

## MODELAGEM PARAMÉTRICA, CRIATIVIDADE E PROJETO: DUAS EXPERIÊNCIAS COM ESTUDANTES DE ARQUITETURA

*Parametric Modeling, Creativity, and Design: two experiences with architecture' students*

Wilson Florio<sup>1</sup> e-mail | CV Lattes

### Resumo

O objetivo deste artigo é refletir sobre o uso da modelagem paramétrica em duas experiências didáticas. O primeiro experimento envolveu recursos do programa Paracloud e sua relação com o programa Rhinoceros, que resultou na produção de modelos físicos produzidos com o auxílio da cortadora a laser. No segundo experimento, os estudantes produziram algoritmos no Grasshopper, resultando em famílias de estruturas e coberturas. O objeto de estudo são os algoritmos e modelos físicos e digitais resultantes desta experimentação. Para a análise e reflexão dos resultados obtidos, adotamos quatro importantes pressupostos: 1. o valor das atitudes e do ambiente de trabalho; 2. a importância da experimentação e do improviso; 3. entendimento do projeto como um ato situado e como um problema mal-definido; 4. a inclusão do pensamento criativo e crítico nas disciplinas. Os resultados obtidos nos permitem afirmar que a modelagem paramétrica estimula a criatividade, pois permite a combinação de diferentes parâmetros, que resultam em descobertas inesperadas.

**Palavras-chave:** Ensino-aprendizagem, Modelagem Paramétrica, Cortadora a Laser, Grasshopper, Processo de Projeto, Criatividade.

### Abstract

The aim of this article is to reflect on the use of the parametric modeling in two didactic experiences. The first experiment involved resources of the Paracloud program and its relation with the Rhinoceros program, that resulted in the production of physical models produced with the aid of the laser cutting. In the second experiment, the students had produced algorithms in the Grasshopper, resulting in families of structures and coverings. The study objects are both the physical models and digital algorithms resultants from this experimentation. For the analysis and synthesis of the results, we adopted four important assumptions: 1. the value of attitudes and environment of work; 2. the importance of experimentation and improvisation; 3. understanding of the design process as a situated act and as a ill-defined problem; 4. the inclusion of creative and critical thought in the disciplines. The results allow us to affirm that the parametric modeling stimulates creativity, therefore allowing combination of different parameters, that result in unexpected discoveries.

**Keywords:** Teach-Learning, Parametric Modeling, Laser Cutter, Grasshopper, Design Process, Creativity.



## 1. INTRODUÇÃO

---

A fragmentação do Ensino em disciplinas estanques, sem conexões umas com as outras, sempre gerou sérios problemas para a integração de conteúdos no currículo. No entanto, nas últimas décadas, a forte pressão em incorporar novas disciplinas e, ao mesmo tempo, a exclusão sem critério de disciplinas fundamentais, tem causado instabilidades, prejudiciais para o processo de ensino-aprendizagem de arquitetura. O ensino de qualidade não pode desconsiderar os fundamentos básicos de cada profissão, nem tampouco deixar de incorporar novos conhecimentos sem reflexão e crítica.

Neste artigo defendemos a ideia de que é possível incluir novos conteúdos e atender ao plano de ensino, com os conhecimentos básicos, considerados fundamentais em cada disciplina. Além disso, os procedimentos adotados em sala de aula conciliaram as novas tecnologias com os processos artesanais, sem a eliminação de experiências sensoriais importantes, uma vez que, do ponto de vista da cognição, este processo enriquece a aquisição de conhecimentos.

Na atualidade, o artesanal e o tecnológico estão fortemente presentes na produção de projetos de arquitetura. Os grandes escritórios de arquitetura demonstram que maquetes físicas ainda são fundamentais para a plena compreensão do espaço. Os antigos conhecimentos de geometria são fundamentais para compreender e projetar espaços de grande complexidade. Parece razoável, por este ponto de vista, que se faça uma *re-valorização* destes conhecimentos diante das facilidades trazidas pelas novas tecnologias de representação e de simulação de espaços.

## 2. MODELAGEM PARAMÉTRICA

---

Nas últimas duas décadas, as máquinas de controle numérico têm auxiliado a fabricação de formas orgânicas e incentivado a criatividade. Branko Kolarevic (2003) aponta pesquisas e edifícios construídos a partir das novas técnicas de modelagem geométrica e de fabricação digital, e alerta sobre a importância dos novos conhecimentos sobre topologia, geometrias não-euclidianas, NURBS (*Non Uniform Rational Beta Splines*) e parametrização. Além disso, a arquitetura internacional recente demonstra claramente que a modelagem paramétrica (MP) e a fabricação digital têm amparado os arquitetos e engenheiros nessa renovação no modo de construir.

Neste relato, o enfoque das disciplinas de Informática e de Maquete não é operacional e instrumental, como ocorre em muitos Cursos de Arquitetura. O pressuposto é que estas disciplinas práticas podem e devem ser uma continuidade das atividades realizadas no atelier de projeto. Além das habilidades e conhecimentos técnicos, estas disciplinas incorporam procedimentos reflexivos e críticos sobre o processo de desenvolvimento e de representação de projetos de arquitetura. Portanto, a ideia central é que conhecimentos novos e antigos estão na base do pensamento criativo e reflexivo.

O presente artigo tem como objetivo refletir sobre o uso da modelagem paramétrica em projeto de arquitetura. Na primeira parte do artigo, introduzimos: conceitos e definições sobre modelagem paramétrica; raciocínio analógico e criatividade; ensino-aprendizagem e o processo de projeto. Na segunda parte relatamos a experiência didática em que foram utilizadas a modelagem paramétrica e a fabricação digital para produzir diferentes padrões de coberturas de edifícios.

O objeto de análise do artigo são os algoritmos, os modelos geométricos digitais 3D e as maquetes físicas realizadas pelos estudantes. Os resultados obtidos incluem desenhos de diferentes padrões geométricos e sua materialização em maquetes físicas. São relatados os procedimentos adotados durante sua realização no atelier e no laboratório de informática. Na parte final realizamos a discussão sobre a experiência didática, considerações e conclusões finais sobre o raciocínio analógico paramétrico.

Normalmente, durante o processo de criação e desenvolvimento de um projeto de arquitetura, características específicas de partes desenhadas são revisadas e modificadas muitas vezes. Para responder a este problema foi desenvolvida uma estrutura, embutida em programas gráficos computacionais, baseada em parâmetros e hierarquia: as *variações paramétricas*.

O uso de parâmetros para definir a geometria de elementos construtivos, no âmbito da construção civil, tem provado ser cada vez mais eficaz no processo de projeto. Edifícios são compostos literalmente de milhares de partes individuais, e de um grande número de conexões. Uma modelagem desse tipo exige que essas porções sejam agrupadas em componentes

constituídos por parâmetros, de modo a facilitar a manipulação de acordo com a necessidade do usuário. Assim, a MP torna-se uma poderosa ferramenta digital para explorar diferentes configurações geométricas em projetos AEC (FLORIO, 2009a).

O poder dos computadores está na sua capacidade de calcular rapidamente complexas fórmulas matemáticas. No âmbito do projeto de edifícios, este fato tem permitido viabilizar geometrias complexas, introduzindo a possibilidade de criar e manipular novas famílias de formas e de superfícies curvas. Novas ferramentas computacionais, em ambientes paramétricos, permitem programar as dependências entre componentes, por meio do uso de variáveis, chamadas *parâmetros*. Estes permitem construir regras, traçar relações entre os pontos de uma curva, e definir o relacionamento e dependência entre eles. Portanto, as curvas derivadas deles capacitam a criação de superfícies curvas controladas parametricamente.

Há diferentes modos de estabelecer parâmetros. A MP por *scripts* é extremamente eficiente para programar algoritmos complexos. No entanto, alguns *plug-ins*, como o *Grasshopper* e o *Paneling Tools*, têm facilitado o trabalho daqueles que não são programadores, ou mesmo daqueles que não possuem interesse em realizar a verdadeira programação.

Nos últimos anos tem-se acompanhado o crescente interesse dos estudantes de arquitetura por formas e espaços de grande complexidade, em particular edifícios contemporâneos gerados a partir das novas tecnologias digitais. O *plug-in* *Grasshopper*, com *scripts* embutidos nos comandos, é o mais popular na atualidade. Criado em 2008, este *plug-in* tem fascinado jovens estudantes a operar com *scripts* embutidos nas sequências de comandos, que os antigos meios de programação não conseguiram. Sua facilidade de operação tem incentivado a produção de componentes de grande complexidade, com parâmetros claramente definidos. Consequentemente, nota-se que tais recursos tecnológicos têm contribuído para avanços significativos sobre o domínio de formas de grande complexidade, sobretudo para novos estudos sobre a geometria topológica.

A partir do programa *Rhinoceros*, que opera com recursos NURB, e do *Grasshopper*, pôde-se avançar na investigação de formas e superfícies topologicamente contínuas de terceiro grau ou superior. Não se trata mais de operar apenas sobre elementos geométricos como linhas e planos, trata-se de operar sobre parâmetros que subjazem à construção geométrica da forma. Assim, a manipulação topológica dos pontos e curvas no espaço, que constituem os elementos geométricos, é que impulsiona as construções de grande complexidade formal e espacial na atualidade.

Entretanto, é importante explicar inicialmente a natureza desta continuidade das superfícies topológicas. Segundo David Rogers, "*curvas e superfícies são representadas matematicamente, ou explicitamente, ou implicitamente, ou ainda parametricamente*" (ROGERS, 2001, p.2). Este último se dá quando um dos parâmetros é flexível, ou seja, pode variar. As superfícies decorrentes destas variações paramétricas podem ser contínuas se o polinômio for de terceiro grau ou superior. Esta qualidade só pôde ser incorporada, como uso em projetos, a partir do processamento matemático computacional. Todavia, há duas espécies de *continuidade* associada a curvas e superfícies: a continuidade geométrica e a continuidade paramétrica. Segundo Rogers (2001), a primeira é física e a segunda é matemática. Para a definição que nos interessa neste artigo, ambas continuidades são fundamentais, pois o interesse é modelar formas contínuas, definindo-as matematicamente no computador, e depois, construí-las, fisicamente, a partir de modelos físicos derivados de desenhos computacionais.

Pesquisas publicadas no Congresso Sigradi nos últimos anos (ALVARADO; TURKIENICZ, 2010; BRUSCATO; ALVARADO, 2010; BUENO; BARRERA, 2008; CELANI, 2009; CHIARELLA, 2004; FLORIO; TAGLIARI, 2008; HANNA; TURNER, 2006; HERNANDEZ, 2004; HERRERA, 2009; TAGLIARI; FLORIO, 2009; VINCENT; NARDELLI; NARDIN, 2010), revelam a crescente importância da MP e dos sistemas generativos no processo de projeto em arquitetura. Além disso, a intensificação do uso de protótipos rápidos e da fabricação digital de elementos construtivos, no âmbito acadêmico, tem renovado o interesse pelo processo construtivo e sua materialização em ambiente físico.

### 3. RACIOCÍNIO ANALÓGICO E CRIATIVIDADE

Atualmente pode-se afirmar que criatividade é a faculdade humana que excede os processos e rotinas diárias de pensamento e fazer. A criatividade é a capacidade de realizar uma produção que seja ao mesmo tempo nova e

adaptada ao contexto na qual ela se manifesta, ou ainda, criatividade é a combinação original de ideias conhecidas. Por este entendimento, arquitetos são criativos quando produzem combinações e associações incomuns de ideias,

com resultados não previstos a priori. Nesse sentido, a MP permite expandir, de modo ágil, o número de combinações entre as variáveis, proporcionando a obtenção de descobertas inesperadas.

Entretanto, a obtenção de combinações e de variações por meio da MP exige um pensamento lógico, associativo e explícito sobre processos interativos (HARDY, 2011), o que requer disciplina, organização sobre o processo de projeto e pensamento abstrato. Assim, na presente pesquisa, procurou-se estimular os alunos a realizarem associações entre ideias contidas entre diferentes projetos conhecidos. De um modo explícito, foram incentivadas associações entre diferentes ideias tais como, entre corpo humano e edifícios, ou entre edifícios e elementos da natureza.

Do ponto de vista do ensino-aprendizagem, é importante destacar que para o estudante

internalizar conhecimentos e experiências, de um modo criativo, o professor deve delimitar procedimentos em sala de aula de modo a estimular a experimentação com liberdade de escolha, e sem julgamentos prévios. Como aprender com erros e acertos faz parte do processo, o professor ajudará a amparar o estudante quando necessário, tornando o aprendizado mais significativo para o aluno. É importante que o aluno sinta prazer e satisfação com aquilo que está fazendo. Mihaly Csikszentmihalyi (1997) defende a importância de tornar nossas atividades diárias em algo agradável e divertido. Experimentar é aprender se divertindo com os erros e com os resultados obtidos. Desse modo, os conhecimentos e regras de uma disciplina podem ser incorporados na formação do aluno de modo consistente e duradouro.

#### 4. ENSINO-APRENDIZAGEM E O PROCESSO DE PROJETO

Muitos educadores reclamam que não é possível ensinar o conteúdo tradicional básico da disciplina e, ao mesmo tempo, introduzir um pensamento criativo e crítico. De fato se pensarmos que a carga horária é restrita e que criatividade e reflexão não cabem dentro do escopo da graduação, o problema parece insolúvel. No entanto, pode-se argumentar que o debate é de outra natureza. Na realidade, a verdadeira discussão de muitos educadores reside na dúvida de ministrar um curso com método tradicional, baseado na transmissão de conteúdos, ou inovador, abalizado pelo pensamento criativo e crítico. No primeiro método o curso está baseado em conteúdos e matérias *sedimentados*, enquanto que no segundo está a promoção de *novos* conhecimentos e da reflexão crítica. A diferença não é apenas quantitativa é, sobretudo, qualitativa, uma vez que formar alunos com conhecimentos consolidados pela prática profissional é muito pouco diante das aceleradas transformações da sociedade atual. Em uma sociedade competitiva, onde a capacidade de se atualizar e renovar conhecimentos se torna cada vez mais importante, o método inovador (ou provocador), que envolve um pensamento crítico e criativo, é cada vez mais necessário.

Na realidade, a aquisição de conhecimentos deve se dar tanto pela transmissão como pela reflexão, fazendo com que o pensamento criativo e o crítico sejam indissociáveis. No caso da arquitetura, o processo de projeto exige alternâncias constantes entre o pensamento divergente e o pensamento convergente. No primeiro se produz ideias, no segundo se

seleciona e julga. O primeiro envolve *pensamento criativo*, enquanto que o segundo envolve *pensamento crítico*. Esta alternância entre geração de novas ideias dentro de um quadro mais abrangente, com liberdade, se contrapõe ao outro momento, onde se reúne a informação mais significativa, e se julga com rigor e discernimento crítico. Estes dois pensamentos se complementam, pois enquanto um abre possibilidades e analisa, o outro condensa, sintetiza e avalia. Ambos dependem da aquisição e da recuperação de conhecimentos armazenados na memória. Portanto, o ensino de projeto, e disciplinas práticas, não podem apenas privilegiar a repetição de exercícios e de tarefas que restrinjam a atividade a uma mera solução de um problema *conhecido*, ao contrário, deve incorporar problemas *desconhecidos*, que exigem investigação e reflexão crítica.

Diante deste quadro, pode-se afirmar que o processo de ensino-aprendizagem requer uma relação equilibrada entre o *ensino*, isto é, a *transmissão* de conhecimentos e conteúdos consolidados e maduros por parte do professor, assim como a *aprendizagem* do aluno, por meio da *construção* e da *busca* de novos conhecimentos e de novas habilidades. Para tanto, esta experiência didática, realizada pelo autor, está alicerçada em quatro pressupostos. O primeiro é que a qualidade deste processo depende fundamentalmente do ambiente de trabalho, sobretudo nas *atitudes* adotadas pelos professores na relação com os estudantes em sala de aula. O segundo é que a *experimentação* e a *variabilidade* de soluções são essenciais para testar diferentes pontos de vista sobre o mesmo

problema. O terceiro pressuposto é que o saber é inseparável do pensar, uma vez que parte significativa do conhecimento advém das atividades *situadas*. O quarto pressuposto é que o ensino de arquitetura deve incorporar o *pensamento criativo e o pensamento crítico*, a partir do prazer, da reflexão e da satisfação na aquisição de conhecimentos, no desenvolvimento de habilidades e nas atitudes aprendidas dentro e fora da sala de aula.

O ambiente criado pelo professor em sala de aula deve ser agradável e a relação espontânea. Para que isso ocorra, as *atitudes* adotadas pelo professor têm um papel decisivo. O professor deve ser flexível, otimista e estimular a motivação intrínseca do aluno, ajudando a construir a sua auto-estima. Disciplinas que mesclam discussões teóricas e práticas exigem uma relação professor-aluno movida pela curiosidade e pelo prazer da descoberta. Nesse sentido, as atitudes mais importantes são: cultivar o questionamento, encorajar a assumir riscos, promover diferentes pontos de vista, agenciar a integração entre diferentes conhecimentos e incentivar a autodisciplina. Consequentemente, deve-se combater a ideia de que há uma única solução correta e que os erros são ruins, estimulando os estudantes a pensar e improvisar, sem medo de errar.

O mero treinamento e a reprodução de conhecimentos vinculados apenas a um determinado paradigma produzem alunos “domesticados” e subalternos, que não constroem a autonomia e a competência do pensar e fazer (FLORIO, 2009b). Durante o ensino de projeto no atelier, o professor-orientador deve estimular o questionamento reconstrutivo (DEMO, 2007), que implica numa visão crítica sobre o pensar e o fazer, tanto do professor como do estudante.

A criatividade é decorrente da *improvisação* que ocorre durante a execução do trabalho árduo, pois o imprevisto, no contexto da ação, faz emergir novas possibilidades de realização, de modo inesperado e adaptado à situação.

Aprender a fazer algo envolve disposição para enfrentar a *incerteza*, superar obstáculos, persistência e trabalho intenso. Para que este aprendizado seja significativo para o aluno, ele deve ter a liberdade de *experimentar*, ou seja, deve sentir-se estimulado e apoiado a testar diferentes possibilidades durante o processo de projeto. Ao experimentar e fazer algo não habitual, ele aprende a lidar com o inesperado, tendo em troca um aumento de confiança em suas ações. O papel do professor nesse momento é estimular o uso de diferentes estratégias para resolver um conjunto de problemas. O conceito de *variabilidade*, definido por Stokes (1999)

como fazer algo de modo diferente, requer flexibilidade do aluno na combinação de elementos contidos no seu repertório, exige a procura de estratégias que abram possibilidades de exploração de diferentes aspectos do mesmo problema.

Os avanços ocorridos nas décadas de 1970 e 1980, particularmente nas pesquisas realizadas na denominada *ciência do aprendizado*, resultaram no entendimento do processo de projeto como um *ato situado*. Nesta concepção, pensar e fazer são considerados atos inseparáveis. Greeno (1998) definiu o conhecimento “*situado*” como aquele que não está apenas na estrutura mental da cabeça do aprendiz, ao contrário, este conhecimento envolve, além da pessoa, os indivíduos ao seu redor, e, sobretudo, as atividades sobre as quais o conhecimento está sendo aplicado. Na mesma linha de raciocínio, Clancey (1997) enfatizou que cada pensamento e ação humana é *adaptada* ao meio-ambiente, isto é, *situada*, porque *o que as pessoas percebem, como elas concebem suas atividades e o que elas fazem fisicamente se desenvolvem ao mesmo tempo*.

Por este entendimento, projetar é uma atividade *situada*, pois os arquitetos desenvolvem ações a partir da observação e da interpretação de suas próprias ações. Projeto é uma interação de fazer e ver, fazer e descobrir (SCHÖN; WIGGINS, 1992, p.135). As sucessivas decisões ocorrem de acordo com que eles percebem em seus próprios artefatos (desenhos, modelos físicos ou digitais). Portanto, no âmbito acadêmico, em vez de apenas armazenar e recuperar conhecimentos, o aprendizado é visto a partir da atuação do aluno durante suas ações.

Nesse sentido, entendemos a *cognição* como o processo ou faculdade de adquirir conhecimento durante o *contexto da ação*, que implica em processar informações através da percepção e do raciocínio.

Projetar é uma atividade durante a qual o arquiteto desenvolve ações de acordo com as mudanças em seu meio ambiente. Observando e interpretando os resultados de suas ações, ele decide sobre novas ações a serem executadas sobre o meio. Isto significa que os conceitos dos arquitetos mudam de acordo com aquilo que eles estão “vendo” (SCHÖN; WIGGINS, 1992) em suas próprias representações externas. Esta interação entre o arquiteto, o meio ambiente e os registros gráficos determina fortemente o curso do projeto. Esta ideia é chamada de *ação situada*, (ou *situatedness*). O conceito de *ação situada* é usado para descrever como processos projetuais, que conduzem a diferentes resultados, dependem de experiências únicas do

arquiteto e das *circunstâncias* que cercam a sua realização.

No início, o processo de projeto é incerto e imprevisível, o problema é aberto, há muitas variáveis sem definição, que podem conduzir a muitos caminhos possíveis, decorrentes das prioridades e alternativas escolhidas. Esta situação é que Walter Reitman definiu como um problema *mal-definido*. Segundo Reitman (1965), um problema que evoca um conjunto grande de respostas variáveis pode ser considerado *mal-definido* (*ill-defined*, segundo o autor) ou ambíguo, uma vez que não há muitas restrições, e as questões estão abertas. Em decorrência deste fato, o processo de projeto em arquitetura deve ter uma *tolerância à ambiguidade*, uma vez que há diferentes soluções para o mesmo problema.

Diante do que foi exposto anteriormente, cabe concluir que o processo de projeto é definido por pequenos ciclos, análise-síntese-avaliação, de modo não linear e imprevisível. Por ser aberto e

mal-definido, o problema pode ter múltiplas soluções. Neste processo estão presentes incertezas e improvisos, fazendo com que, em muitos casos, os arquitetos procedam por tentativa e erro. Consequentemente, nota-se a importância do entendimento do *processo*, uma vez que a maior parte das ações é circunstancial, pois dependem do contexto da ação e na interação entre o indivíduo (o arquiteto, ou estudante de arquitetura), o domínio (os conhecimentos armazenados pela área de atuação) e o campo de atuação (formado por todos aqueles que julgam, criticam e exercem a profissão de arquiteto).

A seguir, serão apresentados os experimentos realizados pelos estudantes em duas diferentes Instituições. Cada um dos trabalhos propostos teve como intenção a transmissão e a construção de conhecimentos, com o firme propósito de desenvolver habilidades e enfrentar problemas de projeto de modo criativo, reflexivo e crítico.

## 5. EXPERIMENTOS REALIZADOS

Nos anos de 2010 e 2011 foram realizadas duas experiências didáticas com alunos de 4º e 10º semestres na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas e da Universidade Mackenzie, respectivamente. Na primeira, as disciplinas envolvidas foram Informática IV e Maquete, enquanto que na segunda foi o TFG - Trabalho Final de Graduação.

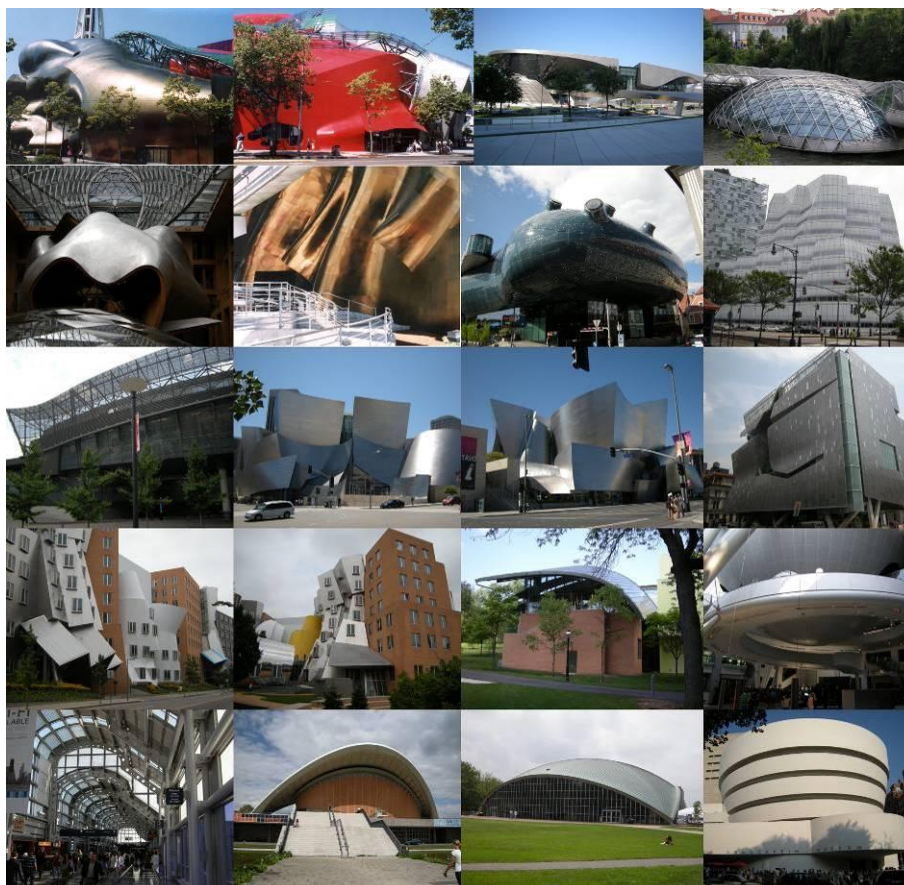
### 5.1 Experiência didática 1: FAU Unicamp

Na pesquisa realizada no 2º semestre de 2010, a proposta para os alunos da Unicamp foi produzir uma cobertura de dupla curvatura, utilizando os programas Rhinoceros e Paracloud. Os trinta alunos foram divididos em dez equipes, com o objetivo de propor uma cobertura para atender a diferentes propósitos funcionais.

Durante o semestre, foram realizados três trabalhos na disciplina Informática IV. O propósito desta disciplina é utilizar modelagem avançada de formas simples e complexas de elementos arquitetônicos. No primeiro mês, durante as aulas, os alunos receberam ensinamentos de como modelar formas regulares pelas técnicas de modelagem sólida e

de superfícies. Diferentes elementos construtivos, como paredes, painéis, portas e janelas, foram gerados em um edifício residencial. Este exercício introdutório permitiu equiparar os conhecimentos que os alunos já possuíam de outros três semestres de Informática I, II e III.

O segundo trabalho foi iniciado na 5ª aula. Esta experiência didática, motivo desta pesquisa, foi realizada em cinco etapas. Na primeira etapa, os alunos desenvolveram diferentes propostas de coberturas curvilíneas. A fim de criar formas complexas, uma série de exemplos na arquitetura contemporânea foi apresentada (Fig. 1), destacando-se como as formas foram obtidas a partir de modelagem geométrica digital. Os edifícios apresentados (para diferentes propósitos e necessidades funcionais) serviram para ampliar o repertório dos estudantes em relação à arquitetura contemporânea. No entanto, os aspectos mais importantes para a disciplina, nesta etapa, foram relativos aos conceitos fundamentais, particularmente a geometria baseada em superfícies regradas e dupla curvatura, e análise da curvatura gaussiana, subjacentes aos projetos.



**Figura. 1** - Fotos de projetos contemporâneos e modernos, com superfícies regradas e de dupla curvatura.  
Fonte: Autor: 2003 a 2010.

Esta parte teórica foi necessária porque os estudantes se encantam facilmente com formas inusitadas, mas possuem poucos conhecimentos sobre o que está por trás das decisões arquitetônicas e tectônicas. Assim, esta iniciativa teve como objetivo alertar sobre a relação entre a forma e os materiais empregados (estrutura de concreto armado ou metálica), assim como sobre a flexibilidade da fabricação digital de estruturas e de placas metálicas que compõem as superfícies das coberturas dos edifícios apresentados.

Assim, após cinco aulas (5ª a 9ª aula), os alunos já tinham conhecimentos de como modelar em três dimensões superfícies curvilíneas regradas e de dupla curvatura. Neste exercício as equipes foram orientadas a produzir ideias a partir de

analogias, particularmente associações com projetos similares, ou mesmo entre elementos da natureza, corpo humano e edifícios. A ideia não foi reproduzir literalmente formas existentes, mas estabelecer analogias entre partes de formas de elementos conhecidos. Sobre esta etapa (Fig. 2), a equipe 3 declarou no relatório final:

*“Iniciamos o trabalho com a elaboração de uma superfície que utilizasse os comandos aprendidos em aula. Nossa ideia era moldar uma estrutura que fizesse algum tipo de menção ao corpo feminino ... Inúmeras tentativas foram feitas até chegarmos à forma final; esta teve sua inspiração nas pernas de uma mulher”*



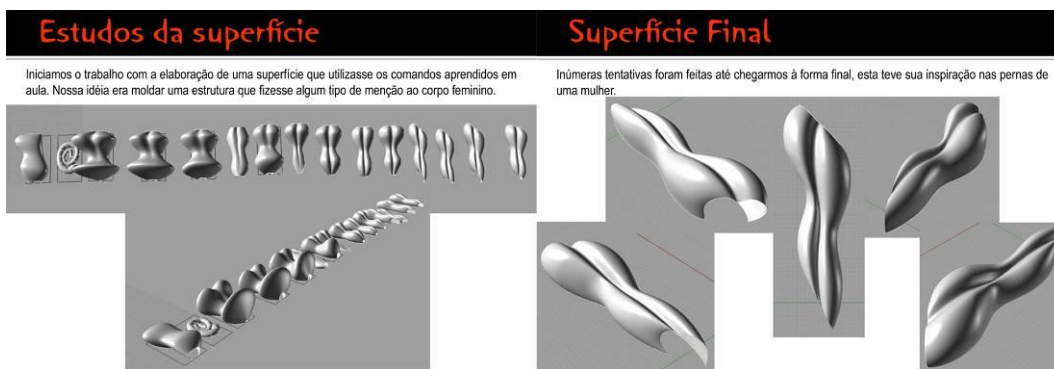


Figura 2 - . Experimentos realizados pela equipe 3. Fonte: Autor: 2010.

Na 2ª. etapa (10ª e 11ª aula) os estudantes receberam outros conhecimentos sobre como modelar componentes, particularmente placas metálicas, que pudessem ser repetidos de diferentes modos sobre a superfície criada na etapa anterior. Assim, cada equipe modelou entre quatro e seis módulos diferentes, parâmetros para serem distribuídos aleatoriamente sobre a cobertura. Neste momento, o professor destacou a importância de superfícies regradas para a solução da geometria das placas da cobertura. Esta análise foi realizada por meio da análise da curvatura

gaussiana (Fig.3). As cores permitem visualizar quando a curvatura é zero (cor verde) ou diferente de zero (cores azul e vermelha). A passagem entre a cor verde para a amarela já indicava que havia dupla curvatura, enquanto que a cor vermelha e a azul indicavam altas dificuldades de operar naquelas áreas por meio de placas metálicas. Assim, mesmo sem maiores noções sobre estrutura, os estudantes puderam visualizar o grau da curvatura e a dificuldade em materializá-la no modelo físico durante as aulas de maquete.

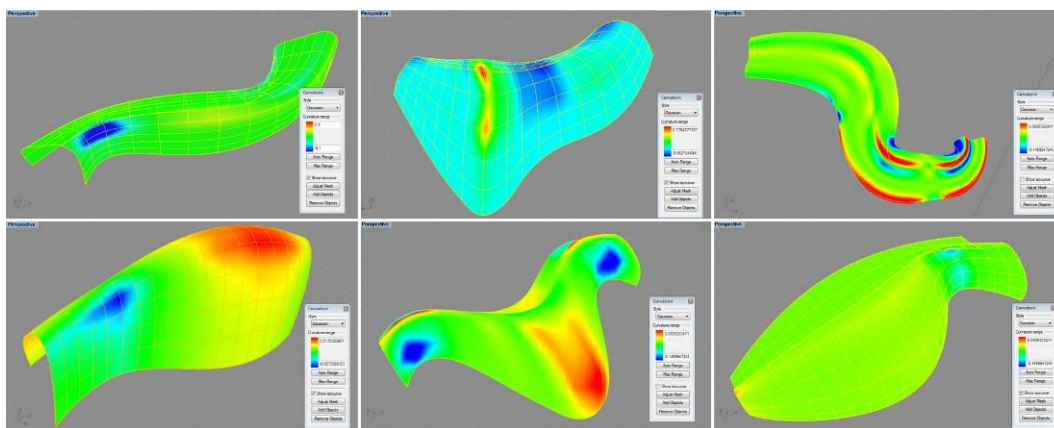
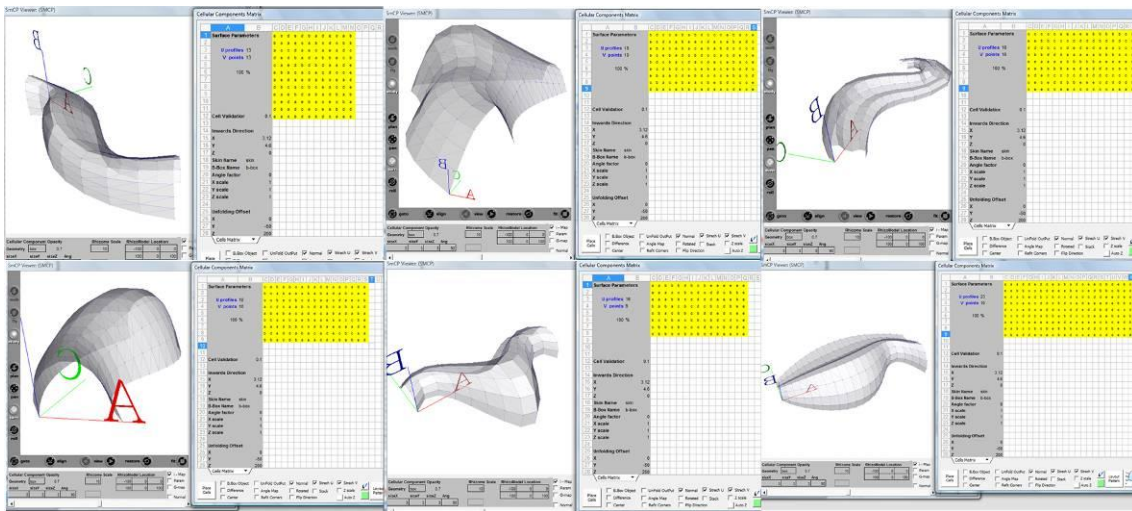


Figura 3 - Análise da curvatura gaussiana de algumas equipes. Fonte: Autor: 2010.

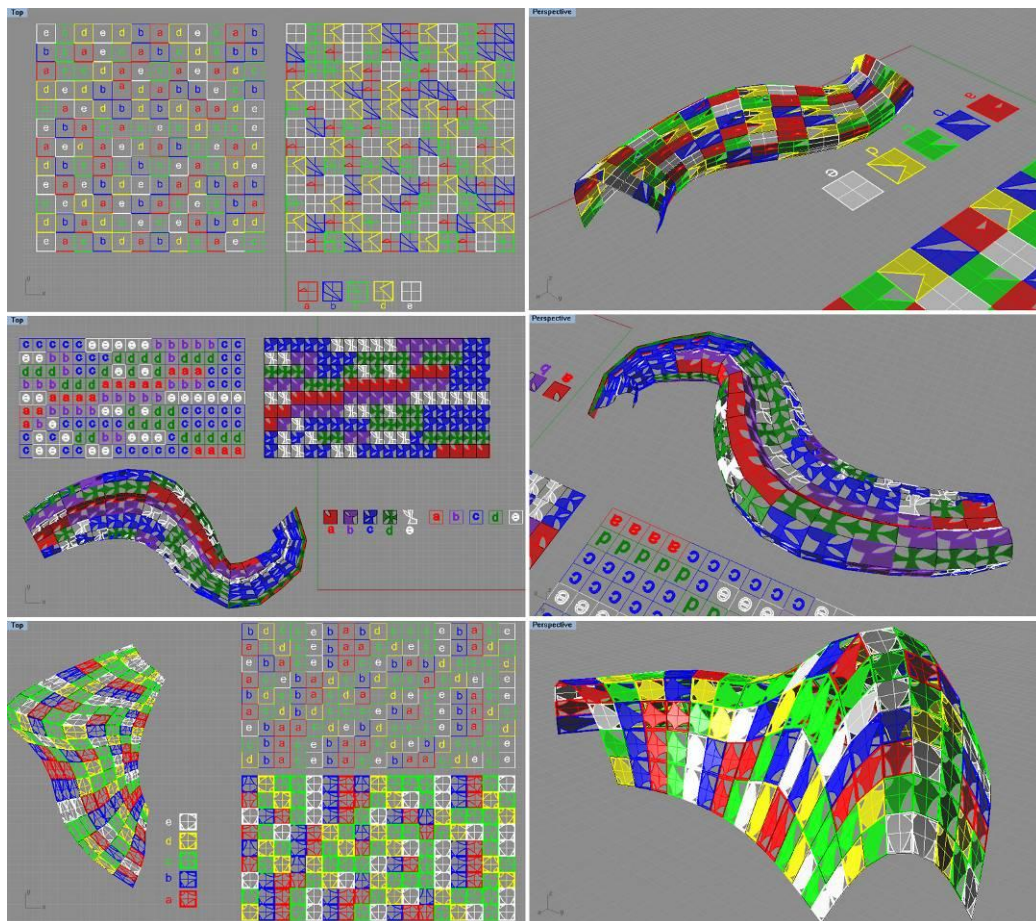
Na 3ª. etapa (12ª e 13ª aula) estas superfícies e os respectivos módulos foram importados no programa Paracloud. Neste programa, pôde-se combinar aleatoriamente os módulos para serem aplicados sobre a superfície. Cada módulo

foi denominado por uma letra do alfabeto. Módulo 1 = letra a, módulo 2 = letra b, e assim por diante. Na figura 4 pode-se ver que as letras a, b, c, d, e foram mescladas, resultando em diferentes combinações de parâmetros.





**Figura 4 -** Superfície importada do Rhino e a matriz de células – a, b, c, d, e – no programa Paracloud. Fonte: Autor: 2010.



**Figura 5 -** Superfície exportada para o Rhino e a matriz de células – a, b, c, d, e – em diferentes cores, gerada pelo programa Paracloud. Fonte: Autor: 2010.

O programa Paracloud permitiu combinar e aplicar os cinco módulos sobre a superfície subdividida e enviar novamente para o Rhinoceros. Na figura 5 pode-se visualizar a matriz de módulos e os módulos resultantes em suas respectivas cores. Entretanto, apenas uma das combinações paramétricas de cada equipe

foi escolhida para ser produzida em modelos físicos.

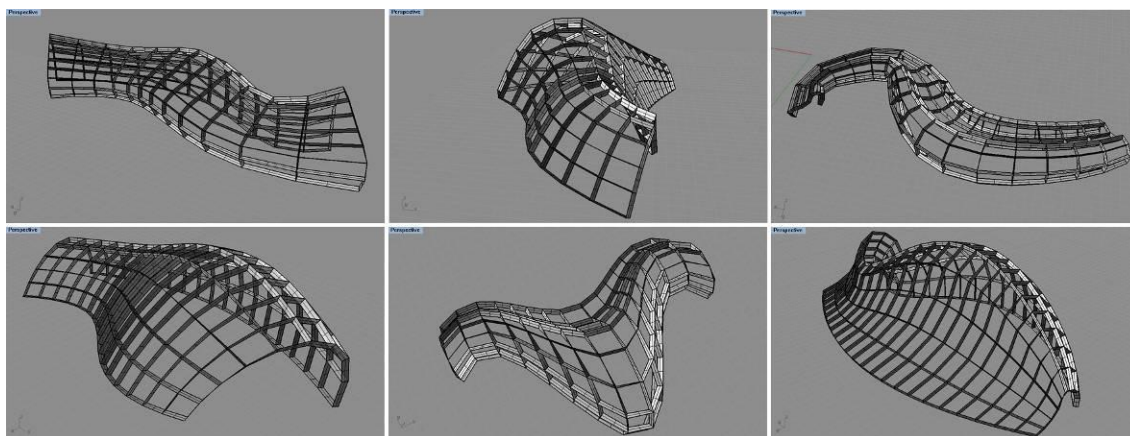
Ainda na mesma etapa, a estrutura, composta por vigas longitudinais e transversais, foi gerada no programa Paracloud de acordo com o número de subdivisões da superfície, que foi,

inicialmente, criada no programa Rhinoceros. Além de definir a altura e espessura das vigas, foi possível gerar os encaixes macho e fêmea correspondentes à metade da altura das vigas em ambas as direções. Entretanto, o recurso mais importante nesta fase foi o de gerar as vigas já planejadas e numeradas. O programa Paracloud enviou as informações para o Rhino sobre as vigas em 3D (Fig.6), e também gerou as mesmas vigas no plano em 2D (Fig.7).

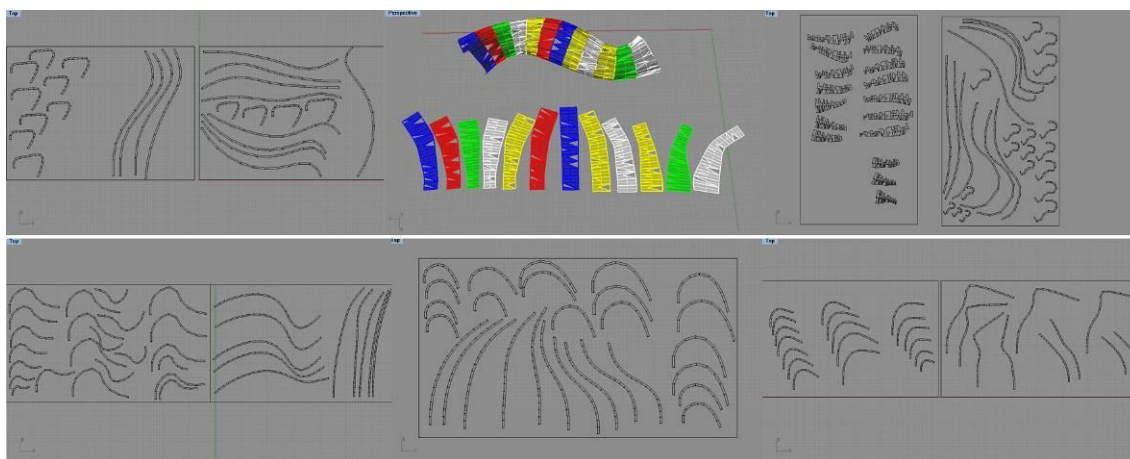
Por outro lado, os módulos enviados pelo Paracloud foram moldados sobre a superfície inicial no Rhino (Fig.5). Como as superfícies enviadas são de primeiro grau, os módulos transversais de cada fileira foram unidos no Rhino (com o comando *join*) e desdobrados pela

técnica *unroll* (também conhecida como *unfolding* – Figura 7, ao centro, em cores). Conseqüentemente pôde-se obter toda a geometria da estrutura nesta interação entre os programas Rhinoceros-Paracloud. Na figura 6 pode-se visualizar as estruturas em 3D geradas pelo Paracloud no programa Rhinoceros, e já na figura 7 pode-se ver as mesmas vigas desdobradas em 2D no plano e diagramadas para serem enviadas para a cortadora a laser.

Na 4ª. etapa (14ª e 15ª aula) as equipes organizaram as vigas e os módulos gerados em folhas com dimensões de 80 x 50 cm, e as enviaram para a máquina de corte a laser Universal Systems, do LAPAC da Unicamp (Fig. 8).

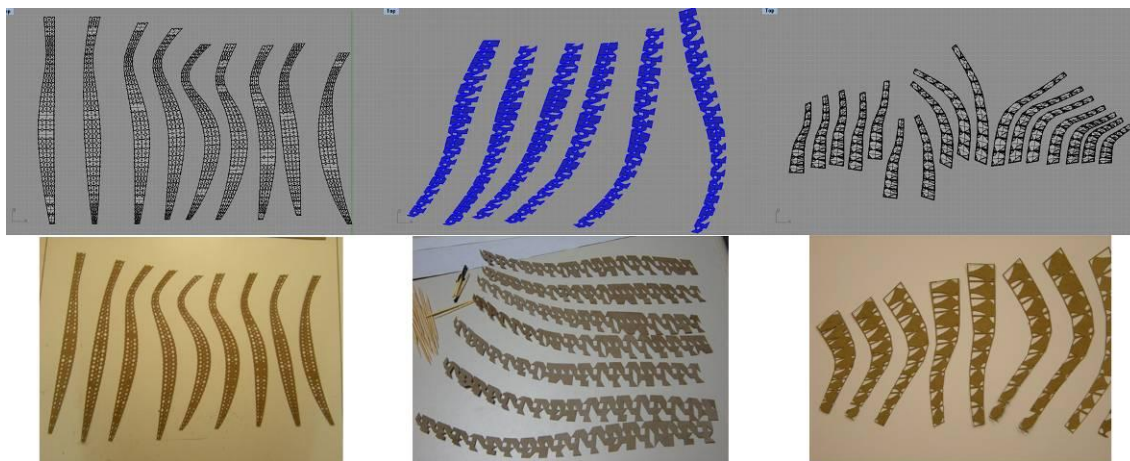


**Figura 6** - Estrutura gerada no Rhinoceros a partir das informações enviadas pelo Paracloud. Fonte: Autor: 2010.

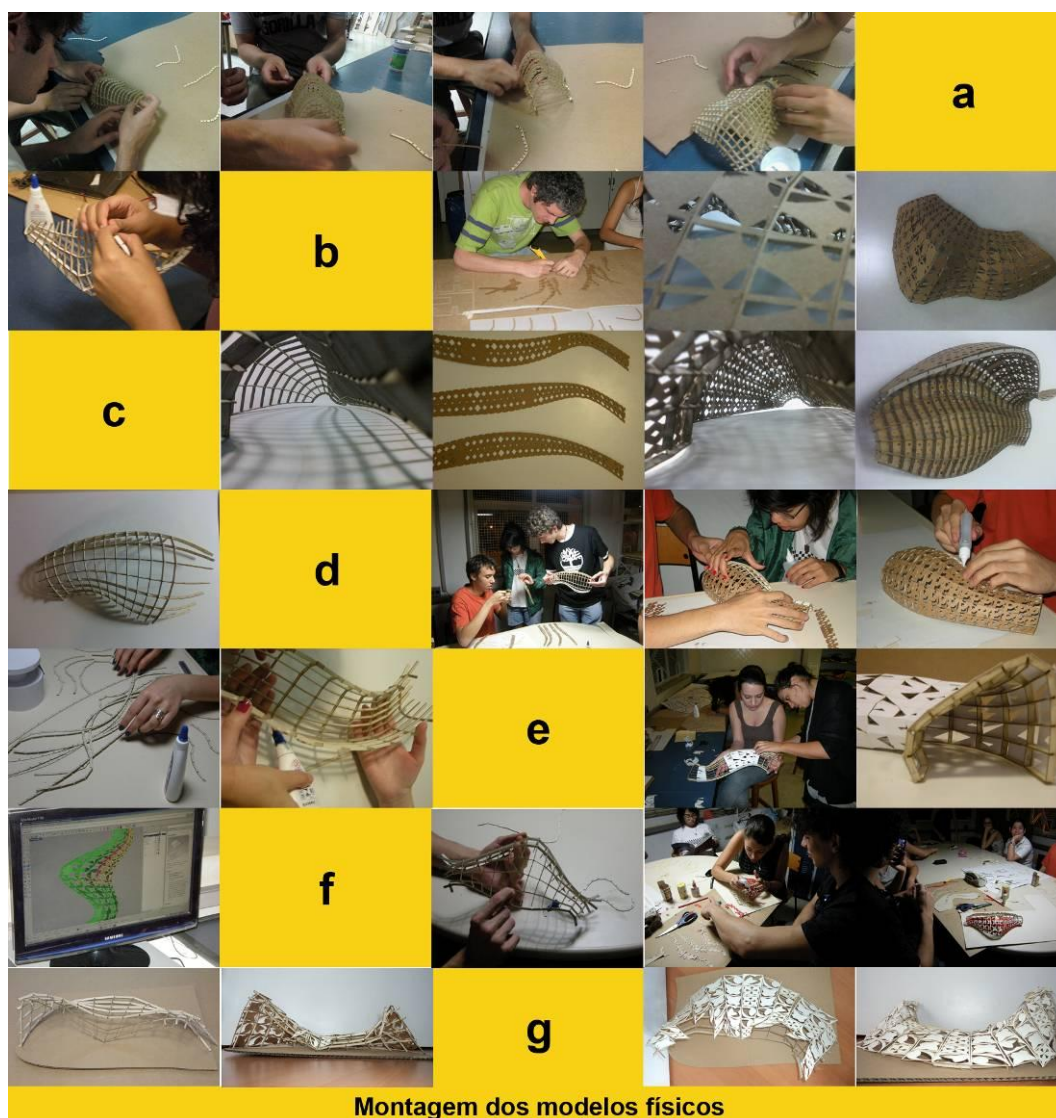


**Figura 7** - Estrutura desdobrada no Rhinoceros e diagramada em folhas de 80 x 50 cm. Fonte: Autor: 2010.





**Figura 8** - Módulos desdobrados no Rhino e cortados pela cortadora a laser. Fonte: Autor: 2010.



**Figura 9** - Fotos das equipes e dos modelos durante a montagem. Cada letra corresponde a seqüência do processo de diferentes grupos de estudantes. Fonte: Autor: 2010.

Na etapa final, durante as três últimas aulas de maquete, a estrutura foi montada. O tipo de

encaixe macho e fêmea permitiu a rápida fixação entre as vigas longitudinais e transversais. Após

a finalização da montagem da estrutura, foram sobrepostas as faixas de módulos transversais sobre a estrutura. Os vincos entre um módulo e outro, realizado pela cortadora a laser, facilitou o manuseio das dobras dos módulos sobre a superfície. As fotos da montagem (Fig. 9) mostram que as equipes tiveram alguns problemas simples durante a montagem. Algumas vigas, particularmente aquelas mais compridas, se romperam durante o manuseio, devido à fragilidade ocasionada pelas reentrâncias dos encaixes. As superfícies curvilíneas mais complexas, com mudanças mais abruptas de direção, ocasionaram dificuldades durante a sobreposição das faixas de módulos.

### **Discussão sobre os resultados obtidos no experimento realizado na FAU Unicamp**

Os exercícios realizados pelos estudantes durante as disciplinas de Informática e de Maquete começaram com problemas *bem-definidos*, com claras restrições e encaminhamentos de soluções e terminaram com problemas *mal-definidos*, exigindo dos estudantes uma postura mais crítica e participativa, desde a definição do problema até as possíveis soluções. O primeiro exercício de Informática e de Maquete tratou de modelos digitais e físicos com formas de geometria regular. Na seqüência os alunos representaram um mesmo projeto de arquitetura, por meio de um modelo físico e um digital. A intenção foi apontar a complementaridade na compreensão dos espaços projetados, explorando o que há de melhor nas duas técnicas de representação. Já no terceiro exercício explorou-se a complexidade das formas orgânicas.

A experiência na Unicamp integrou as disciplinas de Informática e de Maquete. Foram constatados alguns fatos importantes para o ensino de ambas as disciplinas. A primeira constatação é que os estudantes ainda apresentam dificuldades para geometrizarem superfícies orgânicas, sem uma forma definida. As superfícies curvilíneas parecem confundir a percepção e localização dos componentes no espaço, dificultando a plena

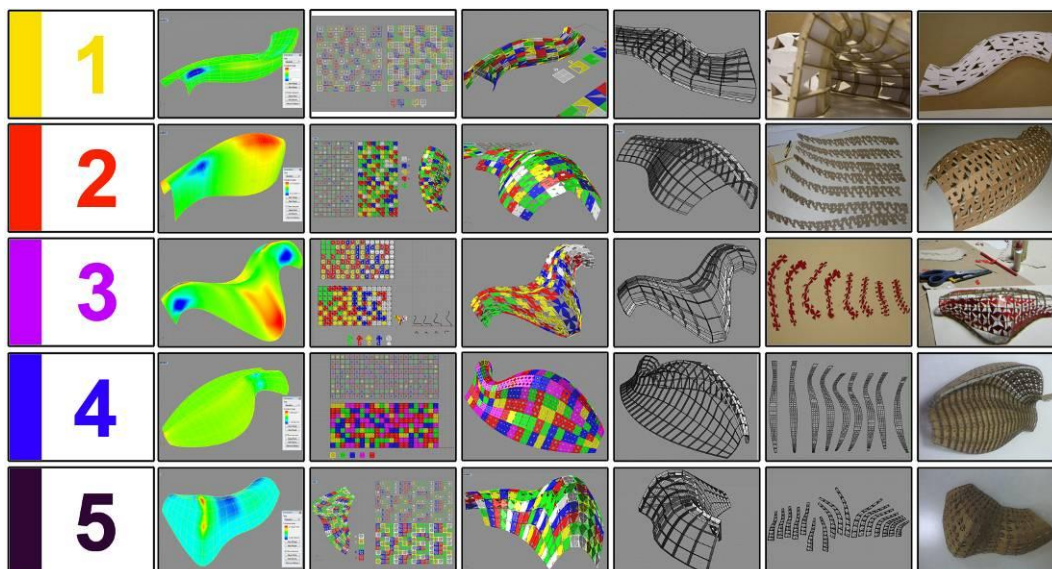
compreensão espacial daquilo que está sendo gerado.

A segunda constatação é que, durante a montagem dos modelos físicos, os estudantes mostraram-se surpresos com algumas das características dos modelos obtidos. Em primeiro lugar, a escala 1:100 os surpreendeu, uma vez que eles achavam que alguns componentes eram maiores do que aquilo que viram na tela do monitor de vídeo. Em segundo lugar, os estudantes se conscientizaram da importância dos modelos físicos como um meio complementar fundamental para a plena compreensão da materialidade da arquitetura.

A terceira constatação é que os resultados obtidos proporcionaram a sensação de êxito diante do desafio de criar e produzir algo de seu interesse. A motivação e a autoconfiança aumentaram de modo significativo, pois eles perceberam que este exercício possui um potencial de aplicação direta em suas atividades projetuais. Parece que os estudantes entenderam que os meios de expressão e de representação estão intimamente relacionados com o processo de projeto.

Constatamos que alguns problemas gerados durante a montagem do modelo físico ocorreram justamente nas equipes que insistiram na proposta inicial, mesmo sabendo que a excessiva curvatura gaussiana representaria problemas de execução. Neste caso, os estudantes assumiram diferentes posições para enfrentar o problema. A equipe 3, por exemplo, refez a superfície e propôs uma nova curvatura, que foi realizada com sucesso. No relatório final esta equipe fez o seguinte comentário: *“Partimos para a criação de uma nova superfície e procedemos da mesma maneira que a anterior”*. Parece que o trabalho motivou as equipes, que não pouparam esforços para vencer os obstáculos.

Por outro lado, as equipes 2 e 6 insistiram até o final, mas não conseguiram completar, de modo satisfatório, a cobertura com os módulos. Isso ocorreu porque a espessura do papel utilizado para os módulos não assumia a dupla curvatura, obrigando os alunos a fazerem “adaptações”, com dobras e fissuras indesejadas.



**Figura 10** - Resultados obtidos durante as etapas do processo. Fonte: Autor: 2010.

É importante destacar que a persistência e o empenho dos alunos para enfrentar os vários obstáculos, que surgiram durante todo o processo, só ocorreram porque eles estavam motivados intrinsecamente. A primeira dificuldade foi a de obter resultados diferentes a partir de diversos tipos de papéis. Isso ocorreu porque a cortadora a laser não foi configurada adequadamente para quatro equipes, pois elas não escolheram o papel duplex branco que as outras seis equipes utilizaram. Ao escolher outros tipos de papel, como o craft, triplex ou de maior espessura, por algum descuido, a máquina não foi configurada com a potência e velocidade adequada, obrigando os alunos a enviarem novamente o arquivo ou, pior, a completar o corte à mão, com pequenos reparos.

Outra dificuldade foi que as vigas de encaixe macho e fêmea variaram de curvatura, oscilando de um lado para outro, dificultando a montagem na aula de maquete. Isso ocorreu em quatro equipes, pois embora as superfícies fossem adequadas do ponto de vista da curvatura, o espaçamento das peças da estrutura não foram bem planejados, ocasionando curvaturas indesejadas, que dificultaram a montagem. Neste caso, os estudantes refizeram a estrutura, com maior espaçamento e montaram novamente outro modelo físico.

Os variados recursos utilizados, assim como a exploração de quatro diferentes espaços de trabalho (Maquetaria, atelier e LAPAC para disciplina de Maquete; e Laboratório de Informática e LAPAC para disciplina de Informática) estimularam os alunos, uma vez que os ambientes possibilitaram diferentes ritmos e formas de interação.

Concluimos que as habilidades desenvolvidas durante o fazer manual permitem expressar diferentes ações cognitivas, pois incorporam simultaneamente a visão e o tato durante o pensar-fazer. Durante a produção de modelos físicos, essa combinação dos sentidos torna-se um modo mais natural de assimilar e apreender o espaço que está sendo concebido. Nesse sentido, o modelo físico permite utilizar a mão em duas direções: em parte para efetuar uma tarefa, em parte para investigar possibilidades criativas.

O modelo físico é mais tangível porque envolve mais de um sentido, propiciando uma percepção mais profunda e crível. O modelo físico é mais do que um artefato artesanal; é uma forma de explorar manualmente possibilidades e descobertas inesperadas. A destreza e a competência de realizar rapidamente algo manualmente permitem explorar novas ideias durante sua execução. Por outro lado, as novas tecnologias digitais facilitam a execução de ações repetitivas, processam e combinam grandes quantidades de dados complexos, acelerando e dinamizando o processo de experimentação, de comparação e de seleção das melhores alternativas. No meio digital, pode-se testar mais, pois não há o contato irreversível da matéria. Portanto, essa complementação manual-digital é primordial na prática de projeto.

A compreensão pelo toque é imprescindível para a plena compreensão da posição de objetos no espaço. Embora o meio digital seja excelente para racionalizar formas de grande complexidade, o meio físico é ainda aquele onde percebemos a realidade física com maior intensidade (FLORIO; TAGLIARI, 2008). Modelos físicos e protótipos rápidos ajudam estudantes e

profissionais a experimentar visual e tátilmente o espaço real reduzido, reconhecer elementos e suas características, inter-relações e seqüências espaciais. O contato físico através do tato permite sentir, analisar e julgar aspectos que a visão, à distância, não permite. Consequentemente, o senso de orientação espacial se torna mais fácil porque é possível manipular na realidade aquilo que o conhecimento à distância não oferece.

Os experimentos realizados contribuíram para que os estudantes se conscientizassem sobre algumas implicações decorrentes da elaboração de formas complexas. Atualmente, a facilidade de gerar formas inusitadas por meio de recursos computacionais tem fascinado os estudantes, particularmente projetos mais ousados. As experiências didáticas realizadas tiveram o firme propósito de incentivar um aprendizado único e intransferível a partir da modelagem de formas complexas. Contudo, para enfrentar este desafio, teve-se que alertar sobre a importância do conceito, da geometria, das implicações técnicas-construtivas e materiais empregados na sua materialização. Nesse sentido, os modelos físicos foram extremamente eficazes nesta compreensão, pois permitiram sentir pela visão e pelo tato as relações espaciais entre os elementos modelados no espaço tridimensional, e, sobretudo, entender a complementaridade entre modelos físicos e digitais na concepção de formas complexas. Além disso, os conceitos sobre parametrização, que foram abordados, permitiram despertar o interesse dos alunos sobre o processo criativo, com descobertas inesperadas advindas da manipulação de parâmetros.

O trabalho colaborativo se mostrou produtivo, pois uns ajudaram os outros, compartilhando conhecimentos e habilidades. A experimentação e a necessidade de improvisação promoveram um aprendizado único e intransferível a cada participante. Embora os modelos digitais mostrassem uma clara definição geométrica de seus elementos constituintes, e os encaixes se mostrassem perfeitos para a montagem, as superfícies desdobradas, assim como as vigas macho-fêmeas possuíam dupla curvatura. Os alunos entenderam que embora a construção do modelo físico se tornou possível, o mesmo não ocorreria na situação de construção real, com materiais não flexíveis (como os papéis utilizados), uma vez que determinadas geometrias possuíam dupla curvatura, e não possuíam flexibilidade de adaptação na realidade da construção.

O aprendizado decorrente deste trabalho foi intenso. O clima de improviso foi estimulante, pois se tratava de uma experiência nova, tanto para o professor como para o estudante. Embora

tivéssemos um roteiro para as etapas de trabalho, foram surgindo problemas imprevistos durante ações *situadas* em diferentes contextos, que estimularam a capacidade de procurar caminhos alternativos, tanto por parte do orientador, como por parte dos estudantes. Durante a execução foi necessário repensar o processo. Desde o início os alunos foram alertados que a avaliação seria pelo processo como um todo e não pelo resultado final. Assim, sem a pressão de obter êxito total e sem a obrigação de entregar um trabalho final “correto” e “perfeito”, os alunos se empenharam para superar a si próprios, fazendo diferentes tentativas até obter uma solução que lhes parecia aceitável.

## 5.2 Experiência didática 2: FAU Mackenzie

---

A proposta de criar um *workshop* para alunos do último ano do Curso de Arquitetura surgiu a partir do pressuposto que eles teriam uma tripla motivação: primeiro porque poderiam aprender algo novo, baseado em novas tecnologias; segundo porque poderia ter uma aplicação imediata em seus próprios projetos; terceiro porque a participação foi voluntária, sem um compromisso de entregar um “produto acabado” para ser “julgado” pelo professor. Assim, criou-se um ambiente favorável ao aprendizado, com liberdade e livre de pressões.

No 1º semestre de 2011, a proposta para os alunos do Mackenzie foi produzir alternativas para coberturas formadas por dobraduras, utilizando o programa Rhinoceros e o *plug-in* Grasshopper. Dez alunos foram selecionados para participar de um *workshop* durante uma semana, com carga horária de 30 horas (seis horas por dia, três horas de manhã, e três à tarde). Os alunos trabalharam em duplas, de modo que ao final obtivessem cinco diferentes propostas de coberturas paramétricas. Por se tratar de alunos do final do Curso de Graduação, a intenção foi fornecer subsídios para encorajá-los a testar a MP como um meio de investigação de propostas arquitetônicas. Assim, sem um programa de necessidades para um uso específico, os alunos tiveram oportunidade de se familiarizar com estes recursos.

No primeiro dia do *workshop* os alunos tiveram contato com alguns algoritmos simples, de modo a entender o encadeamento *sequencial, lógico e explícito* entre comandos, funções e parâmetros.

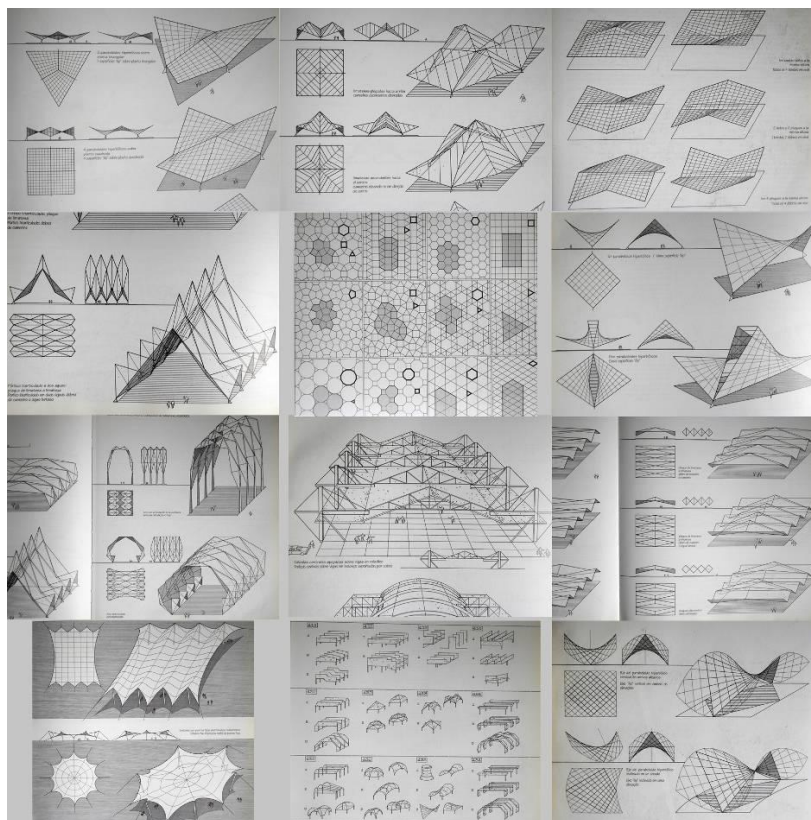
No segundo dia propuseram, ainda de um modo não tão sistematizado, uma cobertura a partir da definição de pontos, linhas e planos no espaço, nas direções x, y e z. Este processo inicial foi importante, pois os estudantes perceberam o



potencial destes recursos, assim como a importância da definição lógica dos dados contidos nos parâmetros e a *dependência* entre eles.

No terceiro dia os estudantes foram orientados pelo professor no estudo de algumas características de estruturas similares conhecidas (Fig. 11). Este estudo serviu como ponto de partida para pensar a parametrização.

O conhecimento de precedentes foi muito útil para servir como uma base do raciocínio analógico, pois algumas características destes projetos foram mapeadas e transferidas para o projeto que eles estavam operando. Este entendimento dos subproblemas presentes no estudo e na conceituação das *variáveis* da estrutura permitiu que eles gerassem diferentes famílias de formas por meio da MP.



**Figura 11** - Referências utilizadas pelo orientador para o raciocínio analógico. Fonte: Engel, 1997.

Como será visto na próxima seção deste artigo, nos últimos dois dias os alunos tiveram que propor uma solução própria, com os parâmetros claramente anunciados em um algoritmo. Assim, no final deste breve *workshop*, cada dupla

propôs uma estrutura-cobertura composta por dobraduras, mostrando a flexibilidade do algoritmo para obter uma *família* de formas com pelo menos 24 variações a partir da combinação entre os parâmetros criados (Figuras 12 a 17).

**Algoritmo 1: Cobertura por Dobradura**

Neste algoritmo a equipe 2 procurou parametrizar e gerar uma família de coberturas por dobraduras. Os módulos foram gerados a partir da manipulação de pontos no espaço, de modo a favorecer diferentes pórticos. Na primeira etapa foram estabelecidos os parâmetros para o comprimento, a largura e a altura do módulo. O comprimento do módulo derivou de dois parâmetros. No primeiro foi estabelecido o vão entre os pilares, variando entre 6 e 20 metros. O segundo parâmetro, correspondente ao deslocamento do pilar no eixo x, variou entre 0 e 5 metros. Portanto, o

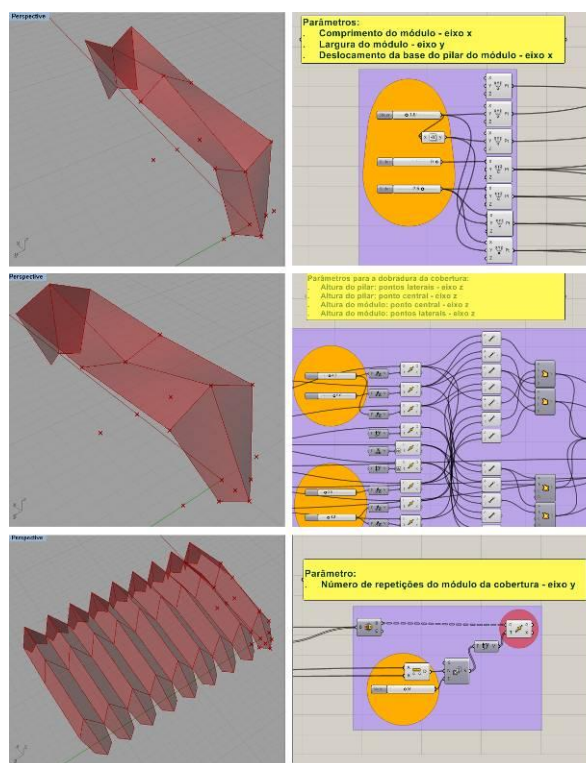
comprimento da cobertura (eixo x) variou entre 6 e 30 metros.

O parâmetro para a largura variou entre 1 e 3 metros. A largura mínima igual a 1 metro permite alinhar a largura do pilar com a cobertura central, enquanto que a largura maior que 1 metro gera espaços entre pilares (Fig.12).

Para a definição da geometria da dobradura da cobertura foram criados quatro parâmetros. Dois parâmetros definem a altura do pilar e os outros dois definem a altura do módulo no centro do vão, com alturas variando entre 2.50 e 10 metros. A combinação entre os quatro pontos

(2 ao centro e 2 em cada extremidade) permite gerar dobraduras com superfícies simples ou complexas, ou seja, superfícies planas, curvas em uma direção ou superfícies com dupla curvatura, implicando em diferentes técnicas construtivas,

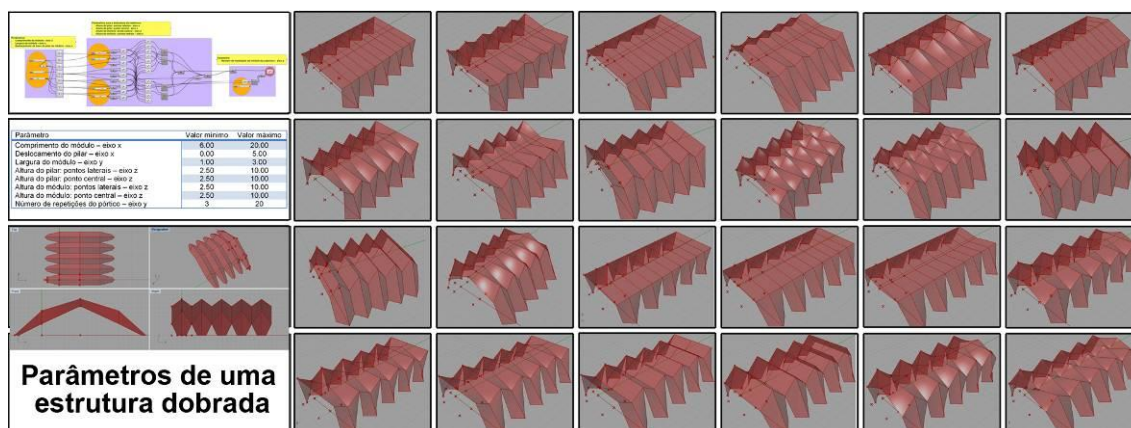
com maiores ou menores dimensões (Fig.12). Do ponto de vista estético, certas combinações são atraentes, mas nem sempre compatíveis com questões funcionais e técnicas construtivas.



**Figura 12** - Definição do algoritmo no Grasshopper realizado pela equipe 2 de estudantes do Mackenzie. Fonte: Autor, 2011.

Por fim, o número de repetições do pórtico na direção do eixo y variou entre 3 e 20, resultando em coberturas com áreas variando entre 36 e 1800 metros quadrados. Conseqüentemente, a combinação entre os 8 parâmetros permite

gerar uma ampla família de coberturas por dobraduras, que podem atender a diferentes usos e necessidades. A figura 13 demonstra a flexibilidade, adaptabilidade e variabilidade proporcionada pelo algoritmo.



**Figura 13** - Experimento realizado pela equipe 2 de estudantes do Mackenzie. Fonte: Autor, 2011.

Parâmetros do algoritmo 1	Valor mínimo	Valor máximo
Comprimento do módulo – eixo x	6.00	20.00
Deslocamento do pilar – eixo x	0.00	5.00
Largura do módulo – eixo y	1.00	3.00
Altura do pilar: pontos laterais – eixo z	2.50	10.00
Altura do pilar: ponto central – eixo z	2.50	10.00
Altura do módulo: pontos laterais – eixo z	2.50	10.00
Altura do módulo: ponto central – eixo z	2.50	10.00
Número de repetições do pórtico – eixo y	3	20

### Algoritmo 2: Pilares, arcos e pórticos

Este algoritmo foi definido em três etapas. Na primeira foram criados os parâmetros relativos às dimensões e forma do pilar: número de lados do polígono; raio do polígono; altura do pilar no eixo z; deslocamento do pilar no eixo x. A intenção foi criar uma gama de variações paramétricas a partir de poucos parâmetros. Mas, ao mesmo tempo, o propósito foi gerar propostas plausíveis em termos construtivos, e que também atendessem a uma ampla gama de usos, desde edificações esportivas e escolares, até galpões e pavilhões para fins variados.

O primeiro e segundo parâmetro estabeleceram variações entre 3 e 12 lados do polígono, com raios variando entre 0.30 e 1.20 metros, de acordo com o vão a ser vencido e o tipo de material e técnica empregada na sua construção. A variação para altura do pilar (eixo z) ficou entre 2.50 a 5 metros, enquanto que o deslocamento de seu eixo na direção do eixo x variou entre 0 e 3 metros, permitindo assim ajustes em relação à tangente do arco e, ao mesmo tempo, garantindo alturas mínimas para diversos usos pretendidos (Fig.14).

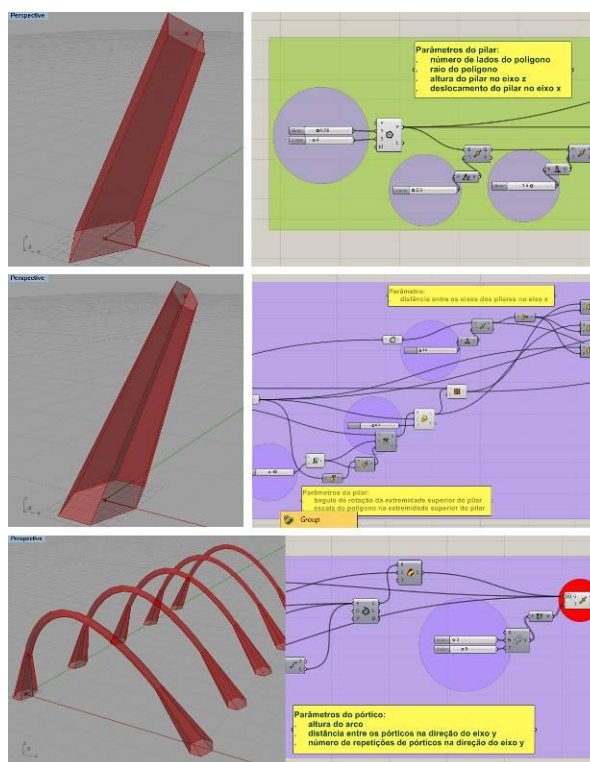


Figura 14 - Algoritmo criado pela equipe 3 de estudantes do Mackenzie. Fonte: Autor, 2011.



Na segunda etapa de definição do algoritmo foram estabelecidos parâmetros para o vão livre. Para tanto, foi necessário definir um parâmetro para a distância entre os eixos dos pilares das duas extremidades na direção do eixo x, o ângulo de rotação da extremidade superior do pilar, que se ajustasse de acordo com a direção da tangente do arco, e a altura do arco central. O primeiro variou entre 6 e 20 metros; o segundo variou entre 0 e 90 graus; o terceiro variou entre 2.50 e 12 metros. Outro parâmetro definido nesta etapa foi a escala do polígono na extremidade superior do pilar, que variou entre 1 (mesma escala da base) até 0.2 (1/5 da base). Assim, estes quatro parâmetros (distância, inclinação, escala e altura) definem a forma, o grau de esbelteza e a tangência do arco central.

Na terceira etapa foram estabelecidos parâmetros para a repetição do pórtico na direção do eixo y. O parâmetro para a distância entre os pórticos variou entre 3 e 10 metros, enquanto que o parâmetro para o número de repetições variou entre 2 e 15. Conseqüentemente, as áreas mínimas e máximas variam entre 18 e 5600 metros quadrados.

A Figura 15 demonstra a flexibilidade e adaptabilidade do algoritmo a partir das diferentes combinações entre os valores estabelecidos para os dez parâmetros criados para a geração das formas. A conceituação desta família de formas e de espaços gerados pelo algoritmo atende a diferentes propósitos – funcionais, técnicos, estéticos e espaciais.

Parâmetros do algoritmo 2	Valor mínimo	Valor máximo
Número de lados do polígono	3	12
Raio do polígono	0.30	1.20
Altura do pilar	2.50	5.00
Deslocamento do pilar	0.00	3.00
Distância entre os eixos dos pilares na direção do eixo x	6.00	20.00
Ângulo de rotação (em graus) da extremidade superior do pilar	0	90
Escala do polígono na extremidade superior do pilar	0.2	1
Altura do arco central	2.50	12.00
Distância entre os pórticos	3.00	10
Numero de pórticos na direção do eixo y	2	15

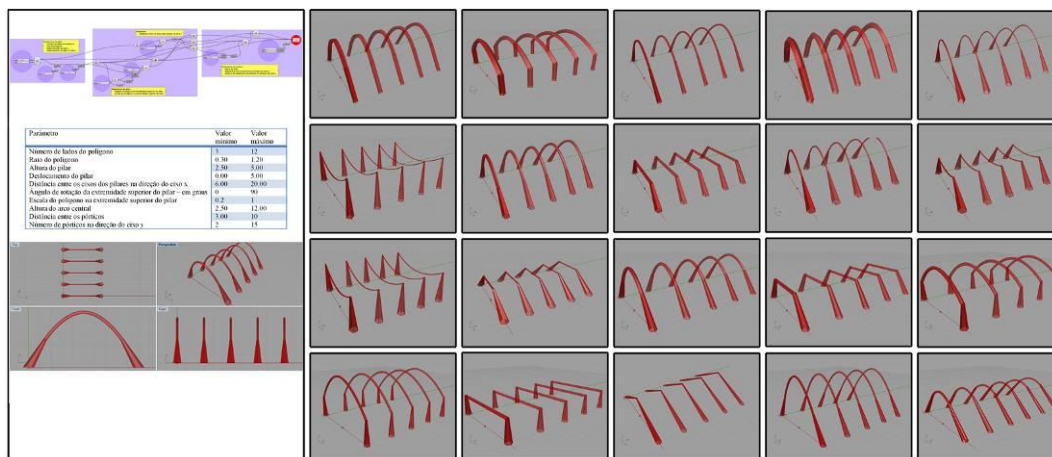


Figura 15 - Família de pilares, arcos e pórticos realizado pela equipe 3 de estudantes do Mackenzie. Fonte: Autor, 2011.

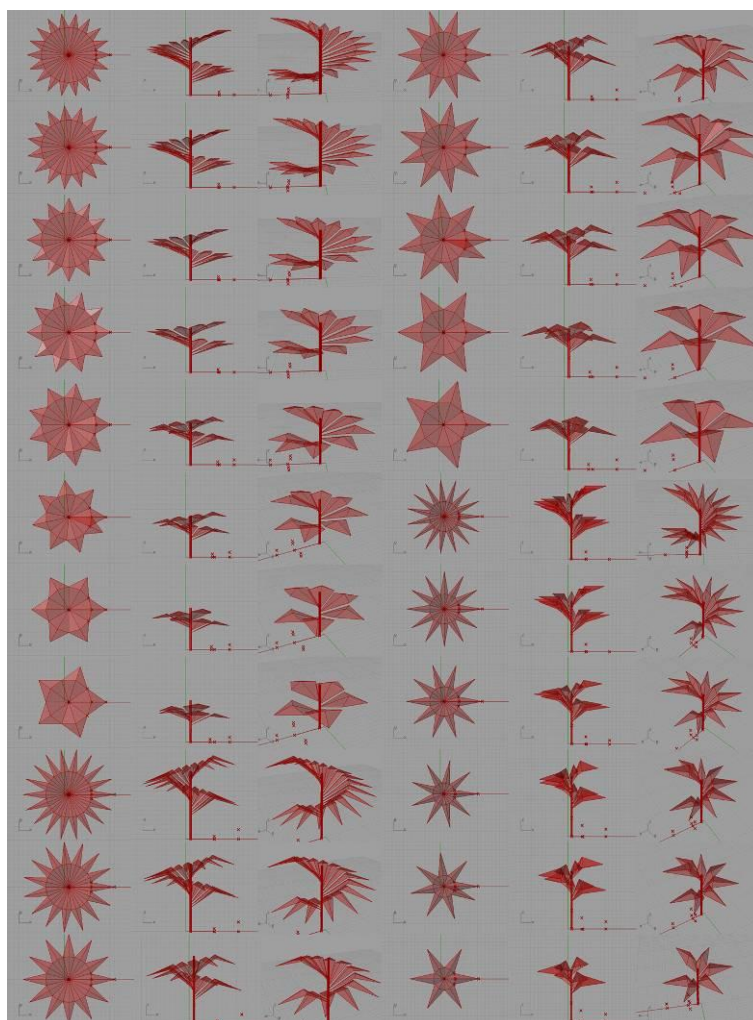
### Algoritmo 3: Cobertura giratória

O módulo desta cobertura foi definido a partir de um conjunto de pontos no espaço. A forma de um losango foi definida a partir de pontos nas direções dos eixos x, y e z, de modo a permitir variações no comprimento, largura e altura do módulo. A escolha do ângulo de rotação de cada módulo define o número de módulos distribuídos em torno de um eixo central. Neste algoritmo, a equipe 1 introduziu algumas funções matemáticas, de modo a gerar diferentes formas para a dobradura que constitui a cobertura.

Inicialmente os parâmetros estabelecidos referem-se ao comprimento, largura e altura do módulo. No primeiro a variação foi entre 2 e 6 metros de raio no eixo x. No segundo, a largura decorreu do parâmetro de ângulo, que variou

entre 10 e 45 graus (em relação ao eixo y). No terceiro a variação (no eixo z) ficou entre 0.50 e 2 metros.

Na segunda etapa foram definidos três parâmetros: número de repetições em torno de um eixo central; Distância entre os módulos escalonados na direção do eixo z; e escala do módulo nas direções x, y e z. O número de módulos variou entre 4 (para ângulos de 10 graus) e 18 (para ângulos de 45 graus). A distância entre módulos variou entre 0 e 1 metro. Os parâmetros referentes à escala variaram entre 1 e 2 metros na direção dos eixos x, y e z.



**Figura16** - Cobertura giratória: realizado pela equipe 1. Fonte: Autor, 2011.

Na última etapa foram definidos os parâmetros para o pilar central. O raio do pilar ficou entre 0.10 e 0.70 metros. O número de lados do

polígono que constitui o pilar variou de acordo com o número de módulos. Este parâmetro foi estabelecido pela mesma função matemática que

determinou o número de módulos. Por fim, a altura do pilar ficou entre 2.50 e 9 metros.

A figura 16 demonstra a flexibilidade e adaptabilidade do algoritmo a partir das

diferentes combinações entre os valores estabelecidos para os nove parâmetros criados para a geração das formas.

Parâmetros do algoritmo 3	Valor mínimo	Valor máximo
Comprimento do raio do módulo – eixo x	2.00	6.00
Largura do módulo em graus – eixo y	10	45
Altura do módulo – eixo z	0.50	2.00
Número de módulos	4	18
Distância entre os módulos na direção do eixo z	0.00	1.00
Escala dos módulos na direção dos eixos x, y e z	1.00	2.00
Raio do pilar central	0.10	0.70
Número de lados do polígono do pilar	4	18
Altura do pilar	2.50	9.00

#### Algoritmo 4: Pergolado

Este algoritmo foi criado com a intenção de gerar coberturas com diferentes ritmos de sombreamentos. Os parâmetros para as pérgolas móveis permitem ajustes no comprimento, largura, altura, espessura e rotação, gerando diferentes desenhos. Como um elemento de transição, pergolados não atendem à necessidade de uma cobertura para proteção

contra intempéries, mas à necessidade de criar zonas que intercalam luz e sombra. Assim, a equipe 5 propôs um tipo de pergolado que atuasse sobre os sentidos, particularmente sobre a percepção visual durante um determinado percurso. Os valores mínimos e máximos para cada parâmetro estão na tabela abaixo.

Parâmetros do algoritmo 4	Valor mínimo	Valor máximo
Comprimento do módulo – eixo x	4.00	20.00
Largura do módulo – eixo y	4.00	10.00
Altura do módulo – eixo z	2.50	7.00
Espaçamento entre pilares	4.00	12.00
Altura das extremidades	0.00	7.00
Largura das vigas	0.20	0.50
Altura das vigas	0.20	0.60
Deslocamento da extremidade das vigas internas	0.00	0.90
Raio do pilar	0.20	0.8
Número de lados do polígono do pilar	3	12
Número de repetições dos módulos	1	10



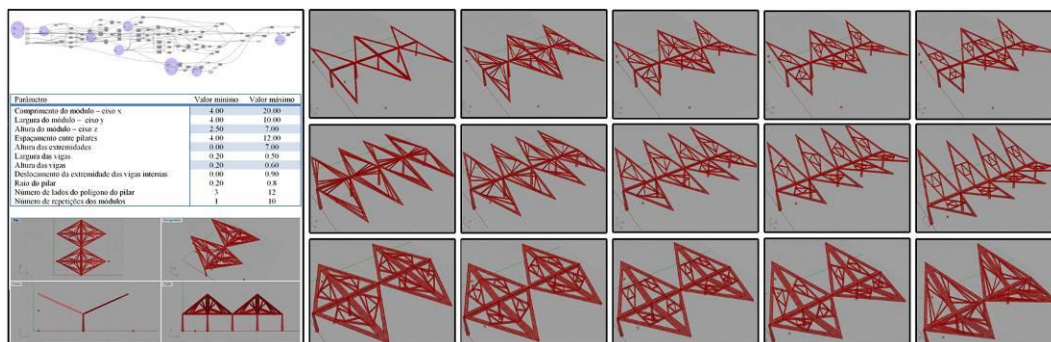


Figura 17 - Pergolado móvel: realizado pela equipe 5. Fonte: Autor, 2011.

A distância entre as pérgolas, assim como a espessura delas estão vinculadas aos parâmetros estabelecidos. Por meio de funções matemáticas, as vigas internas possuem a metade da espessura das vigas externas. Este procedimento permitiu compatibilizar questões técnicas com as estéticas e funcionais. Além disso, a rotação das pérgolas internas varia de acordo com o deslocamento dos módulos, de modo a gerar diferentes ritmos de sombras, assim como diferentes graus de permeabilidade ou de fechamento. Assim estas variáveis permitiram gerar uma família de pergolados.

### Discussão sobre os resultados obtidos no experimento realizado na FAU Mackenzie

Na experiência realizada no Mackenzie, os alunos do final do Curso, com melhores noções de estrutura, apresentaram questões importantes sobre materiais mais apropriados a cada proposta. Em decorrência disso, estabeleceram melhor os critérios para os parâmetros dos componentes da estrutura. Parece que o tempo maior de estudo favorece a compreensão de múltiplos aspectos do projeto, fazendo com que os estudantes consigam pensar e resolver problemas de vários domínios ao mesmo tempo.

Os resultados obtidos por meio dos algoritmos criados surpreenderam os estudantes, pois eles não conseguiram antever as múltiplas combinações entre os parâmetros que eles próprios criaram. Nas figuras 12 a 17 pode-se visualizar algumas combinações entre alturas, distâncias e escalas, que resultaram em superfícies e formas singulares.

A maior dificuldade que os alunos enfrentaram foi organizar o pensamento de um modo lógico e sequencial, uma vez que o encadeamento dos comandos deve ser rigoroso em modelagem

paramétrica. Ocorreram dificuldades em relação à proporção e escala entre elementos criados, pois a manipulação dos “sliders”, sem critério, gerou formas indesejadas e, às vezes, sobrepostas. Para impedir que isso ocorresse, foi necessário alertar sobre os limites mínimos e máximos para alguns parâmetros.

Ocorreram algumas dificuldades com relação às funções matemáticas, que permitem estabelecer poderosas relações entre os diversos parâmetros. Funções matemáticas envolvendo seno e co-seno, ou ainda, a transformação de radianos em graus e o número  $\Pi$  (Pi) ou mesmo a definição de equações matemáticas simples, tais como  $x/y$  ou  $(x+(2*y))/z$ , por exemplo, parecem ser abstratas para alguns estudantes, não habituados a pensar com a lógica matemática.

Outras dificuldades operacionais ocorreram na definição dos vetores (x, y e z) e planos de referência no espaço (xy, xz, yz, etc.), e na organização das transformações (mover, rotacionar, alterar escala) e deslocamentos, centros de rotação e de espelhamento entre objetos, em três dimensões no espaço.

Por fim, outra constatação é a importância de um repertório de soluções conhecidas, como um meio de estudar e aprofundar questões de projeto. Embora os alunos consigam realizar suas próprias propostas, quando são apresentados estudos de casos similares aos que eles estão enfrentando, seus projetos alcançam maior consistência, maior profundidade, e enfrentam, com maior consciência, um espectro mais amplo de problemas.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Integrar pensamento criativo e crítico no currículo requer organização, disciplina e grande disposição por parte do professor para orientar e debater os variados aspectos do trabalho com os alunos. Ao expor claramente os objetivos no início de cada Curso, foi possível engajar os estudantes na investigação proposta.

As duas disciplinas e o *workshop* foram finalizados com um *feedback*. Isto teve um grande significado para os estudantes, pois uma realimentação positiva, ressaltando a qualidade do processo e dos resultados obtidos, demonstra interesse no aprendizado dos alunos, resultando no fortalecimento de confiança deles naquilo que eles pensaram e descobriram durante o fazer.

O trabalho *colaborativo* foi estimulado em sala de aula, fazendo com que os grupos de estudantes trocassem informações e conhecimentos, se enriquecendo mutuamente, e aprendessem a confiar e a respeitar as ideias uns dos outros, aceitando assim diferentes pontos de vista.

Constatamos que os estudantes apresentam dificuldades para identificar características conceituais e profundas sobre projetos similares. Consequentemente, a tendência é identificarem apenas alguns traços ou características no âmbito formal, sem se deter em outros domínios, como a estrutura e materiais empregados. Neste momento, a sedução da forma prevalece sobre os outros domínios, como o funcional e o técnico-construtivo. Nos primeiros semestres do Curso de Arquitetura essa limitação é ainda aceitável, mas o mesmo não pode ser dito para alunos no final do Curso, que deveriam ter uma base mais sólida e conceitual para a atuação em projeto.

Os recentes recursos do *plug-in* Paneling Tools têm facilitado a produção e a distribuição de componentes sobre superfícies contínuas de terceiro grau. Por se tratar de comandos pré-programados que, quando instalados localizam-se no menu superior do programa Rhinoceros, já condensam uma série de comandos do programa Rhinoceros, facilitando a operação de construção de formas a partir da distribuição e manipulação de pontos no espaço. Os pontos servem como referência para a construção de superfícies e sólidos que, por sua vez, podem ser distribuídos ao longo de isocurvas na direção U e V (isto é, x e y no espaço). No entanto, os exercícios propostos aos estudantes dos dois Cursos mencionados tiveram a intenção de não facilitar demasiadamente o processo e alcançar rapidamente os resultados oferecidos por neste tipo de *plug-in*. A intenção foi mostrar o

pensamento que norteia a solução de determinados problemas, desde a modelagem paramétrica até a produção de modelos físicos por corte a laser. Não há dúvida que o Paneling Tools pode acelerar a obtenção de determinados resultados, mas parece que o *plug-in* deveria ser utilizado após o ensino de algumas técnicas de modelagem paramétrica, mesmo porque todo *plug-in* possui suas limitações, e não atende a todas as necessidades.

Por outro lado, as atuais técnicas de modelagem paramétrica por *scripts* ainda apresentam dificuldades para a sua pronta utilização em Cursos de Graduação, uma vez que exigem um aprendizado mais complexo de programação, que a maioria dos estudantes de arquitetura ainda não possui.

O conceito de *variabilidade*, com a exploração de diferentes estratégias para resolver os problemas que surgiam no decorrer do trabalho, se mostrou fundamental para a descoberta de novas possibilidades de solução para o mesmo problema. Na modelagem paramétrica, os alunos perceberam que a concatenação lógica dos comandos é apenas uma parte do problema, uma vez que a exploração de variações de parâmetros e as combinações entre eles exigem flexibilidade de pensamento e tolerância à ambiguidade. As descobertas inesperadas ocorreram, pois vários alunos revelaram que os resultados obtidos na modelagem paramétrica não haviam sido previstos *à priori*. Assim, para gerar diferentes famílias de formas e ampliar o repertório de soluções para o mesmo problema, os estudantes tiveram que estar abertos à experimentação e ao imprevisto, enfrentando riscos e incertezas durante o processo.

É importante destacar que os estudantes entenderam alguns limites no uso da tecnologia envolvida (programas Rhino e Paracloud; cortadora a laser; e o *plug-in* Grasshopper), assim como a limitação de suas capacidades imaginativas de explorar tais recursos tecnológicos. Nessa experiência de interação homem-máquina, foi possível entender que não basta ter acesso aos diferentes aparatos tecnológicos. A capacidade de extrair, de modo criativo, o que há de melhor na competência cognitiva humana, durante sua relação com a máquina, requer experiência e motivação para explorar as potencialidades de uso dos recursos tecnológicos.

Criatividade pode advir da subversão de um uso programado, ou mesmo pode ser decorrência de algo mal sucedido, mas que conduziu a um resultado inesperado e útil. O mais importante é

que os alunos se adaptaram diante de suas limitações e as das tecnologias, e exploraram, dentro de suas possibilidades, o que eles possuíam de melhor: vontade e perseverança.

Ao enfrentar os problemas de vários pontos de vista, os alunos aprenderam a integrar

conhecimentos de várias disciplinas. A imersão deles durante a realização dos experimentos mostrou que eles estavam motivados intrinsecamente. Além disso mostraram autodisciplina na superação dos obstáculos e na concretização do trabalho.

## REFERÊNCIAS

---

ALVARADO, R. G.; TURKIENICZ, B. Generative House: Exploration of Digital Fabrication and Generative System for Low - cost Housing in Southern Brazil. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 14, SIGRADI 2010, Bogotá. *Anais...* Bogotá, Colombia: UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, 2010, p. 384-387.

BRUSCATO, U. M.; ALVARADO, R. G. Muro - pixel: exploración digital de un sistema constructivo de placas entrelazadas. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 14, SIGRADI 2010, Bogotá. *Anais...* Bogotá, Colombia: UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, 2010, p. 205-208.

BUENO, E.; BARRERA, C. El Scripting como estrategia de diseño: una experiencia pedagógica: Scripting as a strategy for the design: one pedagogical experience. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 12, SIGRADI 2008, La Habana. *Anais...* La Habana, Cuba, 2008, p. 549-553.

CELANI, G. Enseñando diseño generativo: una experiencia didáctica. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 13, SIGRADI 2009, São Paulo. *Anais...* 2009, São Paulo, Brasil: UPM, 2009, p. 162-165.

CHIARELLA, M. Superfícies paramétricas y arquitectura: Conceptos, ideación y desarrollo. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 8, SIGRADI 2004, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre, Brasil: UNISINOS, 2004, p. 393-395.

CLANCEY, W. J. *Situated cognition: on human knowledge and computer representations*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

CSIKSZENTMIHALYI, M. *Creativity: flow and the psychology of discovery and invention*. New York: HarperCollins, 1997.

DEMO, P. *Educar pela pesquisa*. 8. ed. Campinas: Autores Associados, 2007.

ENGEL, H. *Sistemas Estruturais*. Barcelona: Gustavo Gili, 1997.

FLORIO, W. Modelagem Paramétrica no Processo de Projeto em Arquitetura. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, SBPQ 2009, São Carlos. *Anais...* São Carlos: USP, 2009a, p. 571-582.

\_\_\_\_\_. Criatividade, Cognição e Processo de Projeto: uma reflexão sobre o ensino-aprendizagem. In: IV PROJETER: PROJETO COMO INVESTIGAÇÃO, 4, 2009, São Paulo. *Anais...* São Paulo: FAU Mackenzie, 2009b, p. 1-23.

FLORIO, W.; TAGLIARI, A. O uso de cortadora a laser na fabricação digital de maquetes físicas. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 12, SIGRADI 2008, La Habana. *Anais...* La Habana, Cuba, 2008, p. 256-263.

GREENO, J. G. The situativity of knowing learning and research. *American Psychologist*, v. 53, n. 1, p. 5-26, 1998. <http://dx.doi.org/10.1037/0003-066X.53.1.5>

HANNA, S.; TURNER, A. Teaching parametric design in code and construction: Enseñando Diseño paramétrico en código y construcción. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 10, SIGRADI 2006, Santiago de Chile. *Anais...* Santiago de Chile, Chile, 2006, p. 158-161.

HARDY, S. Parametricism: Student Performance Criteria (SPC). In: ASSOCIATION FOR COMPUTER AIDED IN ARCHITECTURE, ACADIA 2011, Lincoln. *Anais...* Lincoln: University of Nebraska, 2011, P. 12-15.

HERNANDEZ, C. R. B. Parametric Gaudi. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 8, SIGRADI 2004, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre, Brasil: UNISINOS, 2004, p. 213-215.

KOLAREVIC, B. (Ed.). *Architecture in the digital age: design and manufacturing*. New York: Spon Press, 2003.

HERRERA, P. C. Patrones y convenciones en el uso de Rhinoscripting. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 13, SIGRADI 2009, São Paulo. *Anais*. São Paulo, Brazil: UPM, 2009, p. 340-342.

REITMAN, W. R. *Cognition and Thought*. New York: John Wiley, 1965.

ROGERS, D. F. *An Introduction to NURBS: With Historical Perspective*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2001.

SCHÖN, D.; WIGGINS, G. Kinds of seeing and their functions in designing. *Design Studies*, v. 13, n. 2, p. 135-156, 1992. [http://dx.doi.org/10.1016/0142-694X\(92\)90268-F](http://dx.doi.org/10.1016/0142-694X(92)90268-F)

STOKES, P. D. Learned variability levels: Implications for creativity. *Creativity Research Journal*, v. 12, p. 37-45, 1999. [http://dx.doi.org/10.1207/s15326934crj1201\\_5](http://dx.doi.org/10.1207/s15326934crj1201_5)

TAGLIARI, A.; FLORIO, W. Fabricação Digital de Superfícies: Aplicações da Modelagem Paramétrica na Criação de Ornamentos na Arquitetura Contemporânea. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 13, SIGRADI 2009, São Paulo. *Anais...* São Paulo: UPM, 2009, p. 77-79.

VINCENT, C. C.; NARDELLI E. S.; NARDIN, L. R. *Parametrics in Mass Customization*. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 14, SIGRADI 2010, Bogotá. *Anais...* Bogotá, Colômbia: UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, 2010, p. 236-239.

### **Agradecimentos**

O autor agradece o apoio do CNPQ, aos funcionários do LAPAC na Unicamp, à Priscila Azevedo da Maquetaria do IA e aos estudantes das duas Universidades pela extrema motivação, dedicação e empenho nos trabalhos realizados.

---

### **DADOS DO AUTOR**

(i) Professor Adjunto da Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP e Professor Adjunto da Universidade Presbiteriana Mackenzie | Campinas-SP, Brasil | e-mail: wflorio@uol.com.br | CV Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2268543062941592>