



EIXO TEMÁTICO:

- | | | |
|---|---|---|
| <input type="checkbox"/> Ambiente e Sustentabilidade | <input type="checkbox"/> Crítica, Documentação e Reflexão | <input type="checkbox"/> Espaço Público e Cidadania |
| <input type="checkbox"/> Habitação e Direito à Cidade | <input type="checkbox"/> Infraestrutura e Mobilidade | <input checked="" type="checkbox"/> Novos processos e novas tecnologias |
| <input type="checkbox"/> Patrimônio, Cultura e Identidade | | |

Ensino de Modelagem Paramétrica no Processo de Projeto: experiências didáticas

Teaching of Parametric Modeling in Design Process: didactic experiences

FLORIO, Wilson (1)

(1) Professor Doutor, MACKENZIE/UNICAMP – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, SP, Brasil; email:
wflorio@uol.com.br



Ensino de Modelagem Paramétrica no Processo de Projeto: experiências didáticas

Teaching of Parametric Modeling in Design Process: didactic experiences

RESUMO

O presente artigo relata experiências didáticas ocorridas nos últimos três anos na disciplina Informática IV do curso de Arquitetura e Urbanismo da Unicamp. Diante da crescente complexidade dos edifícios contemporâneos, e da necessidade de se criar projetos com maior qualidade e melhor definição dos elementos construtivos, a intenção desta investigação é verificar o papel da modelagem paramétrica (MP) na concepção de formas complexas. Inicialmente são apresentados conceitos sobre pensamento e projeto paramétrico, assim como características da MP. São apresentados exercícios, com diferentes níveis de dificuldade, realizados pelos estudantes durante o curso semestral. O artigo contribui para o debate sobre a concepção de projetos amparados pelas novas tecnologias digitais.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem paramétrica, processo de projeto, criatividade, concepção

ABSTRACT

This paper reports student experiments in the last three years in the discipline Informatics IV from the Architecture and Urbanism of Unicamp. Given the increasing complexity of contemporary buildings, and the need to create projects with higher quality and better define the constructive elements, the intent of this research is to ascertain the role of parametric modeling (MP) in the design of complex shapes. Initially thinking about concepts and parametric design, as well as characteristics of MP are presented. Exercises are offered with different levels of difficulty, performed by students during the semester course. The article contributes to the debate on the design of projects supported by new digital technologies.

KEY-WORDS: Parametric modeling, design process, creativity, conception

RESUMEN

Este artículo reporta experimentos de los estudiantes en los últimos tres años en la disciplina Informática IV de la Arquitectura y Urbanismo de la Unicamp. Dada la creciente complejidad de los edificios contemporáneos, y la necesidad de crear proyectos con mayor calidad y una mejor definición de los elementos constructivos, la intención de esta investigación es conocer el papel de modelado paramétrico (MP) en el diseño de formas complejas. Inicialmente pensar en conceptos y diseño paramétrico, así como se presentan las características de MP. Los ejercicios se presentan con diferentes niveles de dificultad, realizados por los alumnos durante el curso de un semestre. El artículo contribuye al debate sobre el diseño de los proyectos apoyados por las nuevas tecnologías digitales.

PALABRAS-CLAVE: Modelado paramétrico, proceso de diseño, la creatividad, el diseño



1 INTRODUÇÃO

O projeto de arquitetura é chamado de paramétrico quando seus elementos construtivos são definidos e manipulados por meio de variáveis na modelagem paramétrica. O projeto é paramétrico quando são empregados recursos computacionais para modificá-lo automaticamente, enquanto os valores dos parâmetros são alterados durante o processo de projeto. A MP é particularmente útil para modelar edifícios com formas complexas, e intrincadas relações entre componentes e subcomponentes no espaço (FLORIO, 2012).

Segundo Monedero (2000), Gossard e Light (1981) foram os primeiros a definir projeto paramétrico. Entretanto, as pesquisas empreendidas por Yehuda Kalay (1983) e Shah e Mantyla (1995), entre outras, demonstram que a MP já estava sendo desenvolvida há trinta anos.

Há definições complementares sobre o que consiste um projeto paramétrico. Monedero afirma que projeto paramétrico implica o uso de parâmetros para definir uma forma, quando o que está realmente em jogo é o uso de relações (MONEDERO, 2000, p. 371). Já Goldberg afirma que projeto paramétrico implica em um novo paradigma de um projeto não padronizado através da propagação da diferença e repetição da variação (GOLDBERG, 2006, p. 102).

Projeto Paramétrico também pode ser entendido como um processo onde a descrição de um problema é definida a partir de suas variáveis. Assim, um projeto paramétrico pode ser entendido como um processo de desenvolvimento de um modelo no computador, ou mesmo como a descrição matemática (e geométrica) de um problema de projeto (HUDSON, 2010, p. 21).

A mudança principal no projeto paramétrico é que neste processo não se busca a criação de uma única forma para cada elemento construtivo, mas procuram-se possíveis alternativas para seleção da forma mais adequada. Nas palavras de Branko Kolarevic:

The emphasis shifts from the “making of form” to the “finding of form”, which various digitally-based generative techniques seem to bring about intentionally. In the realm of form, the stable is replaced by the variable, singularity by multiplicity (KOLAREVIC, 2003, p. 13).

Esta criação por variação, por meio de técnicas generativas, permite experimentar, comparar e selecionar novas famílias de formas complexas, balizados por parâmetros. A noção de *família* é importante no projeto paramétrico: um conjunto de elementos que se diferenciam somente nas dimensões de suas partes. Dentro de uma mesma família as formas variam somente nas relações entre as partes, e não propriamente na geometria. Estas formas são denominadas homeomorfas.

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 em Arquitetura, Engenharia e Construção (FLORIO, 2007; 2009; 2012).



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, chamados *parâmetros*. Estes permitem construir regras, traçar relações entre os pontos de uma curva, e definir o relacionamento entre eles. Portanto, as curvas derivadas deles capacitam a criação de superfícies curvas, controladas parametricamente (FLORIO, 2012).

Os benefícios potenciais do projeto paramétrico foram aclamados quando simultaneamente se reconheceu que a complexidade e o tempo requeridos para as tarefas do projeto, que incorporam métodos paramétricos, aumentaram (AISH; WOODBURY, 2005).

Como bem afirmaram Lee, Sacks e Eastman (2006, p.758), a MP fornece mecanismos para traduzir e implantar expertise em um domínio, como expressões geométricas explícitas que podem automatizar a geração de informações do edifício, especialmente informação geométrica que pode facilitar a geração de um modelo rico. Esta declaração implica em dizer que as expressões geométricas, para serem explícitas, requerem um profissional que possua conhecimentos específicos da área e uma prática deliberada, própria dos *experts*. Assim, a riqueza de informações do modelo reside nos conhecimentos incorporados pela expertise do profissional, que resulta na geração de componentes construtivos definidos com alta qualidade.

Este fato nos conduz a pensar que o ensino de MP requer mais do que habilidades para gerar *scripts*: requer um sujeito que tenha conhecimentos sobre a área específica. Não basta saber utilizar *scripts* e ter um pensamento abstrato, matemático e algorítmico, o sujeito deve ter experiência no domínio, que é decorrente da prática intensa.

Todo projeto de arquitetura possui inúmeras variáveis e múltiplos parâmetros na definição de elementos construtivos constituintes do edifício. Todo projeto de edifícios requer conhecimentos do profissional para entender as relações e a sequência de execução (e/ou montagem) no canteiro de obras entre os componentes construtivos de um edifício. Neste sentido, o processo de projeto depende, fundamentalmente, do entendimento das relações e das dependências entre os componentes da construção. Portanto, projetar a partir de parâmetros requer um modo específico de estruturar as entidades geométricas de cada elemento construtivo, seja por meio de variáveis associativas, seja por meio de relações e dependências entre elas (FLORIO, 2012).

Tornar explícito os parâmetros e as características de um elemento construtivo requer conhecimentos sobre ele. Se, por exemplo, se deseja modelar parametricamente uma janela, deve-se conhecer os sub-elementos que constituem este elemento construtivo. A extração de variáveis e de restrições dependerá desse conhecimento específico, exigindo um planejamento prévio do programador. Em decorrência disso, o uso declarado de parâmetros, regras e restrições permitirão atender às necessidades do projeto a partir de múltiplos testes.

Como o objetivo da MP não é definir uma forma específica, e sim as características mais marcantes de um elemento construtivo, o programador, seja ele arquiteto ou não, deverá ser capaz de aplicar seus conhecimentos na definição das relações entre as geometrias das partes que compõem o elemento, assim como a flexibilidade para obter múltiplas e diferentes formas.



A MP permite a visualização imediata das transformações ocorridas após cada alteração do valor das variáveis. Esta retroalimentação torna o processo ágil, com respostas que catalisam novas ideias, criando novas oportunidades para a manifestação da criatividade. Ao testar múltiplas alternativas e compará-las entre si, o usuário pode julgar e optar pela alternativa mais eficaz em cada caso. Esta possibilidade de experimentar e interagir rapidamente com o modelo 3D, a partir de parâmetros preestabelecidos, torna o processo de projeto mais dinâmico, proporcionando maior confiança na adoção de um determinado resultado. Contudo, o melhor julgamento sempre dependerá da *expertise* do usuário para discernir qual é a alternativa mais adequada em cada situação de projeto (FLORIO, 2012).

A seguir serão relatadas experiências didáticas ocorridas nos últimos três anos na disciplina Informática IV do curso de Arquitetura e Urbanismo da Unicamp. Diante da crescente complexidade dos edifícios contemporâneos, e da necessidade de se criar projetos com maior qualidade e melhor definição dos elementos construtivos, a intenção desta investigação é verificar o papel da modelagem paramétrica (MP) na concepção de formas complexas. Inicialmente são apresentados conceitos sobre pensamento e projeto paramétrico, assim como características da MP. São apresentados exercícios, com diferentes níveis de dificuldade, realizados pelos estudantes durante o curso semestral. O artigo contribui para o debate sobre a concepção de projetos amparados pelas novas tecnologias digitais.

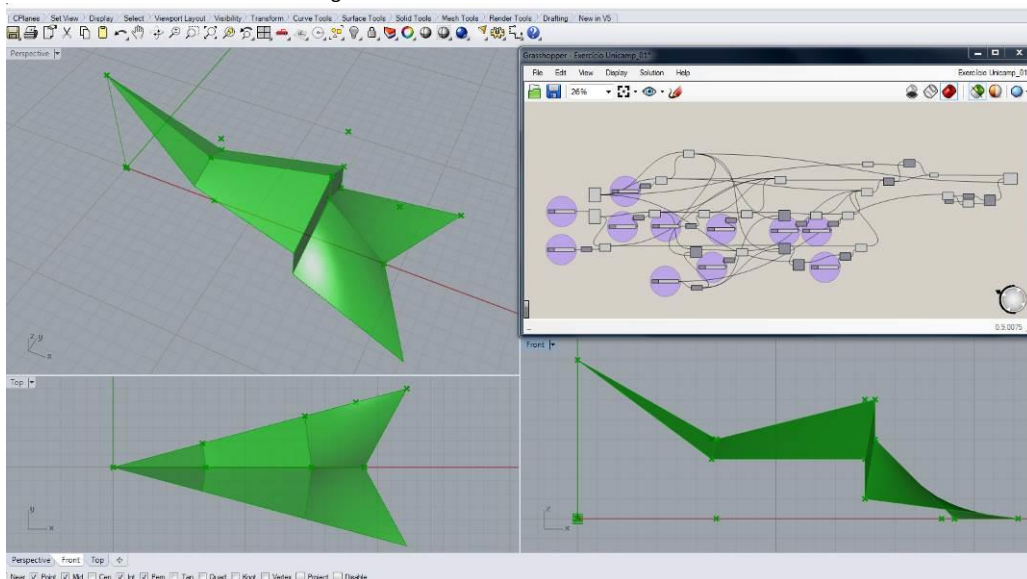
2 MODELAGEM PARAMÉTRICA: EXERCÍCIOS PRÁTICOS

Os exercícios propostos na disciplina Informática Aplicada IV: Modelagem e Animação, na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, se voltam para a questão da modelagem de edifícios de maior complexidade formal-espacial durante a concepção de projetos de arquitetura. Para atingir este fim, adotou-se o programa Rhinoceros e o plugin Grasshopper com a intenção de promover investigações sobre elementos construtivos e formas arquitetônicas que os programas convencionais CAD ou BIM não conseguem auxiliar com a mesma desenvoltura.

O curso tem a duração entre 15 e 17 semanas, e tem início com modelagens de espaços arquitetônicos convencionais, com formas retilíneas e ortogonais, para a familiarização com o programa gráfico. A partir da terceira semana do curso inicia-se a modelagem de formas complexas, com geometria topológica, isto é, formas curvilíneas contínuas, de terceiro grau ou superior. Devido ao fato dos alunos terem cursado três módulos anteriores de Informática I a III, ministrados do primeiro ao terceiro semestre, no quarto semestre os alunos já adquiriram habilidades no uso de recursos computacionais nos programas AutoCad e Revit, assim como noções de uso de programas para tratamento de imagens e planilhas eletrônicas.

Mas como é natural para alunos iniciantes, formas curvilíneas de dupla curvatura, ou formas não ortogonais apresentam dificuldades de representação pelo sistema de projeções ortogonais. Neste estágio do curso há sempre dificuldades naturais de raciocínio espacial, sobretudo de formas orgânicas. Enquanto nos três módulos anteriores do curso os alunos modelam formas ortogonais e formas puras, neste módulo os alunos são incentivados a desenvolver habilidades para modelar formas e espaços de grande complexidade.

Figura 01: Primeiro exercício de MP: dobradura.



Fonte: Wilson Florio, 2012.

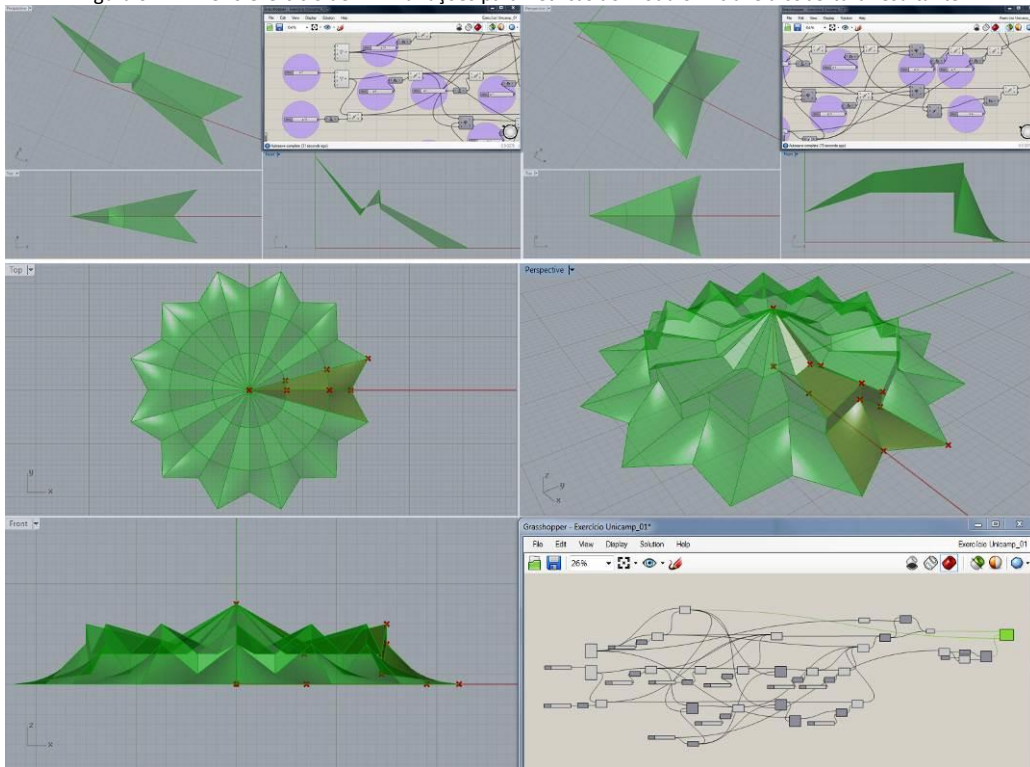
A partir da quinta aula do curso os alunos iniciam o aprendizado da modelagem paramétrica com o auxílio do plugin Grasshopper. Após terem se familiarizado com o programa Rhinoceros, os estudantes iniciam a modelagem de elementos construtivos a partir de parâmetros. O primeiro exercício é definir uma cobertura formada por superfícies dobradas a partir da conexão de pontos no espaço. Como se pode notar na figura 1, as dobraduras de um módulo de uma cobertura circular são definidas por um conjunto de pontos, dispostos em diferentes coordenadas x , y e z . A manipulação dos parâmetros, e a exploração das diferentes combinações entre eles, favorece a exploração de diferentes formas, proporcionando a descoberta de variadas espacialidades (Figuras 2 e 3).

Os resultados que se têm obtido neste exercício singular nos permite afirmar que os estudantes começam a descobrir novas possibilidades de concepção de formas de coberturas não ortogonais, ampliando o leque de escolhas para projetos que requerem coberturas de maior vão.

Os círculos, em destaque na Figura 1 (imagem superior à direita), destacam os parâmetros adotados para a elaboração do módulo inicial. Eles estão intimamente conectados entre si, fazendo com que mudanças num parâmetro repercutam nos demais parâmetros. Essa característica da MP favorece mudanças constantes no projeto, e a produção de alternativas para serem comparadas e avaliadas entre si. No início os estudantes estranham esse tipo de pensamento estruturado, baseado na definição e manipulação de parâmetros. Mas logo a seguir começam a descobrir vantagens nesse processo de investigação de espaços.

Na Figura 2 é possível observar algumas variações paramétricas do módulo inicial e, conseqüentemente, a repercussão desse módulo na formação da cobertura circular formada por dobras. Os resultados alcançados (Figura 3) pelos alunos são, ao mesmo tempo, instigantes e úteis para a atividade prática de projeto.

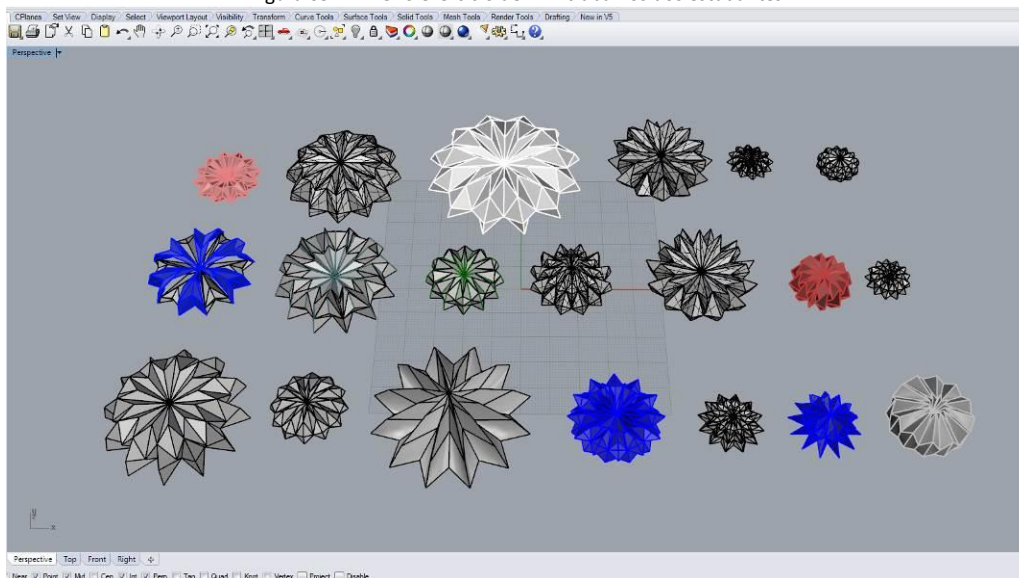
Figura 02: Primeiro exercício de MP: variações paramétricas do módulo inicial e a cobertura resultante.



Fonte: Wilson Florio, 2012.

É normal que estudantes, no início do curso, se sintam pouco a vontade com formas livres e orgânicas. Além disso, as restrições de representação nos programas gráficos convencionais inibem a investigação de formas como estas. Portanto, no âmbito da arquitetura, a MP favorece a investigação de outras possibilidades de espaços e de formas.

Figura 03: Primeiro exercício de MP: trabalhos dos estudantes.

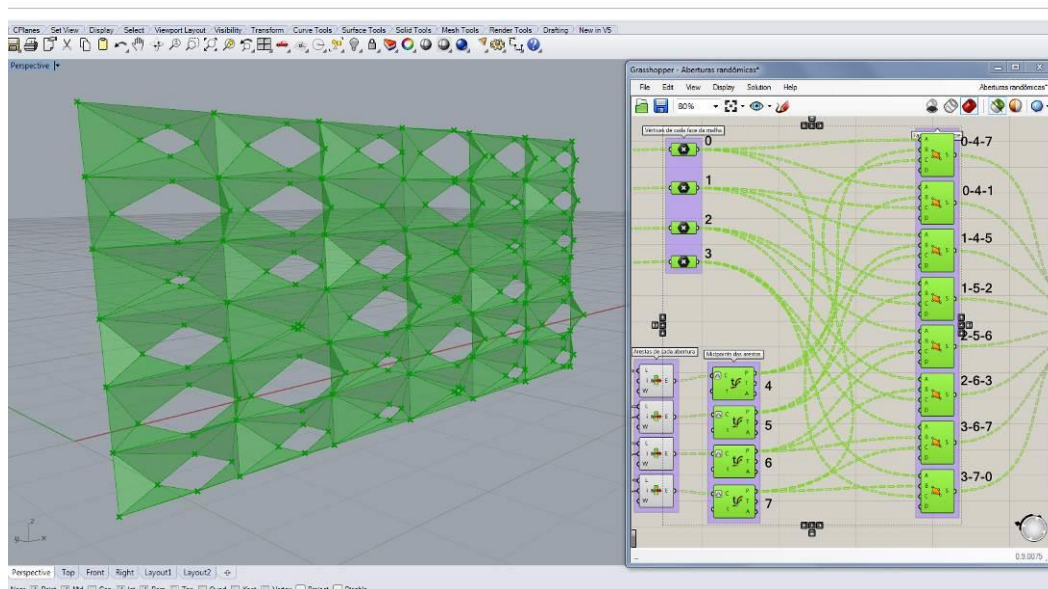


Fonte: Wilson Florio, 2012.

O segundo exercício inseri um parâmetro de aleatoriedade, fazendo com que o algoritmo criado gere alternativas inusitadas de aberturas (Figura 4), proporcionando a descoberta

inesperada de distintas possibilidades expressivas. Assim, diferentes desenhos podem ser obtidos sem a escolha direta do usuário. Esse conhecimento pode ser transferido para elementos construtivos tais como esquadria, elemento vazado ou quebra-sol. A modulação e as dimensões de cada módulo podem ser controladas pelo usuário, de modo a ajustar o elemento a diferentes circunstâncias projetuais.

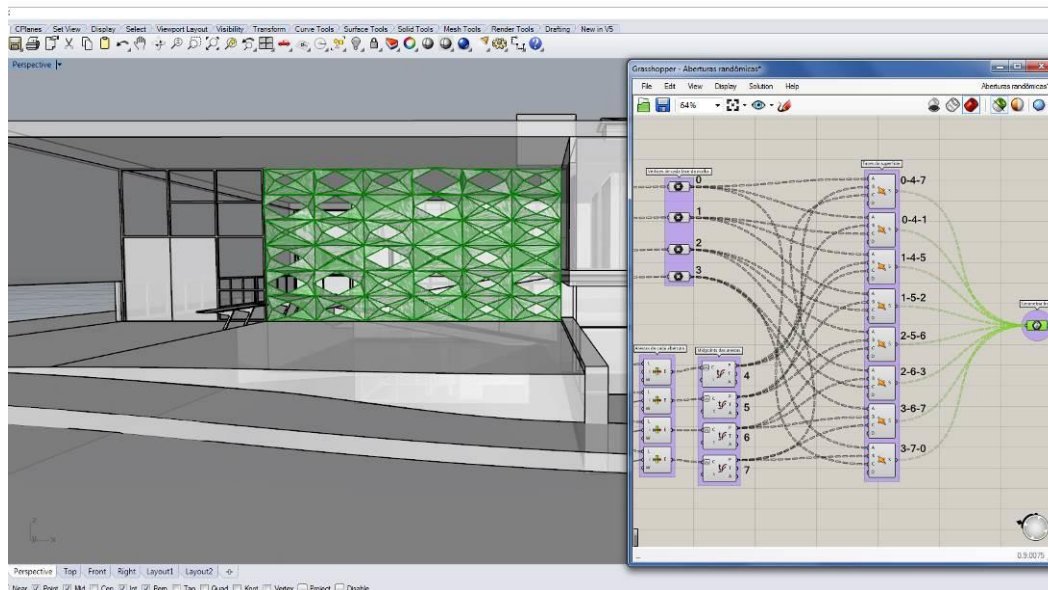
Figura 04: Segundo exercício de MP: aberturas randômicas.



Fonte: Wilson Florio, 2013.

Como é possível notar na Figura 5, este elemento diferenciado pode agregar um valor artístico ao projeto. Diferentes graus de aberturas podem se obtidas com este algoritmo, de modo a verificar qual deles é mais adequado a cada situação de projeto.

Figura 05: Segundo exercício de MP: inserção das aberturas randômicas em residência.

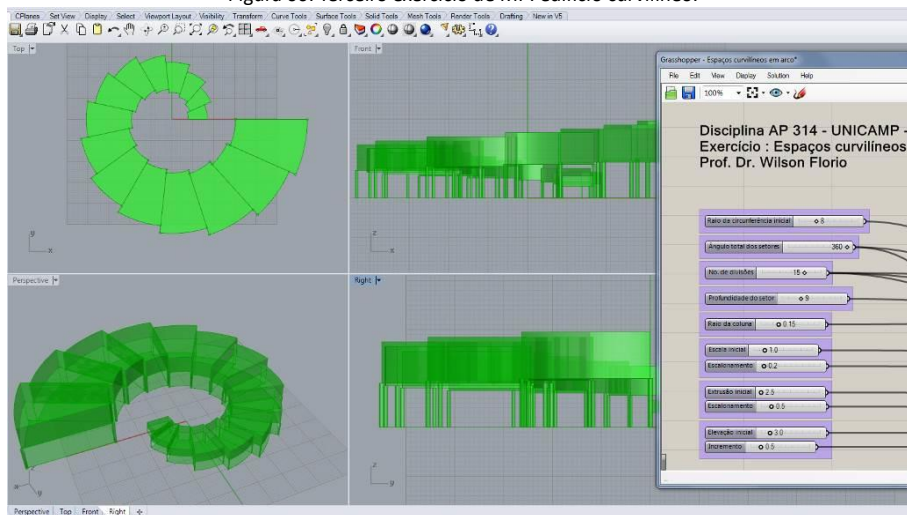


Fonte: Wilson Florio, 2013.

O terceiro exercício trata da criação de um edifício circular com um ou dois pavimentos, dotado de módulos setorizados em diferentes alturas e dimensões. Pode-se combinar variados

valores a cada parâmetro (Figura 6), de modo a obter diferentes “famílias” de formas e de espaços. Esta criação por variação favorece o surgimento de novas ideias, que podem ser catalisadas por este recurso algorítmico. O usuário pode controlar as dimensões dos setores, os pés-direitos, o ângulo de varredura, o raio dos setores e as colunas cilíndricas. Os resultados obtidos são bem variados, mostrando a versatilidade da modelagem paramétrica.

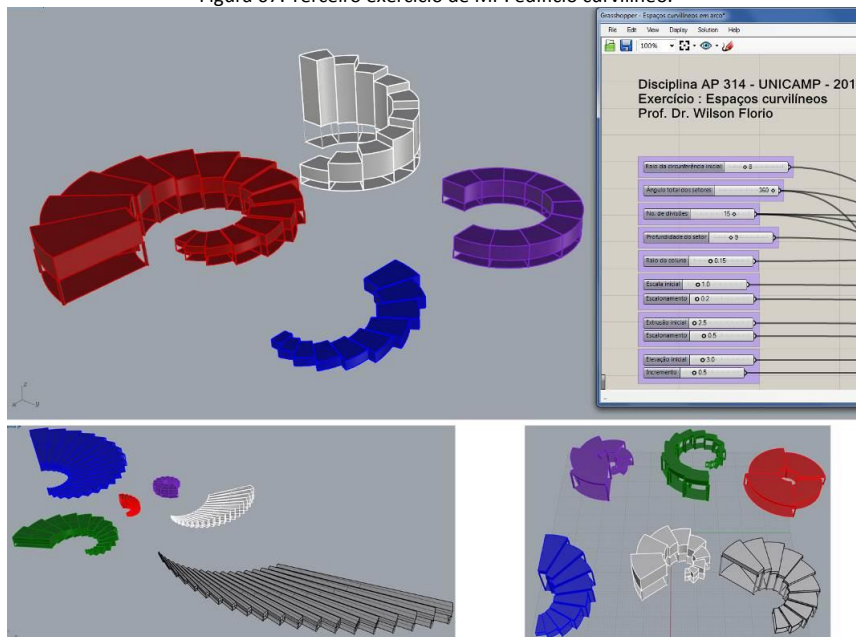
Figura 06: Terceiro exercício de MP: edifício curvilíneo.



Fonte: Wilson Florio, 2013.

É importante destacar que os estudantes aprendem a geometrizar edifícios a partir da definição de seus componentes (pilares, lajes, paredes, caixilhos, etc.), resultando num aprendizado único e duradouro. Logo eles percebem que o mesmo conceito pode gerar diferentes volumetrias e partidos arquitetônicos. Como ocorreu nos exercícios anteriores, os resultados às vezes são surpreendentes, pois diferentes combinações de parâmetros resultam em formas e espaços muito distintos.

Figura 07: Terceiro exercício de MP: edifício curvilíneo.



Fonte: Wilson Florio, 2013.

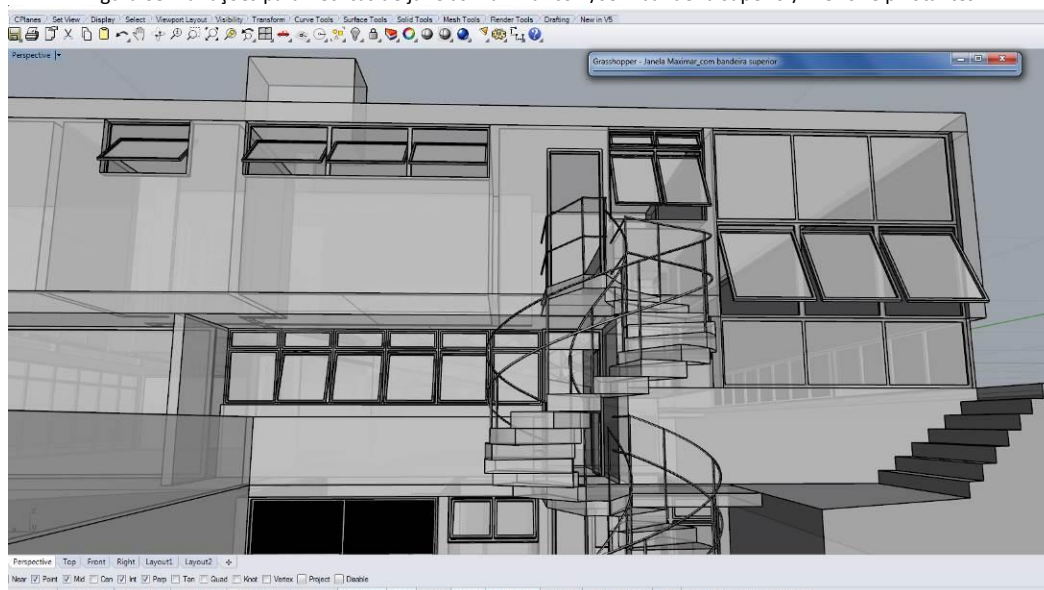
De igual importância é o aprendizado de noções básicas tais como proporção, ritmo e harmonia entre a parte e o todo. Nestes experimentos pode-se notar que nem sempre os alunos obtêm, no primeiro momento, formas bem proporcionadas, e esteticamente bem definidas. Apesar desse fato, as alternativas de projeto, geradas parametricamente, também contribuem para desenvolver a sensibilidade em relação às questões estéticas, pois é visível a diferença entre edifícios que contêm partes harmônicas com o todo e edifícios que não têm esses atributos.

Outro aspecto a ser destacado é que algumas destas formas não seriam espontaneamente pensadas de modo convencional, isto é, pensadas à priori por parte dos alunos. Esta descoberta à posteriori de possibilidades, a partir da MP, é de grande valor para o aprendizado da prática de concepção de projeto de edifícios. Além disso, os estudantes aprendem que os recursos computacionais não atendem apenas às necessidades de representação, ao contrário, auxiliam e tornam ágil a criação de novas formas e de novos espaços arquitetônicos.

Após o aprendizado básico de alguns recursos de MP, os alunos se sentem mais à vontade para criar elementos construtivos úteis para a sua prática de projeto. Durante estes últimos três anos foram desenvolvidos desenhos de esquadrias (portas e janelas) paramétricas, que pudessem atender à prática cotidiana. Como se pode notar na Figura 8, janelas e portas foram geradas parametricamente, de acordo com as necessidades de projeto.

Na disciplina de informática, ministrada no segundo semestre de cada ano, também é apresentado aos estudantes um edifício emblemático da arquitetura moderna, que foi modelado parametricamente pelo professor. Já foram apresentados o *Teatro Popular Oscar Niemeyer* em Niterói (em 2011), de Oscar Niemeyer, o *Pallazetto dello Sport* de Roma (em 2012), de Pier Luigi Nervi, e, no ano de 2013, a *Catedral de Brasília* (Figura 9). Estes edifícios contêm em comum o fato de apresentarem uma geometria peculiar e desafiadora, pois a definição de sua forma depende do entendimento da concepção estrutural e da lógica construtiva proposta pelo arquiteto.

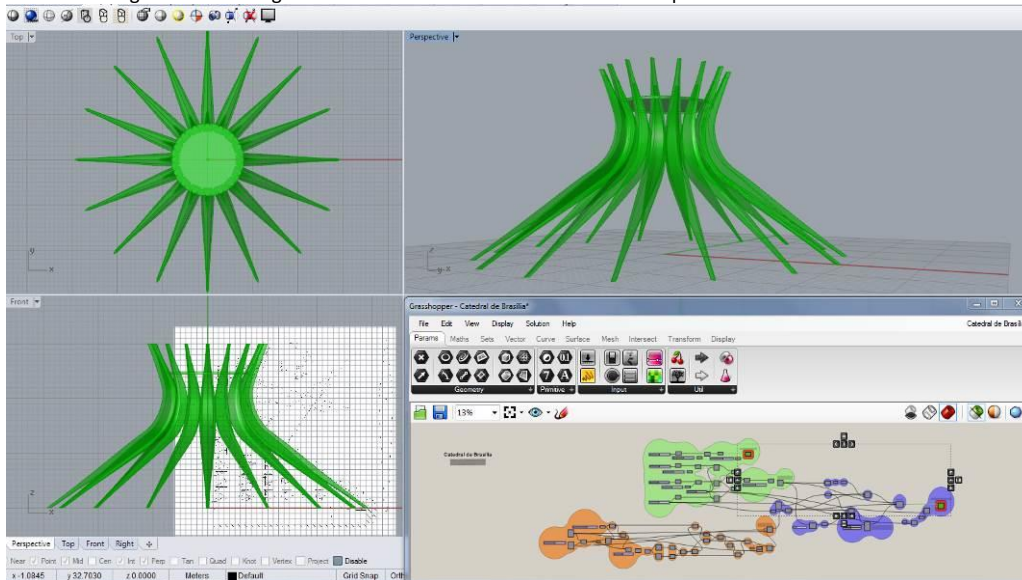
Figura 08: Variações paramétricas de janelas maximar com/sem bandeira superior/inferior e pivotantes.



Fonte: Wilson Florio, 2011.

Na Catedral de Brasília, a geometria de suas vinte e duas seções diferentes, que compõem cada pórtico, varia parametricamente. Por este motivo é um exemplo importante para os estudantes, pois eles têm a oportunidade de analisar uma obra emblemática da arquitetura moderna a partir da MP.

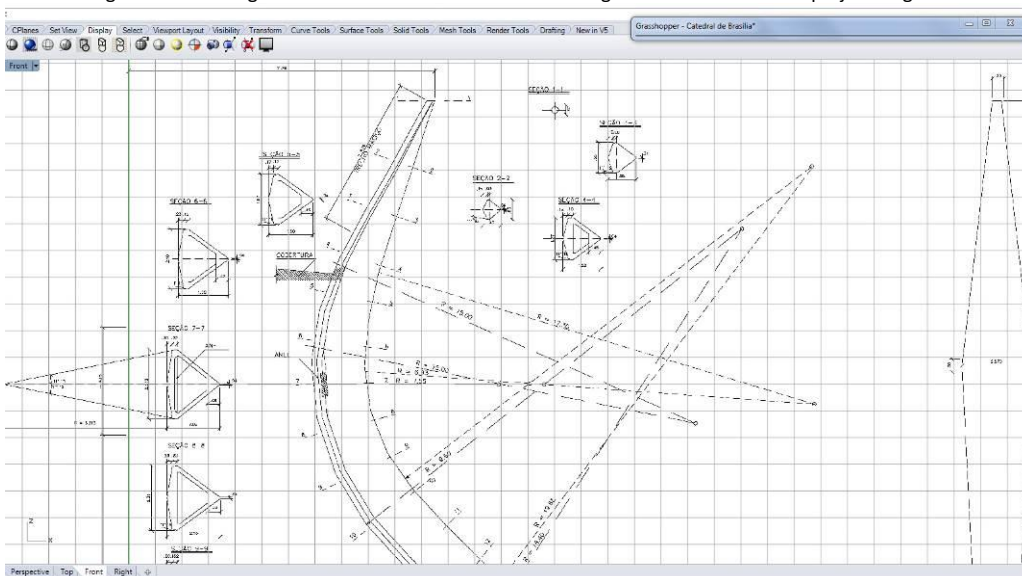
Figura 09: Modelagem Paramétrica da Catedral de Brasília: exemplo mostrado na sala de aula.



Fonte: Wilson Florio, 2013.

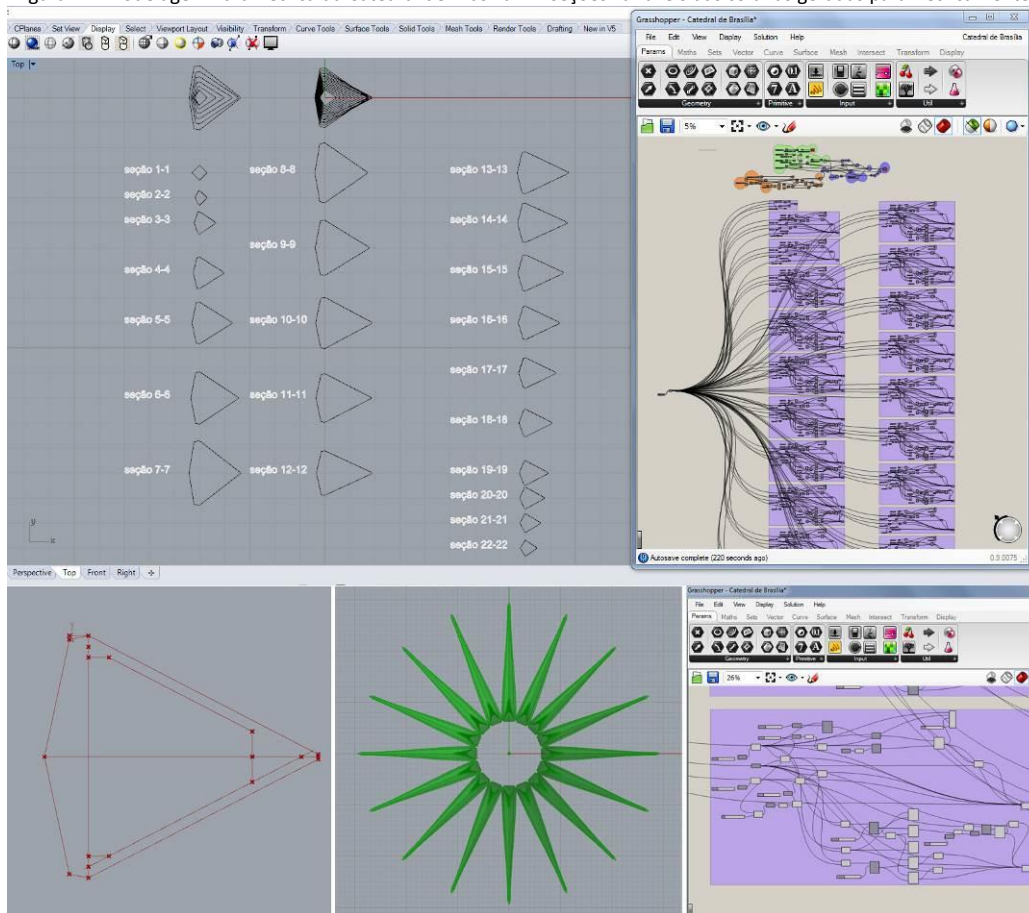
Ao contrário do senso comum, a geometria da Catedral de Brasília, quando modelada parametricamente, confirma que a curva do pórtico não é uma hipérbole, e sim formada por vários seguimentos de curvas, com diferentes raios de curvatura (Figura 10). As vinte e duas seções variam ao longo da curva. Esse fato estimulou a investigação por MP, pois cada seção varia de acordo com alguns poucos parâmetros de dimensão e angulação (Figura 11).

Figura 10: Modelagem Paramétrica da Catedral de Brasília: geometria da coluna do projeto original.



Fonte: Redesenho paramétrico da construção original realizada por Wilson Florio, 2013.

Figura 11: Modelagem Paramétrica da Catedral de Brasília: 22 seções variáveis das colunas geradas parametricamente.



Fonte: Wilson Florio, 2013.

Na Figura 11, é possível visualizar as vinte e duas seções geradas parametricamente, proporcionando confiabilidade na investigação da geometria da Catedral. Para ser construída por partes, cada coluna foi subdividida, de modo a facilitar a transição de uma seção para a outra. Este conhecimento implícito no projeto é extremamente importante para o pensamento projetual, que pode ser transferido, de modo análogo, para outras situações de projeto.

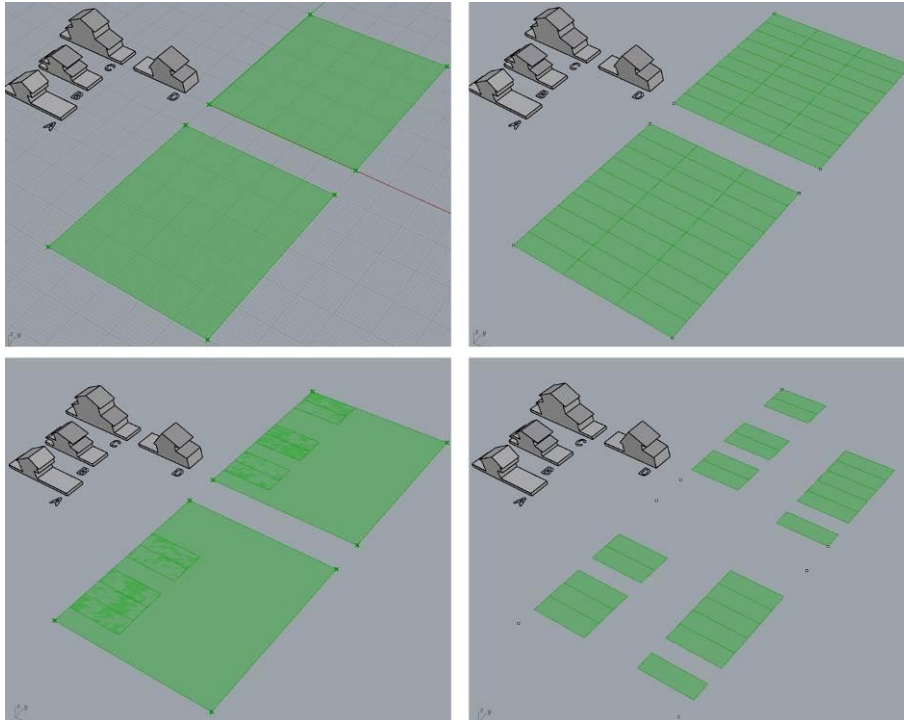
É interessante notar que grandes arquitetos são normalmente exímios geômetras, pois para conceber formas inovadoras, e transmitir suas características para a construção, deve-se ter clareza em relação à sua geometria. Este aprendizado também é proporcionado pela presente disciplina, que instiga os estudantes a entender mais sobre geometria, sobretudo de formas complexas.

Mais dois exercícios foram propostos nestes três últimos anos. Devido ao fato dos alunos projetarem um conjunto habitacional horizontal na disciplina de projeto, foi proposto um exercício para gerar loteamentos paramétricos, com diferentes tipos de unidades habitacionais (Figura 12). É possível variar os tipos das unidades e distribuí-los aleatoriamente nos lotes. Os resultados obtidos são interessantes, pois pode-se explorar diversas implantações e variados desenhos das unidades habitacionais.

Trata-se, portanto, de um exercício de projeto amparado por recursos computacionais. Múltiplas alternativas de implantação e diferentes tipos de unidades foram sistematicamente

explorados pela MP neste exercício. Os estudantes foram convidados a pensar a unidade e o conjunto habitacional ao mesmo tempo. Logo os estudantes perceberam a íntima relação entre a parte e o todo. Diferentes implantações e variadas tipologias foram propostas e comparadas entre si (Figura 14). Isso favoreceu maior profundidade na investigação, pois eliminou o típico trabalho repetitivo e enfadonho presente muitas vezes na prática convencional de projeto.

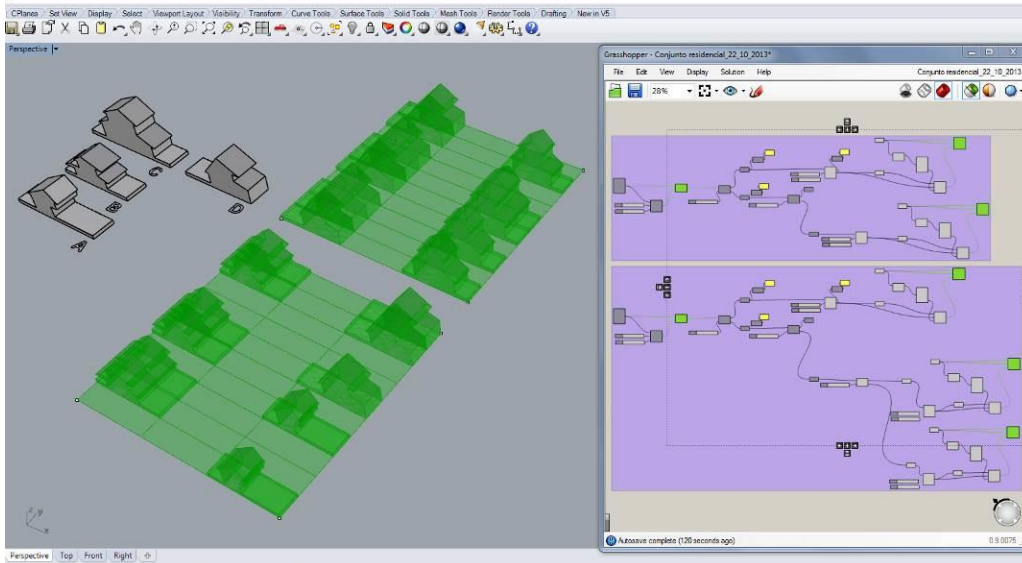
Figura 12: Etapas sequenciais para a definição das quadras do loteamento e inserção das unidades habitacionais.



Fonte: Wilson Florio, 2013.

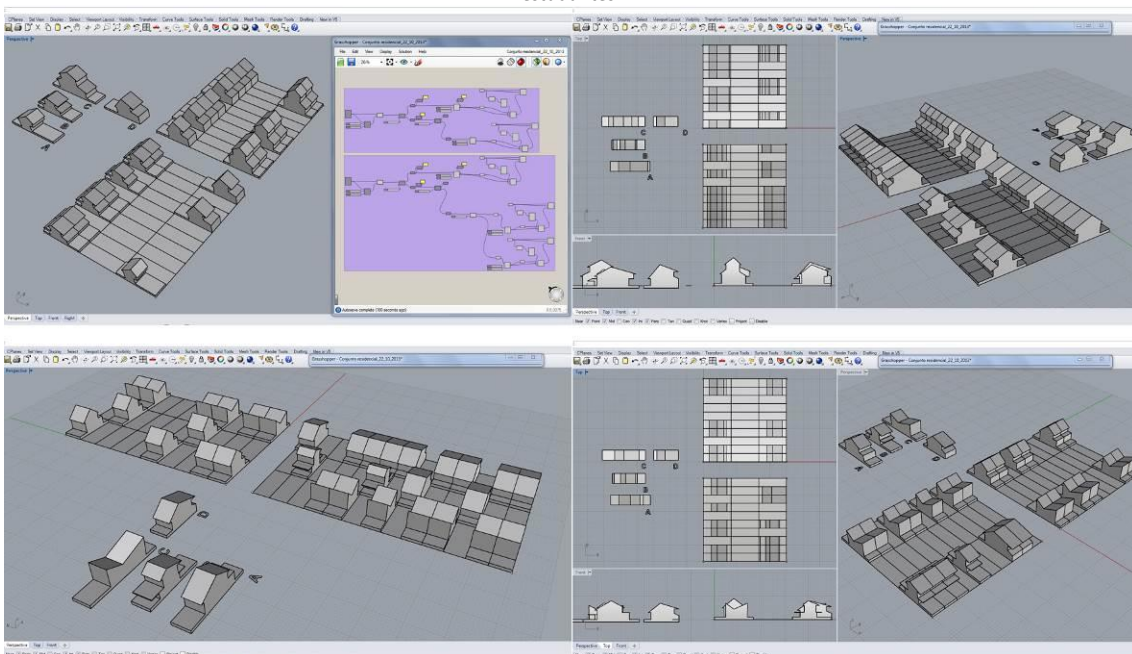
Como é possível notar, estes tipos de exercícios possuem íntima relação com as atividades práticas de projeto, e não se restringem ao mero ensino de técnicas de modelagem computacional. Gradativamente percebe-se que o pensamento paramétrico pode ser de grande ajuda para a etapa de concepção de projetos de arquitetura. Ao contrário do pensamento vigente, este recurso computacional permite auxiliar na criação de novas propostas arquitetônicas, com consciência e parcimônia.

Figura 13: Modelagem Paramétrica do condomínio residencial: variação paramétrica da implantação das unidades habitacionais.



Fonte: Wilson Florio, 2013.

Figura 14: Modelagem Paramétrica do condomínio residencial: variações das unidades e da implantação apresentadas pelos estudantes.



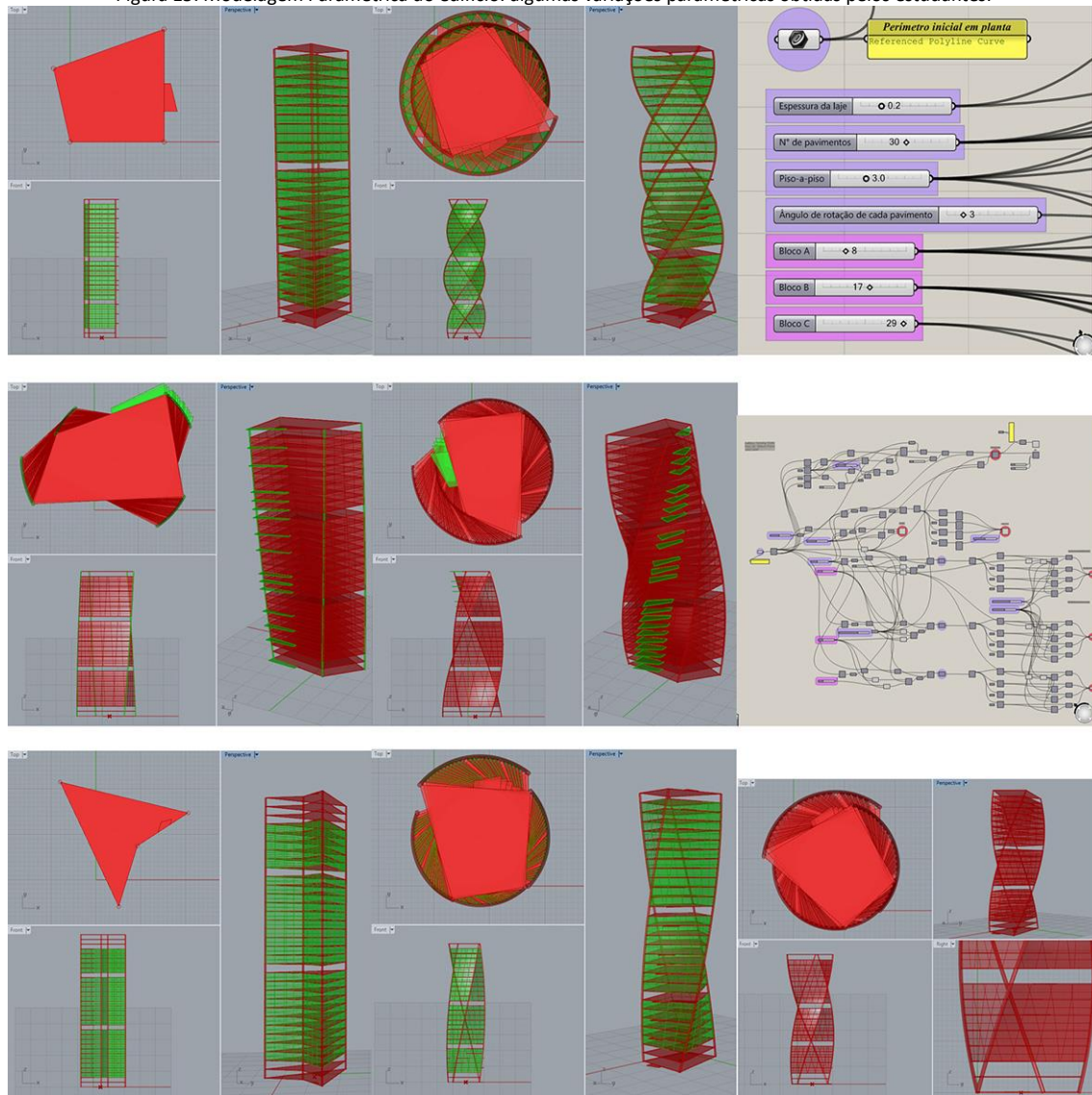
Fonte: Wilson Florio, 2013.

Por fim, outro exercício que estimula os estudantes a conceber formas e espaços complexos é aquele que gera um edifício paramétrico alto (Figura 15). Inspirado no edifício “turning torso”, criado pelo arquiteto Santiago Calatrava, os estudantes investigam a geometria de edifícios retilíneos e curvilíneos, amparados por parâmetros.

O edifício é concebido a partir da escolha de um perímetro (uma polilinha), previamente desenhado no programa Rhinoceros, que irá definir a laje do pavimento tipo. Diferentes perímetros irão proporcionar volumetrias distintas. Os parâmetros que foram definidos neste exercício permitiram variar o número de pavimentos, estabelecer diferentes blocos de

pavimentos, intercalados por pavimentos vazios, permitiu variar altura de piso a piso, o ângulo de torção entre cada pavimento, inserir e posicionar terraços ou *brises* horizontais, em diferentes situações no perímetro da laje, de modo aleatório ou controlado.

Figura 15: Modelagem Paramétrica do edifício: algumas variações paramétricas obtidas pelos estudantes.



Fonte: Wilson Florio, 2013.

Um aspecto importante a ser destacado é que este tipo de exercício demonstra as implicações ocasionadas por pequenas mudanças, como ângulo de rotação entre um pavimento e outro. Neste tipo de experimento os alunos são convidados a refletir sobre diversos tipos de subproblemas inerentes ao projeto, tais como estrutura, caixilhos, circulações verticais, entre outros. Não se trata de uma mera especulação da “forma pela forma”. Ao contrário, este tipo de investigação exige conscientização sobre os problemas inerentes à concepção de formas complexas.

É também importante destacar que estes exercícios foram concebidos em grau crescente de complexidade, com diferentes desafios. Os conhecimentos adquiridos e as habilidades

desenvolvidas melhoram a prática de projeto, e tornam o aluno mais confiante na sua proposta.

Como foi possível constatar nos exemplos aqui apontados, a definição de projetos paramétricos exigirá uma nova formação dos estudantes de arquitetura. Podemos afirmar que um novo tipo de especialista está emergindo na construção civil, e sua função será definir elementos construtivos relacionados entre si, e que possam ser manipulados por meio de parâmetros. Portanto, projetos paramétricos resultam em múltiplas potenciais soluções, derivadas da exploração dos modelos definidos por algoritmos.

Para que isso ocorra, é necessário preparar os estudantes para analisar, com maior profundidade, os elementos construtivos, constituintes de edifícios. Também será necessário rever o aprendizado de geometria, de representação e, sobretudo, o processo de ensino-aprendizagem de projeto. Por mais simples que sejam os edifícios na contemporaneidade, os arquitetos atuantes necessitam produzir projetos com qualidade, com definições precisas, competitivos, dentro de prazos cada vez mais curtos. Essa nova formação dos estudantes dependerá cada vez mais da integração de conteúdos entre diferentes disciplinas.

Estes são alguns exemplos de exercícios que contribuíram para estabelecer um ensino de MP no curso de graduação da Faculdade de Arquitetura na Unicamp. Diferentes concepções de estrutura, cobertura, componentes de vedação e esquadrias têm sido investigados. A versatilidade da MP para conceber elementos de maior complexidade, e de facilitar a combinação entre parâmetros, favorece a geração de diferentes possibilidades criativas.

3 DISCUSSÃO

Como se pôde notar, há íntimas relações entre a disciplina de informática aplicada e projeto de arquitetura. Entendemos que não basta ensinar técnicas de modelagem sem estabelecer vínculos com a prática de projeto. Não é possível conceber edifícios sem o conhecimento de técnicas construtivas, assim como não é possível elaborar boas argumentações sem fundamentação crítica e reflexiva do ponto de vista teórico. Conseqüentemente, os conteúdos ministrados nas diversas disciplinas que compõem o curso de arquitetura devem se ajustar a um modelo mais integrado, voltado para formar profissionais competentes, com conhecimentos teórico-práticos, com responsabilidade e atenção às verdadeiras demandas da sociedade.

Em 2006, Lee, Sacks e Eastman (2006, p. 760), apresentaram as características que distinguem a modelagem paramétrica do sistema CAD tradicional. Como critério de aplicabilidade, veremos a seguir como essas características estiveram presentes em nossos experimentos didáticos.

(1) Usuários podem criar formas, definir e adicionar novas relações paramétricas a objetos geométricos através da interface do usuário. A forma criada pode ser manipulada e definida pelo usuário, alterando os valores e as relações dos parâmetros.

Nos exercícios aqui apresentados, e aplicados durante estes últimos três anos, foi possível constatar que, de fato, a MP facilita a criação de formas a partir de definições geométricas contidas nos parâmetros. Nos exercícios realizados, os estudantes conseguiram com êxito criar e manipular formas, alterar e descobrir novas possibilidades criativas de gerar projetos.

Os estudantes entenderam a diferença crucial entre produzir uma forma (*making of form*) e encontrar uma forma (*finding of form*). Os exercícios propostos permitiram entender que a principal mudança introduzida pelo projeto paramétrico é que neste processo não se busca a criação de uma *única* forma para cada elemento construtivo ou para o projeto, mas procuram-se *possíveis* alternativas para seleção da forma mais adequada e mais eficiente. Nos exercícios projetuais, destinados à criação de um edifício curvilíneo (Figuras 6 e 7), conjunto habitacional (Figuras 12, 13 e 14) e edifício alto (Figura 15), não se buscou a modelagem e definição de um único partido arquitetônico, ao contrário, procurou-se gerar variações que pudessem ser comparadas entre si.

(2) Usuários podem impor restrições entre os diferentes objetos paramétricos (entre uma parede e uma janela, por exemplo) dentro de um sistema.

De fato, os estudantes perceberam que após a ordenação e a concatenação dos parâmetros, com limitações de valores e imposição de restrições, eles puderam selecionar e combinar os parâmetros para ajustar às necessidades de seus projetos. Ao contrário do senso comum, a imposição de restrições nos parâmetros não restringe a criatividade, pois contribui para produção de variações paramétricas dos projetos, porém evita a produção de formas inadequadas e inexecutáveis.

Foi possível notar que, durante os exercícios, os estudantes observaram claramente que a alteração de apenas uma variável, como a rotação dos andares do edifício alto (Figura 15), ou mesmo o raio da curvatura de um edifício curvilíneo (Figuras 6 e 7) pode gerar grandes mudanças no projeto.

(3) Os parâmetros contidos nos objetos estão expostos, de modo que um parâmetro em um objeto possa ser usado para derivar os parâmetros em outros objetos relacionados espacialmente a ele.

Os estudantes logo perceberam que a mudança de um parâmetro repercute nos demais, de modo a tornar ágil o processo de mudança. Como os parâmetros estão intimamente relacionados uns aos outros, foi possível modificar parte e o todo automaticamente. A explicitação dos parâmetros que controlam as formas e os espaços projetados é de grande importância para a concepção de novos partidos arquitetônicos.

(4) Restrições impostas podem ser mantidas automaticamente. As repetições de formas são modificadas não somente pela mudança de valores de um parâmetro de um modo direto e explícito, mas também pelo sistema de manutenção das restrições paramétricas. Em muitos sistemas CAD, usuários podem criar a geometria usando regras de geração (isto é, desenhar uma linha perpendicular impondo a restrição perpendicular entre as duas linhas), mas a restrição não é mantida (isto é, quando uma das linhas for editada). Os sistemas que não mantêm a restrição não podem ser considerados paramétricos.

A sequência de exercícios proposta pela disciplina permitiu aos estudantes entender que os parâmetros ajudam a controlar a definição da forma, sobretudo sua geometria. Eles perceberam que os parâmetros definiram as restrições de modo explícito, impondo necessidades específicas do projeto. Como os alunos-participantes da disciplina cursaram as disciplinas anteriores, onde foram ministrados os programas Revit e Autocad, ficou evidente para os estudantes a diferença e a contribuição da MP no processo de projeto.

(5) A modelagem deveria ser realizada em um modelador 3D. No projeto e na construção, as formas 2D, as superfícies e sólidos 3D são frequentemente manipuladas por regras paramétricas.

A MP ocorreu com a ajuda do plugin dentro do programa Rhinoceros. As regras paramétricas foram impostas pelos estudantes na definição do algoritmo. Famílias de formas foram produzidas a partir desses algoritmos, e materializadas no programa gráfico. Como foi possível notar nas figuras de 1 a 15, a MP está na cor verde (entidades selecionadas) ou na cor vermelha (elementos modelados), enquanto que as outras cores (cinza, preta, azul, roxa etc.) mostram os objetos materializados.

(6) A modelagem deveria basear-se em características do objeto (note a diferença entre “modelagem baseada em objeto” e “programação orientada ao objeto”). Usuários podem agrupar e definir objetos geométricos (e conexões), suas formas parciais, chamadas características, e pode descrever relações semânticas (dependências e variações) entre elas.

É importante destacar que a dependência ou não de um parâmetro sobre o outro é determinada pelo usuário. Os objetos produzidos pelos estudantes foram definidos pela natureza de sua geometria, e suas variações dependeram das necessidades do projeto e do tipo de elemento construtivo que estava sendo concebido. Portanto, as conexões entre os elementos construtivos dentro do projeto foram estabelecidas de modo a se adequar às necessidades específicas do projeto.

Como foi possível notar, a maior alteração do CAD tradicional da modelagem paramétrica é a possibilidade de *interação* entre o usuário e o modelo paramétrico. Esta diferença crucial se deve à mudança de uma modelagem baseada na definição de objetos para uma modelagem baseada na definição de características, restrições e variáveis de um objeto. Mas isto depende de como foram concatenadas as relações entre as partes, assim como quais variáveis estão disponíveis para esta interação. Portanto, a repercussão automática das mudanças por todo o modelo, assim como as alternativas, sempre dependerá das restrições e variáveis entre objetos de um modelo paramétrico, impostas pelo programador, que, no âmbito da arquitetura, é o arquiteto. Cabe ao usuário explorar as alternativas e julgar qual a mais viável dentro do contexto projetual.

Os programas gráficos comerciais na atualidade permitem criar elementos construtivos parametrizados e customizados. Revit, Archicad, Vectorworks entre outros incorporam possibilidades de criação de elementos paramétricos. Contudo, o problema ainda são as restrições impostas pelos próprios programas, que não permitem a livre criação de parâmetros novos, dentro de uma lógica de *concepção* de projeto do ponto de vista dos arquitetos. Ainda há muitas dificuldades em se customizar livremente elementos construtivos nesses programas, sobretudo quando se trata de formas orgânicas e curvilíneas.

A MP obriga o programador a usar o pensamento estruturado, de um modo intenso, pois a sequência de eventos dentro da programação exige uma prévia organização de ideias e de conhecimentos. Conseqüentemente, as conexões entre os eventos programados devem ser explicitadas para a obtenção efetiva de modelos paramétricos.

A habilidade dos arquitetos de definir uma forma a partir de scripts, regidos por parâmetros, amplia sua capacidade imaginativa de buscar e organizar formas dinâmicas, não lineares, de um modo não determinista e criativo.

Pela primeira vez na história arquitetos estão projetando edifícios baseados em parâmetros e restrições contidos em *scripts*. Se por um lado a geometria sempre esteve presente na definição de formas e de espaços, por outro a definição da geometria, indiretamente, por meio de parâmetros, potencializa o processo, gerando infinitas possibilidades de criação de novas formas, com diferentes geometrias, euclidianas e não euclidianas (FLORIO, 2012).

A MP pode incentivar a produção de novas ideias, de um modo experimental, criativo e investigativo. Contudo, o uso efetivo destas novas tecnologias exige uma busca constante para extrair novas potencialidades, tanto dos aparatos tecnológicos como das pessoas que os operam, para avançar em direção a descoberta de novos conhecimentos. A MP amplia nossa capacidade de processar informações na mente. O processamento matemático nos computadores expande nossa capacidade de combinar diferentes padrões e variados conhecimentos. Essa relação dialógica entre homem-máquina tem alargado e catalisado explorações formal-espaciais até então nunca vistas.

A MP permite explorar o que há de melhor no ser humano e no processamento computacional. Enquanto a imaginação é um típico atributo do ser humano, a capacidade de processar, matematicamente, grandes quantidades de informações, é típica do computador. Ao programar intencionalmente algoritmos paramétricos, podem-se alcançar novos conhecimentos a partir de combinações de conhecimentos já adquiridos. Este processo estende nossa capacidade de imaginar e de combinar. Enquanto o ser humano tem a capacidade de programar, o computador tem a capacidade de processar, de modo ágil, dados extremamente complexos, que a mente humana não seria capaz de fazer com a mesma desenvoltura.

Resumindo, o processo de projeto em arquitetura deve renovar o interesse e o prazer da descoberta, com consciência e rigor crítico. Nesta direção, a MP pode ajudar a deslocar conhecimentos “cristalizados”, pode auxiliar na exploração de novas formas e espaços a partir de conhecimentos acumulados por experiências passadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há alguns obstáculos iniciais que impedem os estudantes de projetarem espaços com maior desenvoltura. Além da falta de conhecimentos específicos e de habilidades, os alunos ingressantes têm receio de propor algo que seja considerado inexecutável. É natural que a falta de argumentações consistentes e as deficiências de representação impedem os alunos de propor formas complexas e ousadas. No entanto, neste caso, não se trata de propor formas diferentes sem uma clara intenção e sem fundamentação. Edifícios devem ser projetados tendo em vista as condicionantes, particularmente o entorno imediato, contexto urbano e coerência com o tema tratado. Contudo, os estudantes esperam que seus professores os estimulem a enfrentar problemas mais complexos, com o amparo necessário para o enfrentamento da vida profissional.

Os experimentos realizados pelos estudantes durante os anos recentes nesta disciplina demonstram que é possível ensinar modelagem paramétrica de modo a atender as demandas do processo de projeto, sobretudo na fase de concepção. Como foi possível demonstrar, os exercícios respondem a demandas por problemas práticos e cotidianos, mas também se propõem a estimular a imaginação e a criatividade, promovendo investigações de novas formas e novas espacialidades.



A criação por variação permite ao estudante (e futuro arquiteto) comparar diferentes alternativas sobre o projeto em andamento. Os recursos da MP ampliam as possibilidades de exploração de alternativas que seriam quase impossíveis sem o auxílio e a agilidade desta poderosa tecnologia de modelagem. Não é mera coincidência que grandes nomes da arquitetura contemporânea internacional mantêm profissionais dedicados à MP de edifícios em seus escritórios.

Após as primeiras duas décadas da chamada Era Digital, pode-se pensar numa fase de investigação mais sistemática de formas e espaços de maior complexidade, com o auxílio das novas tecnologias digitais. Para isso, os estudantes devem ser estimulados a criar projetos desafiadores, mas responsáveis e bem conceituados.

Por fim, diante dos desafios profissionais na atualidade, é responsabilidade da Universidade formar alunos com maiores conhecimentos sobre a área da Tecnologia da Informação na Construção Civil (TICs). Assim, iniciativas didáticas devem equilibrar atitudes cautelosas e ousadas, devem ensinar as técnicas tradicionais, mas também apresentar conceitos e recursos tecnológicos disponíveis na atualidade.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece o apoio do CNPq para a realização desta pesquisa e, sobretudo, a valiosa participação dos estudantes da disciplina durante estes últimos anos.

REFERÊNCIAS

- AISH, R.; WOODBURY, R. Multi-Level Interaction in Parametric Design. In: *Lecture Notes in Computer Science*, n. 3638. Berlin: Springer, p. 151-162, 2005.
- FLORIO, W. Notas sobre pensamento e cognição em projetos paramétricos. In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO. Teorias e práticas na Arquitetura e na Cidade Contemporâneas, 2, 2012, Natal. *Anais ...* Natal: PPGAU UFRN / ANPARQ, 2012, p. 1-20.
- _____. 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, 2009, p. 571-582.
- _____. Contribuições do Building Information Modeling no Processo de Projeto em Arquitetura. In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 3, 2007, Porto Alegre. *Anais ...* Porto Alegre, UFRGS, 2007, p. 1-12.
- GOLDBERG, S. A. Computational Design of Parametric Scripts for Digital Fabrication of Curved Structures. *International Journal of Architectural Computing*, v. 4, n. 3, p. 99-117, 2006.
- HUDSON, R. *Strategies for parametric design in architecture*. An application of practice led research. Thesis Department of Architecture and Civil Engineering, University of Bath, 2010. 274 p.
- KALAY, Y. E. Modeling Polyhedral Solids Bounded by Multi-Curved Parametric Surfaces. *Computer Aided Design*, v. 15, n. 3, p. 141-146, 1983.
- KOLAREVIC, B. (Ed.). *Architecture in the digital age: design and manufacturing*. New York: Spon Press, 2003.
- LEE, G.; SACKS, R.; EASTMAN, C. Specifying parametric building object behavior (BOB) for a Building Information Modeling system. *Automation in Construction*, v. 15, n. 6, p. 758-776, 2006.
- LIGHT R.; GOSSARD, D. Variational Geometry in CAD. *Computer Graphics*, v. 15 n. 3, p. 1712-177, 1981.
- MONEDERO, J. Parametric design: a review and some experiences. *Automation in Construction*, v. 9, n. 4, p. 369-377, 2000.
- SHAH, J. J.; MANTYLA, M. *Parametric and Feature-based CAD/CAM: concepts, techniques, and application*. New York: John Wiley, 1995.