

# M+P: Integração de Modelagem e Prototipagem no Ensino de Arquitetura

M+P: Modeling and Prototyping Integration to Architectural Education

**Carlos Alejandro Nome**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Brasil  
carlos.nome@gmail.com

**Hélio Takashi Maciel de Farias**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Brasil  
htmfarias@gmail.com

## ABSTRACT

This paper discusses the insertion of parametric modeling and prototyping concepts and hands on exercises on the matter in graduate and undergraduate architectural courses. At the undergraduate level the course focuses on architectural detailing and its graphic representation. At the graduate level the course focuses on the role of parametric modeling of parts, components and assemblies in the design of complex object. The objective is to explore how different conceptual depth levels of the subject can be inserted in academic exercises, as well as the understanding of its repercussions in architectural education and practice.

**KEYWORDS:** ensino de arquitetura; modelagem paramétrica; detalhamento; prototipagem; CNC

## Introdução

Este artigo discute a inserção de conceitos e exercícios práticos de modelagem e prototipagem rápida a disciplinas da graduação e de pós-graduação de um curso de arquitetura e urbanismo. Estas disciplinas tratam, na graduação de detalhes de representação gráfica e na pós graduação da parametrização de peças e componentes para produção de sistemas de objetos complexos. O objetivo é a exploração de níveis de inserção da temática em exercícios acadêmicos e o entendimento das repercussões desta inserção no aprendizado e formação de arquitetos.

Maquetes e protótipos sempre foram reconhecidos como elementos importantes no processo projetual (MILLS 2005). Com a inserção de novas tecnologias de modelagem digital resultados formais, comportamento de funcionamento e desempenho dos objetos de projeto podem ser previstos de maneira precisa (EASTMAN 2008). Estas tecnologias partem do potencial de parametrização de objetos e componentes para descrição de sistemas complexos. Neste sentido, surgem também tecnologias para a aceleração da produção destas maquetes e protótipos no âmbito físico. Máquinas numericamente

controladas (CNC) permitem a integração do modelo digital com elementos da produção de modelos físicos e são amplamente disseminadas na cadeia produtiva de múltiplas indústrias (SCHODEK 2005). Na indústria de Arquitetura Engenharia e Construção (AEC) brasileira estas tecnologias começam a ganhar reconhecimento pois podem ter impacto positivo em toda a cadeia produtiva. Estas tecnologias devem ser contempladas no componente curricular das escolas de arquitetura como resposta a esta demanda crescente. O estudo piloto aqui apresentado para o caso desta escola de arquitetura apresenta resultados neste sentido. As disciplinas escolhidas foram, a de Detalhes de Representação Gráfica em Arquitetura e Urbanismo (DRAU) e o Seminário Temático Sobre BIM: teorias, conceitos e aplicações.

Na graduação, a disciplina de Detalhes de Representação Gráfica em Arquitetura e Urbanismo foi introduzida na última reforma curricular do Curso de Graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFRN, sendo ministrada, a partir de 2007, aos alunos do sétimo semestre de curso. O objetivo inicial era atender a demandas das disciplinas de projeto arquitetônico e urbano pela melhoria e aprofundamento da linguagem de representação gráfica

de projetos. No decorrer das atividades da disciplina, a principal dificuldade presenciada no processo de desenho e projeto de detalhes tem sido a compreensão do funcionamento prático de pormenores construtivos (junções, articulações, apoios, revestimentos, entre outros), fundamentais para a prototipagem e projeto executivo de peças e edificações.

Já na pós graduação foi incorporada em 2010 o Seminário Temático Sobre BIM: teorias, conceitos e aplicações, cujo objetivo era abordar questões relativas a parametrização, performance e integração de projetos para edificações. Foi constatado que, embora houvesse a aceitação da temática por parte dos alunos, na maioria arquitetos formados, existia a contra argumentação de que a otimização da fabricação preconizada por autores como Eastman (2008) e Clayton (2008) era inviável em termos práticos em função das limitações do mercado.

Em função destas dificuldades foi apresentada para o semestre 2012.1 uma proposta de conjunto de atividades teóricas e práticas que proovessem os discentes com o conhecimento dos princípios fundamentais de modelagem e prototipagem. Em um primeiro nível, foram contemplados desdobramentos que esclarecem necessidade de documentação gráfica na forma de desenhos de detalhamento (principalmente suporte estrutural, isolamento térmico e acústico e impermeabilização do envoltório). Posteriormente no segundo nível, dotá-los de conhecimento prático através do contato direto com sistemas construtivos. Este conhecimento direto foi desenvolvido a partir de exercícios práticos de concepção e execução de objetos convencionais valendo-se das limitações de materiais específicos e ferramental de corte CNC.

Objetiva-se com isso, discutir o conhecimento fundamental que permita a recombinação de ideias e o desenvolvimento de soluções novas e específicas a serem aplicadas nos projetos individuais no âmbito acadêmico e profissional.

Conceitos fundamentais explorados em ambos níveis foram partiram do desdobramentos do papel de peças e componente (BONSIEPE, 1978) na formação de sistemas em resposta a problemas funcionais de distintas naturezas. Foi deliberado que os exercícios propostos para a graduação deveriam atender a necessidade da compreensão do conceito de sistemas e seus impactos no projeto de edificações. Para isto foi os conceitos foram associado a exercícios de detalhamento de esquadrias. Na pós graduação a proposta foi de iniciar uma reflexão sobre processos e produtos projetuais a partir de exercícios de modelagem e prototipagem de objetos com diferentes níveis de complexidade. Como todos os alunos da pós graduação eram arquitetos formados a extrapolação para a prática profissional do projeto de edificações deu-se de maneira direta.

## **Pós graduação - Modelagem e Prototipagem de Objetos**

Na pós graduação foi implementado um componente curricular intitulado "seminário temático: Modelagem e Prototipagem" de caráter fundamentalmente prático. Foi entendido que por se tratarem de profissionais formados estes trariam uma bagagem de métodos e técnicas de projeto aplicados em suas práticas. Desta forma o denominador comum para a disciplina deveria partir de produtos a serem alcançados respeitando a individualidade processual e metodológica dos profissionais. O foco foi a exploração do impacto da modelagem e prototipagem numericamente controlada no processo projetual. Foram previstos dois momentos distintos durante o curso para controle do efeito do conteúdo ministrado.

A primeira parte do curso introduziu o papel de ferramentas numericamente controladas em múltiplos processos industriais. Intencionalmente não houveram maiores discussões sobre o papel da modelagem tridimensional parametrizada nestes processos. Os alunos foram instruídos a desenvolver um biombo de 2x2 metros em madeira laminada de 2 centímetros. O biombo deveria explorar encaixes verticais ou horizontais. Uma maquete da peça deveria ser executada em papel pardo na escala 1:5 utilizando a cortadora laser ULS P6.75 da escola de arquitetura. Processos individuais foram respeitados e o prazo de 15 dias foi oferecido para completar a tarefa. Os alunos receberam treinamento no uso do equipamento e instruídos quanto às especificidades necessárias ao uso da cortadora laser. Desta maneira a única obrigatoriedade foi o uso de arquivos DWG pré configurados para o corte desenvolvidos no Laboratório de Maquetes (LABMAQ) da UFRN.

Todos os alunos completaram a tarefa com sucesso. No entanto, sem requisitos específicos de modelagem tridimensional parametrizada, dificuldades encontradas pelos alunos variaram em função de 3 aspectos. Primeiro, visualização tridimensional, neste aspecto como foram respeitados processos individuais nem todos optaram por modelar o objeto em 3D para simular sua montagem. Alunos que optaram por modelagem 2D tiveram dificuldades de execução por erros nos encaixes, instabilidade nas peças propostas e repetição do corte para corrigir erros de documentação. Segundo, quantificação e preparação de elementos de corte. À exceção de um alunos em todos os demais existiram erros nas quantidades de peças cortadas e ou sobreposição de peças no processo de corte, resultando em desperdício de material (Figura 01). Finalmente, o último aspecto a gerar retrabalho no processo de corte foi a configuração da potência e tempo de corte. Em alguns momentos as configurações adotadas foram insuficientes para o transpasse do material. Soluções

nestes casos variaram entre reconfigurações de potência e tempo ou manutenção da lente da cortadora a laser.

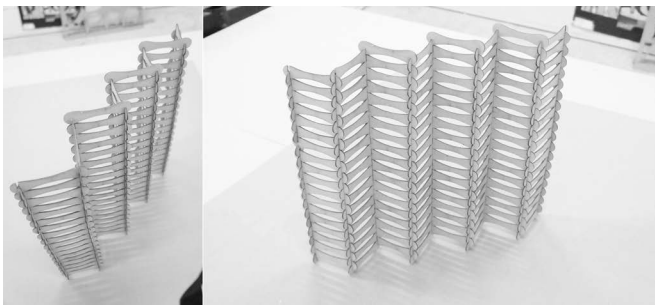


Fig. 1. Biombo resultante do processo

A segunda parte do curso concentrou-se no uso de modeladores paramétricos no processo de projeto. Exemplos de diversas indústrias foram apresentados. O foco do conteúdo conceitual foi o papel de peças e componentes no desenvolvimento de objetos ou sistemas complexos. Embora o conteúdo fosse parte do conhecimento tácito destes profissionais, a explicitação do conteúdo exigiu uma abordagem focada em detalhamento de idéias. Desta maneira também foi necessário a uma adequação dos processos individuais de projeção para atender a necessidade criada pelo exercício. O segundo exercício consistiu na modelagem digital parametrizada e execução de uma luminária. A luminária deveria oferecer no mínimo dois movimentos de ajuste e ser executada em camadas de papel pardo de 2mm de espessura. A modelagem tridimensional parametrizada foi feita com o Autodesk Inventor 2012 e a execução com o apoio da cortadora a laser ULS P6.75.

O maior desafio descrito pelos alunos foi o aprendizado da ferramenta de modelagem tridimensional. Nenhum deles tinha experiência nos conceitos associados à parametrização ou com o software adotado para o curso. A modelagem das peças em poucas horas de contato com o software fluiu sem maiores dificuldades. As limitações oferecidas pelo material adotado requeria apenas o uso de extrusões e perfurações mesmo nas peças mais complexas. Já as montagens das peças na modelagem digital e na luminária final apresentaram diferentes desafios aos alunos (Figura 2). Na modelagem digital os principais desafios foram: 1. Posicionamento de peças com referenciais axiais. Tanto na repetição de peças por *array* quanto na justaposição de eixos de pivotação; 2. Modelagem de peças referenciadas em outras peças. Neste caso as dificuldades foram com o software e seus mecanismos internos; e 3. Definição de componentes e sub componentes para facilitar a montagem final do modelo digital, corte das peças e montagem final da luminária (Figura 3). Na execução do objeto final as maiores dificuldades foram: 1. Plasticidade do material e efeitos não previstos em função das cargas em peças específicas; 2. Falta de

planejamento da ordem de montagem de peças em componentes ou de componentes no objeto final. 3. Falta de mecanismos ou ferramentas para alinhamento de peças e suas sustentação durante a colagem. Nem todos os alunos concluíram a tarefa com sucesso.

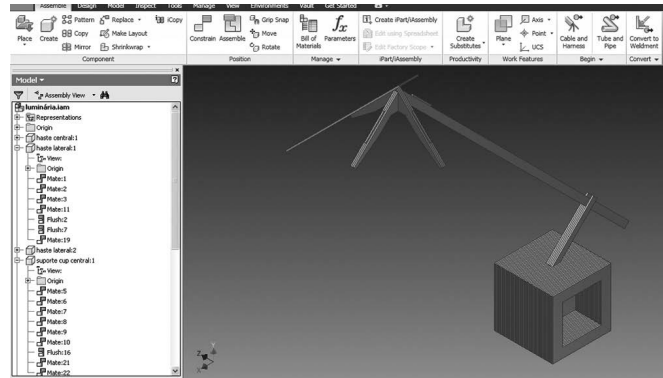


Fig. 2. Modelo da Montagem Parametrizada da Luminária

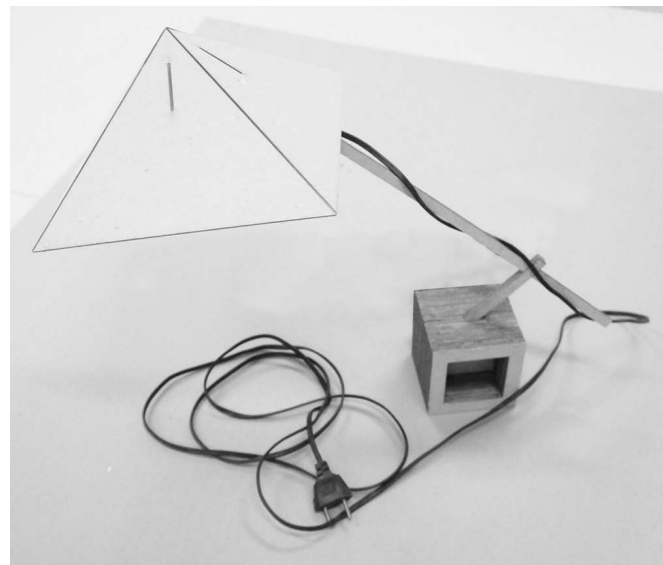


Fig. 3. Luminária executada com auxílio máquina de corte laser ULS P6.75

## Graduação - Detalhes de Representação em Arquitetura e Urbanismo

Diferente dos profissionais já com formação superior que participaram da disciplina da pós-graduação, os alunos da disciplina DRAU não possuíam instrução prévia relacionada ao projeto executivo ou desenho de peças. Foi efetuada para o semestre 2012.1, então, uma reestruturação da disciplina com base em uma progressão que possibilitasse um entendimento dos processos fundamentais e das aplicações dos detalhes construtivos, principalmente quando relacionados ao suporte estrutural, mobiliário e vedações da edificação. Esta estrutura baseou-se em duas premissas fundamentais, desenvolvidas a partir de uma interpretação própria das exposições contidas

em EMMITT, OLIE e SCHMID (2004) e ALLEN e RAND (2007). Primeiramente: somente a partir da apreensão das soluções usuais de detalhamento será possível reproduzi-las e modificá-las, de forma a criar novas soluções. Em seguida: os elementos de detalhamento devem atender a funções, e a compreensão destas é fundamental para a compreensão dos desenhos de detalhamento que servirão como base para a criação de novas soluções.

A compreensão conceitual fundamental foi alcançada através da exposição dos objetivos de detalhamento (função, construtibilidade, estética) expostos por ALLEN e RAND (2007), focando-se nos quesitos funcionais (ex.: controle da infiltração de água na edificação) e nos tipos de solução relacionadas a cada um destes (no caso da infiltração de água, soluções como: inclinação de superfícies horizontais; recobrimento; pingadeiras; vedação e selantes; calhas e drenos, etc). Após explanados os dez quesitos funcionais e as soluções associadas, foi pedido aos alunos que reproduzissem uma série de desenhos de detalhamento encontrados em bibliografia disponibilizada, identificando cada tipo de solução e suas funções associadas. Estaria atendida, desta forma, a segunda premissa apresentada.

A etapa seguinte, em atendimento à primeira premissa, passa pelo estudo, levantamento e reprodução das soluções existentes, já munidos os alunos de sua compreensão funcional. Este exercício ocorreu tanto no âmbito da integração disciplinar com as disciplinas de projeto arquitetônico (tematizadas, nesta etapa do curso, em torno da conservação, reuso e projeto em áreas de patrimônio histórico arquitetônico), no levantamento de esquadrias e outros elementos característicos da arquitetura histórica, quanto, posteriormente, no levantamento e modelagem computacional (utilizando o software Google Sketchup) de peças comumente utilizadas no projeto de arquitetura de interiores (sendo este o tema final das disciplinas de projeto arquitetônico daquele período). Ao contato direto com estes elementos, que abrangeu levantamento, desenho e modelagem, foi adicionada a descrição e exposição em aula de soluções de detalhamento em outros elementos usuais, como

esquadrias, forros, divisórias e mobiliário, assim como a visita a fábricas especializadas, de forma a expandir o vocabulário projetual de soluções de detalhamento disponíveis aos alunos (Figura 4).

Transformar este conhecimento em um exercício de prática projetual foi um objetivo desafiador. A princípio planejava-se solicitar a construção por grupos de alunos de protótipos dos elementos projetados. No entanto, a falta de maquinário adequado para modificação dos materiais selecionados para os projetos (entre os quais alumínio e vidro) e o acompanhamento da complexidade da prototipagem em papel pardo cortado em CNC, em progresso na disciplina da pós-graduação - e das dificuldades que afetavam mesmo profissionais já formados, como citado anteriormente -, levaram a uma compatibilização de objetivos aos recursos. O exercício projetual específico, ficou, então, neste momento, restrito ao projeto e detalhamento, com desenhos completos e especificação de materiais, de componentes construtivos, esquadrias e mobiliário referentes ao ambiente projetado para a disciplina de Projeto Arquitetônico (mais uma vez, integrada às atividades da disciplina DRAU). Os resultados mostraram-se satisfatórios, apresentando uma melhoria, em termos gerais, no nível de compreensão e aprofundamento do detalhamento projetual, se comparado a atividades semelhantes exercidas anteriormente à readaptação metodológica da disciplina (Figura 5). O programa de atividades da disciplina deverá continuar sua evolução, buscando, principalmente, integrar mais atividades práticas de contato direto com os elementos de detalhamento. Para turmas seguintes planeja-se inserir, através da standardização de materiais e componentes, adequados aos recursos disponíveis, a prototipagem dentre as atividades semestrais.

## Discussão e Resultados

O presente artigo descreve resultados da implementação de conceitos de modelagem e prototipagem a disciplinas da graduação e pós graduação no departamento de arquitetura e urbanismo da UFRN.

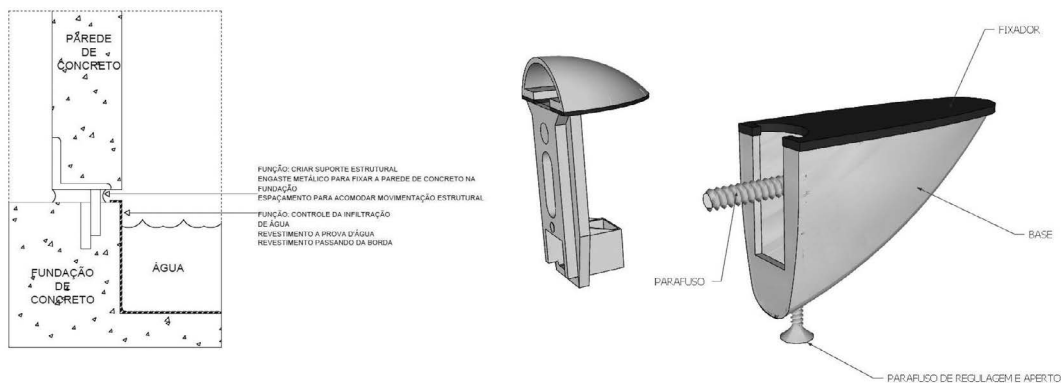


Fig. 4. Desenho e modelagem baseados em levantamento bibliográfico e levantamento direto de peças.

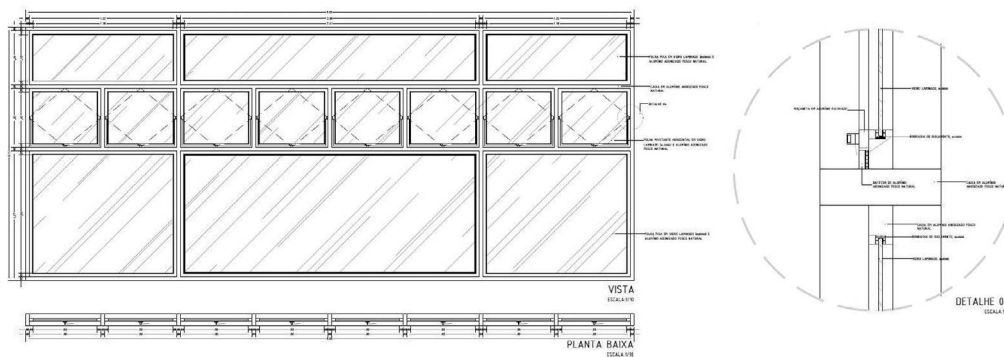


Fig. 5. Produto de projeto do semestre - esquadria em vistas e detalhes.

A partir de dois estudos de caso foram aferidos os benefícios da introdução destes conceitos no ensino de arquitetura e urbanismo. O foco da discussão concentra-se na percepção espacial e no impacto aos processos individuais de projeto dos alunos. Tanto na graduação quanto na Pós graduação alunos entenderam a validade do conteúdo proposto pelas disciplinas. Os desdobramentos em termos práticos foram unanimemente reconhecidos pelos alunos como de grande valor para a prática profissional da arquitetura. Na graduação o detalhamento focado em quesitos funcionais permitiu um entendimento amplo da complexidade presente em objetos que participam do cotidiano dos alunos. Na pós graduação o olhar concentrado na integração de projeto e execução apoiada por equipamento CNC trouxe questionamentos quanto aos processos individuais de projeção dos participantes. Estes questionamentos abrangem tanto aspectos de integração de novos conceitos, tecnologias e ferramentas, quanto a revisão do nível de detalhamento requeridos em diferentes etapas de projeto arquitetônico.

É crítico incorporar aspectos analíticos aos modelos tridimensionais parametrizados, especialmente no tocante à plasticidade dos materiais. Ênfase deve ser dada também à ordem de montagem de peças e componentes, pois a detecção de conflito de superfícies e volumes do objeto final não previne equívocos nesse sentido. A escolha de materiais menos maleáveis definitivamente afetará futuros resultados.

A integração do conteúdo proposto nas disciplinas acima mostrou ser de grande interesse e impacto na visão dos alunos. Vistos os resultados está previsto para o próximo semestre a integração de aspectos simplificados de modelagem e prototipagem à disciplina da graduação.

## Referências

- ALLEN, E., RAND, P. 2007. *Architectural Detailing: Function, constructibility, aesthetics*. 2a. ed.. Hoboken: John Wiley and Sons Inc.
- BONSIEPE, G. 1978. *Teoria y Practica del Diseño Industrial: Elementos para una manualística crítica*. Barcelona, Editorial Gustavo Gili, S.A.
- CLAYTON, M. J., R. E. JOHNSON, et al. (2008). *Downstream of Design: Lifespan Costs and Benefits of Building Information Modeling*. College Station, Texas A&M University.
- EASTMAN, C. M. 2008. *BIM handbook : a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. Hoboken, N.J., Wiley.
- EMMITT, S.; OLIE, J.; SCHMID, P. 2004. *Principles of Architectural Detailing*. Oxford: Blackwell Publishing.
- MILLS, C. B.. 2007. *Projetando com Maquetes 2a ed*. Porto Alegre: Bookman.
- SCHODEK, D.; BECHTOLD, M.; GRIGGS, K.; KAO, K. M.; STEINBERG, M. 2005. *Digital Design and Manufacturing: CAD / CAM Applications in Architecture and Design*. New Jersey: John Wiley and Sons Inc.