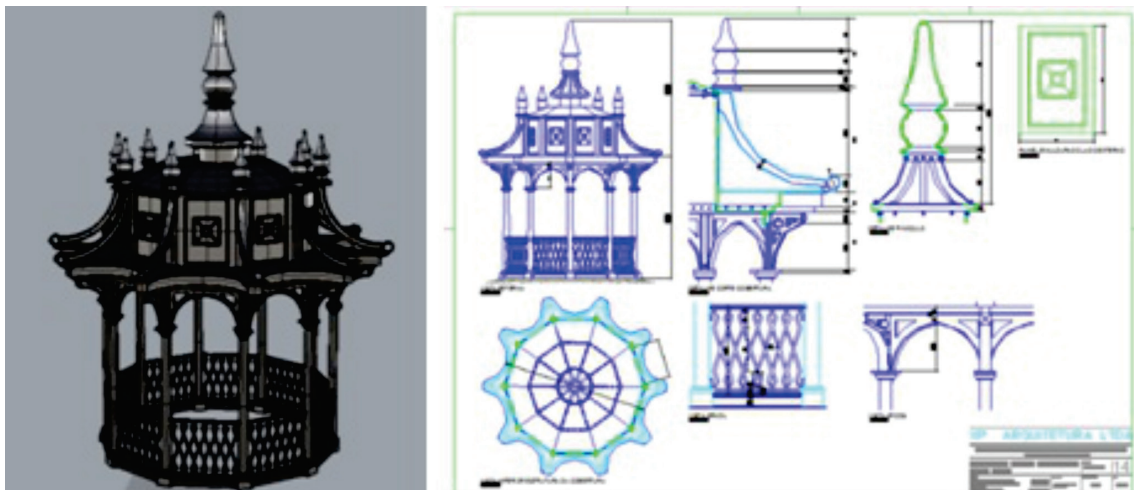


Fig. 3 - À esquerda, modelagem tridimensional do torreão do reservatório. À direita, projeções ortogonais do conjunto e das partes do modelo. Fonte: autoras.

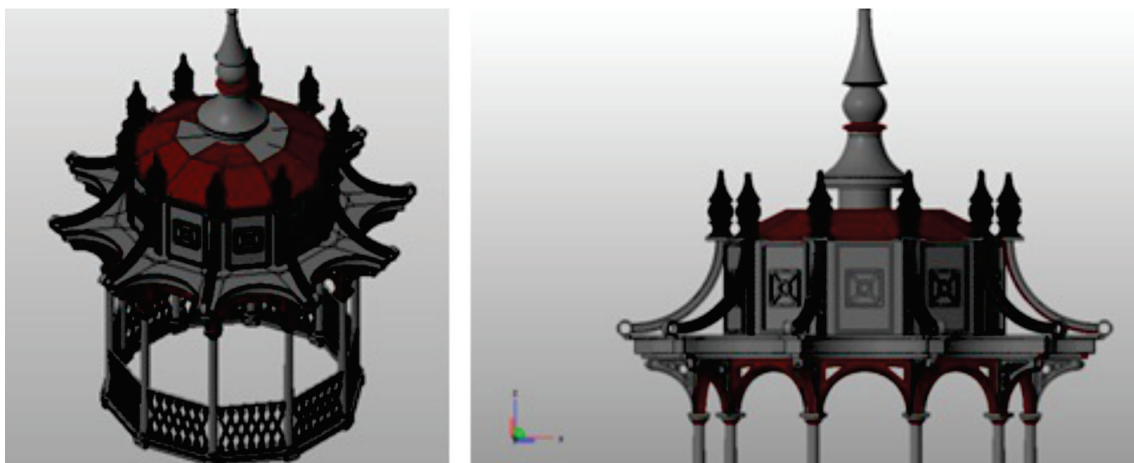


Fig. 4 - Falhas detectadas nos modelos.
Fonte: autoras.



As falhas no modelo foram causadas tanto pela inexperience no uso do *software* quanto pelo desconhecimento dos pré-requisitos para compatibilidade com a impressão 3D, como evitar a geração de geometrias sobrepostas, redução do número de faces que delimitam o modelo e construção de um modelo sem a presença de fendas. Houve maior atenção à representação dos detalhes formais que à otimização do modelo.

PROCESSO DE ADEQUAÇÃO DO MODELO PARA A IMPRESSÃO 3D

Em decorrência dos problemas encontrados para a impressão, o modelo do torreão foi refeito. Foram consideradas as hipóteses citadas em Veiga *et al.* [4, p. 2] sobre as causas de geração de problemas, tais como: a mescla com elementos geométricos importados de outros *software* e elementos gerados a partir de técnicas de cópias. A geometria do torreão foi simplificada e dividida em partes, conforme a Fig. 5. Esta divisão foi conveniente para que o modelo resultante pudesse ser feito em uma escala maior que se fosse impresso como uma única peça, tendo em vista o tamanho máximo de volume de impressão de 180mm x 180mm x 100mm. A caracterização das partes seguiu também a conveniência do processo de impressão em relação à forma de cada parte. A impressão das grades de guarda corpo (imagem à direita da Fig. 5), por exemplo, só foi realizada adequadamente quando se utilizou uma lógica inversa dos demais elementos. Elas foram impressas deitadas sobre a mesa de impressão (na horizontal), enquanto que o resto do modelo foi impresso em sua posição correspondente com a realidade.

A Fig. 6 apresenta um modelo do torreão, produzido por impressão 3D, a partir de filamento de PLA (Poliácido Láctico), material biodegradável, produzido a partir de fontes naturais. A dimensão final do sólido envolvente do modelo do torreão foi de 120,35mm x 125,75mm x 178mm. O limite obtido foi quanto a dimensão radial do modelo, para que não fosse realizada a impressão em gomos isolados. Desta forma, a separação das partes aconteceu em relação à altura máxima de impressão.

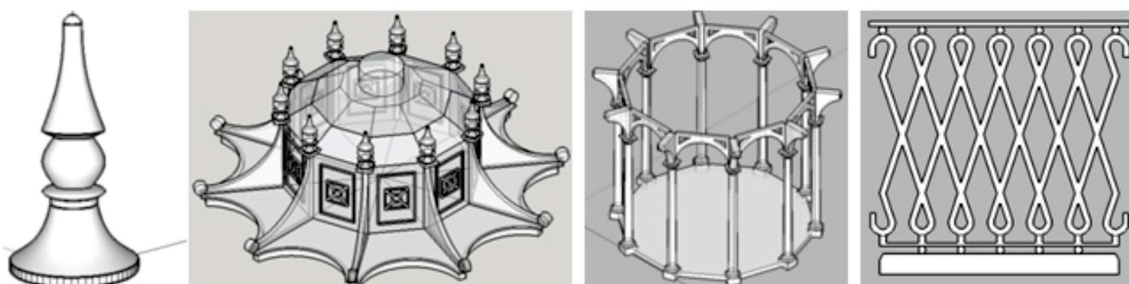


Fig. 5 - Modelagem dos elementos separados e simplificados do torreão do reservatório.

Fonte: autoras.



Fig. 6 - Torreão do reservatório produzido por impressão 3D
Fonte: autoras.

O processo de impressão 3D permitiu a representação da complexidade formal do elemento, e inclusive dos ornamentos que o compõe. As dimensões, o tempo de impressão e a quantidade de filamento de PLA utilizada para a execução do modelo da Fig. 6 podem ser verificados na Tabela 1.

Tabela 1: Dimensões, tempo e quantidade de material de peças impressas.

PEÇA	TOPO	COROA	GRADES	BASE + COLUNAS	TOTAL
Comprimento (mm)	26,5	120,35	22,4	109,45	120,35
Largura (mm)	26,5	125,75	21,75	104,57	125,75
Altura (mm)	51,75	49,8	1,2	76,45	178
Tempo (horas)	01:19	15:18	00:08	10:48	27:33
Quantidade de filamento (mm)	332,5	7261,6	29,9	3398,9	11022,9

PROCESSO DE ADEQUAÇÃO DO MODELO PARA O CORTE A LASER

Enquanto a atividade de impressão 3D permitiu o uso de uma representação que correspondesse ao máximo com a forma real do objeto, o projeto que envolveu o corte a laser considerou uma representação esquemática. Desta forma, foram identificados elementos chave para a descrição da geometria de perfis e demais peças que configuram o modelo.



Os arquivos para corte consistem em desenhos bidimensionais, neste caso, gerados no *software AutoCAD*, exportados para o *software LaserCA*, onde são configurados os parâmetros de corte e enviados para o corte a *laser*.

A Fig. 7 apresenta os tipos de encaixes utilizados, baseados em estudos descritos em Barros [5, pp. 38-39]. Optou-se por utilizar a combinação entre o encaixe borda/aresta, de forma horizontal, e perpendicular, por atrito e travamento.

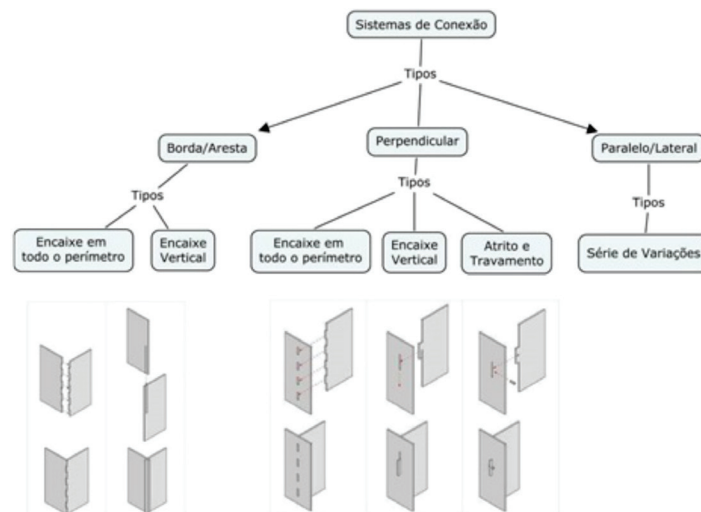


Fig. 7 - Sistemas de encaixe. Fonte: Barros (2011) [5, pp. 38-39].

Para realizar o modelo físico do reservatório por meio das peças bidimensionais foi escolhido um sistema de seções radiais, para estabelecer a forma cilíndrica do reservatório de forma a representar as colunas que o sustentam. Este sistema segue a lógica compositiva do elemento, de simetria radial, por meio de seções dos elementos, especialmente das formas de revolução, como os pilares e o cilindro que constitui o corpo do reservatório e os componentes do torreão.

Foram geradas três diferentes seções (Fig. 8), para contemplar os tipos de combinações de colunas existentes, os quais podem ser visualizados na planta de localização das colunas, à esquerda da referida figura. Estas seções, cinco do tipo 1, cinco do tipo 2 e dez do tipo 3, são encaixadas a duas circunferências centrais, através do tipo de encaixe borda/aresta. A Fig. 9 ilustra o sistema de encaixe utilizado. A escala utilizada em testes iniciais foi a escala 1:100. E em seguida utilizou-se uma escala maior, cujo limite foi definido pelo diâmetro do reservatório em relação à área útil da cortadora a *laser* utilizada, 500mm x 800mm.

A Fig. 10 apresenta a execução do mesmo projeto em papel paraná 2mm e acrílico 2mm. Para representar o volume do reservatório em si são utilizados painéis encaixados aos perfis.

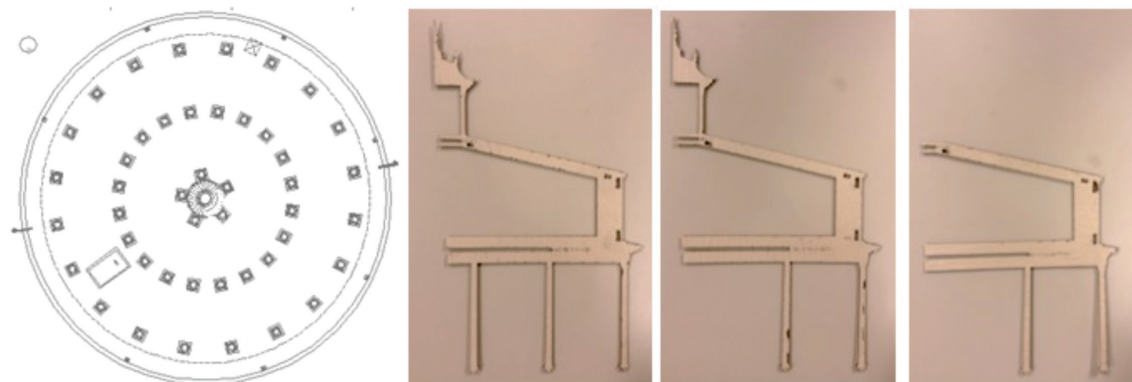


Fig. 8 - À esquerda, planta baixa com a localização das colunas, ao centro e à direita, seções do tipo 1, 2 e 3, respectivamente. Fonte: autoras.

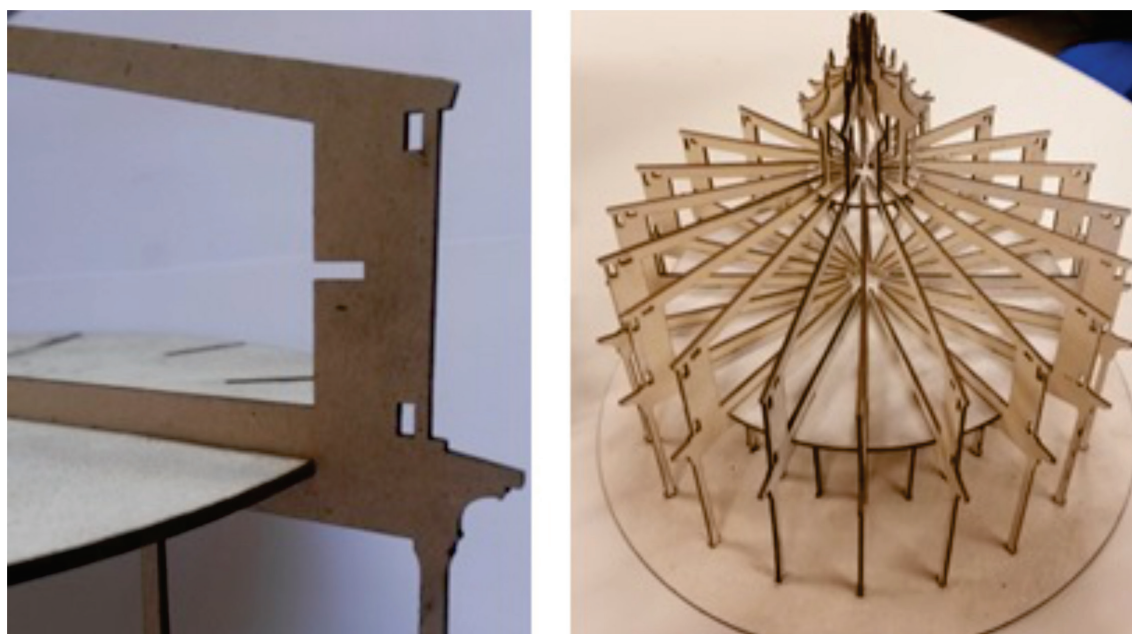


Fig. 9 - Detalhe do sistema de encaixe, à esquerda, e estrutura do modelo com todas as seções encaixadas, à direita. Fonte: autoras.

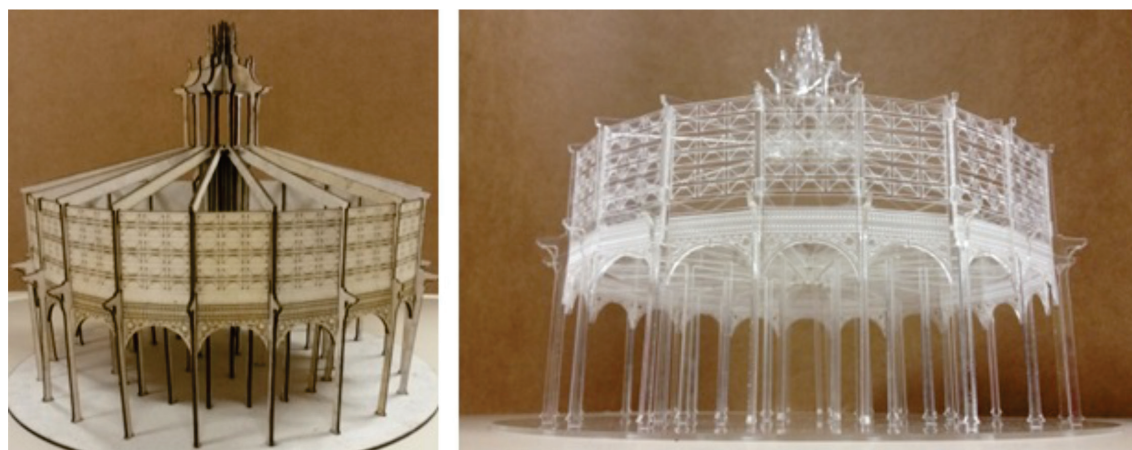


Fig. 10 - Modelo em papel paraná, à esquerda, e em acrílico, à direita. Fonte: autoras.



RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados são parciais, tendo-se avançado especificamente na etapa de apropriação das tecnologias, desenvolvendo projetos e execução de modelos físicos do reservatório, como demonstrados na Fig. 6 e Fig. 10. No momento, o trabalho encontra-se em fase de análise e reformulação, visando aprimorar os modelos de maneira a abarcar questões como a de lançamento de hipóteses de montagem do reservatório e com isto, permitindo algum tipo de experimentação e observação das potencialidades dos modelos frente aos objetivos do estudo.

As experiências realizadas, de projeto e confecção dos modelos físicos têm possibilitado o aprendizado e o registro do processo de otimização de modelos digitais para a fabricação digital, como podem ser citados: adequação ao formato dos arquivos, simplificação dos modelos de acordo com a escala utilizada, minimização do número de polígonos ou linhas, ausência de geometrias sobrepostas, adequação às dimensões das áreas de produção dos equipamentos, assim como a ausência de elementos geométricos provenientes de outros *software* e do uso de técnicas de cópia, para o caso da impressão 3D [4, p. 2].

A partir destes registros, surge a necessidade de atenção a tais itens já em momentos iniciais de modelagem, para que os modelos virtuais possam gerar modelos físicos diretamente, sem retrabalhos, a partir das técnicas de fabricação digital.

No contexto trabalhado, este foi o primeiro exercício de representação que buscou pensar de maneira integrada o processo de modelagem digital para a fabricação digital a partir das duas tecnologias, por impressão 3D e para o corte a *laser*. Entretanto, devido ao tipo de sistema de seções radiais, empregado para realizar as conexões das peças no modelo desenvolvido por corte a *laser* não houve o aproveitamento do modelo gerado para impressão tridimensional.

O modelo produzido a partir de corte a *laser* é constituído por uma série de peças bidimensionais que se encaixam e configuram um quebra-cabeça tridimensional do elemento representado. Este caráter lúdico promove a percepção da espacialidade e da possível lógica construtiva do elemento por meio do manuseio das peças para montagem do modelo físico.

O modelo gerado por impressão 3D, ainda que se apresente como um único objeto e não permita o mesmo diálogo com as peças, existente no modelo cortado a *laser*, evidencia os componentes e a riqueza de detalhes que muitas vezes não são percebidos, pelo desconhecimento ou pela falta de contemplação da obra.

A interação do público com as maquetes, por meio da montagem ou simplesmente da observação, promove a curiosidade seja pela história ou pela forma do elemento.



CONCLUSÕES

O processo de desenvolvimento de modelos físicos do Reservatório R1 através das tecnologias de corte *laser* e impressão tridimensional, aqui relatado, oportunizou a qualificação da equipe envolvida quanto à apropriação das tecnologias de corte a *laser* e impressão 3D. Na sequência, os modelos serão empregados em ações educativas e difusão da história da cidade de Pelotas, com enfoque no patrimônio histórico local e quanto à percepção e compreensão dos elementos do patrimônio.

Este processo dá continuidade à construção de conhecimento sobre a Arquitetura de interesse patrimonial da cidade, tendo em vista que a atividade de representação promove a compreensão aprofundada da lógica projetual do objeto.

Os modelos serão disponibilizados para o evento de comemoração dos 50 anos do SANEP, cujos modelos terão visibilidade e será possível a coleta de dados sobre a eficiência das representações para as ações educativas e de difusão do patrimônio. Como sugestão a futuros trabalhos, tem-se a aplicação destes modelos à experiência tátil com as necessárias adaptações.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Monica Veiga, pesquisadora colaboradora do GEGRADI, pelo auxílio no processo de reconhecimento das tecnologias de impressão 3D e corte a *laser*. A Juarez Parode, estudante do Curso de Especialização em Gráfica Digital, pela disponibilização do modelo virtual do Reservatório, do qual partiu o trabalho, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo apoio a esta pesquisa, através de bolsas de iniciação científica. Agradecemos também à FINEP, cujo financiamento da rede Morar.TS possibilitou a aquisição da infraestrutura de corte a *laser* e ao Programa ALFA/CE, cujo financiamento da Rede ALFA GAVIOTA possibilitou a aquisição da infraestrutura para a impressão 3D.

REFERÊNCIAS

- [1] Disponível em <http://www.pelotas.com.br/sanep/museu-do-saneamento/agua/caixa-dagua/>
- [2] Celani, M.G.C.; Pupo, R.T. (2008) Prototipagem Rápida e Fabricação Digital para Arquitetura e Construção: Definições e Estado da Arte no Brasil. *Cadernos de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo*, Campinas.



- [3] Borda, A.B.A.S, Pires, J. F., Vecchia, L. F. D., Borges, L. F., Dametto, A. P., Veiga, M. (2014) Patrimônio, Geometria e Representação: sob uma abordagem didática e tecnológica In: *III Seminário Internacional Sobre Documentação do Patrimônio Arquitetônico com o uso de Tecnologias Digitais*, 2014, João Pessoa. Editora da Universidade Federal da Paraíba, 2014. v.1. pp. 314-327.
- [4] Veiga, M.; Xavier, P.; Pires, J.; Borda, A. (2013) *Impressão 3D de um elemento complexo da Arquitetura de Pelotas*: Relato de experiência.
- [5] Barros, A.M. (2011) *Fabricação Digital: sistematização metodológica para o desenvolvimento de artefatos com ênfase em sustentabilidade ambiental*. Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.