



# XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Avanços no desempenho das construções – pesquisa, inovação e capacitação profissional

12, 13 E 14 DE NOVEMBRO DE 2014 | MACEIÓ | AL

## MODELAGEM PARAMÉTRICA NA CONCEPÇÃO DE ELEMENTOS CONSTRUTIVOS DE EDIFÍCIOS COMPLEXOS

**FLORIO, Wilson (1)**

(1) Universidade Presbiteriana Mackenzie, tel: (11)3661-3086, e-mail: wflorio@uol.com.br

### RESUMO

O processo de projeto em arquitetura tem como característica a modificação e a revisão constante de cada elemento construtivo durante todas as fases do projeto. Na Era Digital, a Modelagem Paramétrica (MP) é aquela que permite desenhar e modificar todos os componentes de um edifício a partir de parâmetros. A MP permite definir e interagir com a geometria de um elemento construtivo contido num modelo digital a partir de parâmetros, regras, funções, restrições e interdependências entre suas partes-componentes, e/ou entre elementos construtivos. A definição dos parâmetros presentes na MP é dependente dos conhecimentos e das experiências do programador, que deve explicitar, nos parâmetros adotados, conjuntos de possibilidades de relações e características pretendidas para o projeto. O objetivo deste artigo é explicitar como a MP possibilita gerar diferentes famílias de elementos construtivos a partir da manipulação de parâmetros. Esta pesquisa, financiada pelo CNPq, propiciou a criação de algoritmos com o auxílio do plugin Grasshopper. Este procedimento metodológico permitiu a definição de elementos construtivos a partir da compreensão de sua ontologia. O artigo se propõe a apontar as vantagens de tal processo a partir da pormenorização, passo a passo, da criação de quatro diferentes elementos construtivos, e suas variações paramétricas. Neste artigo o autor aponta como este tipo de modelagem permite projetar a partir da exploração sistemática de diferentes configurações geométricas e dimensionais embutidas nos parâmetros adotados. Desde estruturas, esquadrias, escadas, vedações até edifícios inteiros podem ser rapidamente modelados e modificados a partir da manipulação de parâmetros relacionados entre si. Esta flexibilidade para a mudança é ainda mais fundamental em edifícios de alta complexidade formal, onde a geometria entre os elementos varia de acordo com os parâmetros adotados. Os resultados obtidos permitem afirmar que a MP é extremamente eficaz na investigação de formas de grande complexidade geométrica e espacial.

**Palavras-chave:** Modelagem Paramétrica, TIC, Processo de Projeto.

### ABSTRACT

The design process in architecture is characterized by constant revision and modification of each construction element during all phases of the project. In the Digital Age, Parametric Modeling (PM) allows you to draw and modify all components of a building from the parameters. The PM lets you define and interact with the geometry of a building element contained in a digital model from the parameters, rules, functions, constraints and interdependencies between parts, components, and / or between building elements. The parameters definition in MP is dependent on the knowledge and experience of the programmer who must specify, in the adopted parameters, sets of possible relationships and characteristics desired for the project. The aim of this paper is to explain how the PM enables to generate different families of constructive elements from parameter manipulation. This funded research by CNPq led to the creation of algorithms with the help of Grasshopper plugin. This approach allowed the definition of constructive elements from the understanding of his ontology. The article aims to point out the advantages of such a process from detailing step by step, creating four different construction elements, and their parametric variations. In this article the author shows how this type of modeling allows you to design from a systematic exploration of different geometric and dimensional configurations embedded in the adopted parameters. Since structures , frames, stairs , fences even entire buildings can be quickly modeled and modified from the manipulation of parameters related to each other. This flexibility to change is even more crucial in high buildings formal complexity , where the geometry of the

*elements varies according to the adopted parameters. The results obtained allow us to affirm that the PM is extremely effective in the investigation of ways to great complexity and spatial geometry.*

**Keywords:** Parametric Modeling, ITC, Design Process.

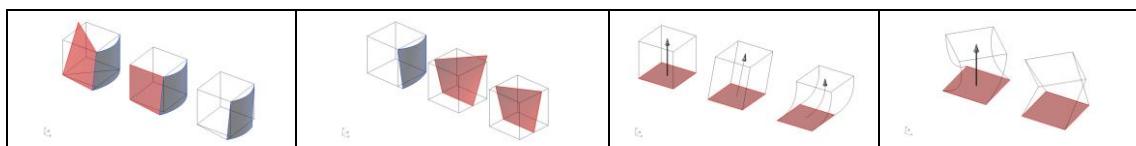
## 1 INTRODUÇÃO

Pesquisas publicadas nos últimos anos (HOLZER; HOUGH; BURRY, 2007; GOLDBERG, 2006; HERNANDEZ, 2004; HERRERA, 2009; MONEDERO, 2000; SHAH; MANTYLA, 1995; WOODBURY, 2010;) revelam a crescente importância da modelagem paramétrica (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.

A pesquisa investiga o uso da MP na definição preliminar de alguns elementos construtivos no domínio do projeto de arquitetura. São investigados elementos para estrutura, aberturas (porta e janela) e fechamentos (painéis laterais e de cobertura).

Nesta pesquisa, a geometria adotada partiu de conhecimentos consolidados sobre superfícies regradas (*ruled surfaces*) (Quadro 1), e sobre superfícies de revolução. Devido à facilidade de interpolar curvas no espaço para gerar superfícies, arquitetos têm se mostrado cada vez mais interessados em geometrias curvilíneas complexas, particularmente aquelas contínuas, derivadas de curvas de terceiro grau.

**Quadro 1 – Superfícies Regradas**



Fonte: Wilson Florio (2012)

A MP possibilita manipular, com facilidade, entidades localizadas no espaço, que são controladas por vetores e dimensões. Curvas e retas podem ser editadas por meio de comandos muito simples. A interpolação por meio de comandos como o “*loft*” e “*extrude*”, por exemplo, permite gerar superfícies e volumes sólidos com grande rapidez e precisão. Estes fatores têm estimulado a imaginação dos arquitetos e impulsionado novas investigações relativas aos elementos construtivos.

A geometria subjacente de cada elemento destinado à construção de edifícios civis deve ser definida com exatidão para a sua execução e montagem no canteiro de obras. É importante destacar que simples componentes como janelas e portas contêm muitos sub-elementos, que os constitui dentro de uma lógica própria de fabricação e de montagem. Assim, a compreensão inicial destes elementos e sub-elementos torna-se fundamental, pois a definição de sua geometria depende do entendimento de suas dimensões, fixações e encaixes.

O foco desta pesquisa não é pormenorizar elementos construtivos a tal ponto de definir a geometria dos sub-elementos. A presente pesquisa restringe-se a definir, parametricamente, alguns elementos e posicioná-los espacialmente em superfícies curvilíneas não padronizadas.

Devido aos poderosos recursos de MP na atualidade, pode-se obter, com precisão, caixilhos e vedações não convencionais, com geometrias complexas. Pode-se definir parametricamente diferentes famílias de elementos construtivos e inseri-los em paredes

de dupla curvatura. Os algoritmos criados nesta pesquisa têm a intenção de investigar novas possibilidades para a criação de projetos de edifícios complexos na atualidade.

A concepção de formas curvilíneas depende da clara adoção de princípios geométricos. Neste sentido, as superfícies regradas, com diretriz e geratriz, geradas e manipuladas parametricamente, podem ser de extrema importância para a criação de edifícios com geometria topológica.

De um modo experimental, adotou-se a MP para testar novas geometrias e novas possibilidades de conceber elementos construtivos, que vão desde esquadrias e aberturas zenitais até painéis de vedação e estruturas. Como afirmou James Gleick (1989, p. 219-220), “[...] *com os computadores, a geometria da tentativa e erro tornou-se possível*”. Assim, é possível avaliar as restrições e dificuldades na definição e na adoção de geometrias de elementos construtivos não padronizados destinados à construção civil.

Pelos motivos acima, a presente pesquisa investiga a MP como um meio de expressar novas possibilidades criativas a partir da geometria, seja euclidiana, seja a não euclidiana. Os algoritmos que serão apresentados a seguir abarcam diferentes possibilidades para a definição de superfícies regradas, controladas parametricamente.

## 2 ALGORITMOS

Durante a definição dos algoritmos, procurou-se diversificar as possibilidades de definição ou de captura de superfícies para a produção de elementos construtivos. Em alguns casos partiu-se de pontos, capturados no plano XY, em outros casos partiu-se de curvas ou ainda de superfícies, previamente definidas no programa Rhinoceros. Entretanto, vários algoritmos não partiram de entidades previamente definidas, ao contrário, estes algoritmos definiram todos os vetores e elementos geométricos, desde pontos e linhas até superfícies e sólidos.

Procurou-se criar um número de parâmetros compatível com as necessidades de controle da geometria dos elementos pretendidos para o algoritmo. Algumas funções matemáticas, particularmente para definir as operações básicas, como adição, subtração, multiplicação e divisão foram estabelecidas a priori, sem serem controladas por parâmetros. Do mesmo modo, algumas funções matemáticas foram necessárias para transformar radianos em graus, para operar com seno, co-seno e a função Pi.

Muitos recursos disponíveis para a definição de vetores foram propositadamente utilizados, pois a intenção foi explorar suas capacidades na definição de elementos no espaço. A localização, a direção e a intensidade dos vetores definidos permitiram estabelecer relações lógicas entre os elementos que compuseram cada algoritmo. O pensamento matemático algorítmico foi norteado por encadeamentos de soluções lógicas, mas que estabeleceram uma interface de uso para o usuário criar famílias de formas e de componentes, seja de esquadrias, vedações ou de estruturas.

Os algoritmos mais simples não exigem muito da capacidade de processamento e de memória de computadores. No entanto, alguns algoritmos mais complexos, sobretudo aqueles que combinaram dois a três tipos de componentes, exigem um processamento matemático mais complexo e demorado, exigindo muito da capacidade do computador.

### 2.1 Pórtico com mosaicos

Este elemento construtivo é constituído por dois algoritmos. O primeiro permite gerar famílias de mosaicos; o segundo possibilita a criação de pórticos. A intenção é interligar os dois algoritmos, de modo a estabelecer relações entre diferentes algoritmos.

A criação de mosaicos parte de uma superfície plana. Neste caso, pode ser uma superfície no plano XY, XZ ou YZ. Esta superfície é inicialmente subdividida em partes iguais, de modo a gerar vértices de cada face (de 0 a 3). Foram criadas linhas a partir destes vértices, de modo a obter outros vértices como referência para formação de superfícies. Assim, um parâmetro denominado comprimento da linha parte de cada um dos quatro vértices, na direção de vetores diagonais e paralelos à cada face.

O passo seguinte foi criar linhas que interligassem os vértices da face com os pontos finais (*endpoints*) das linhas diagonais e paralelas. As linhas criadas formaram polígonos, que foram transformados em superfícies.

**Quadro 2 – Desenho paramétrico dos mosaicos**

1. Superfície inicial	2. Superfície subdividida	3. Linhas e vetores para a definição do mosaico	4. Detalhe dos vértices referenciais para o mosaico
5. Conexão dos vértices por linhas	6. Definição da superfície do mosaico	7. Metade espelhada	8. Resultado com ambas as metades
	Algumas alternativas		
9. Detalhe da opção 2			

Fonte: Wilson Florio (2012)

As superfícies criadas nas faces correspondem a metade da superfície total inicial. Elas foram espelhadas a partir de um ponto de referência ao centro da superfície inicial pelo comando “câmara obscura” (ou *point mirror*). Estes dois ramos da “árvore” foram subdivididos pela metade comando “list”. Os dois ramos da árvore (*tree branches*, como é denominado no Grasshopper) foram o mosaico final.

É importante destacar que este algoritmo é constituído apenas por três parâmetros: dois para a divisão da superfície inicial na direção U e V; e o terceiro para controlar o comprimento das linhas diagonais e paralelas. A combinação entre eles e a opção de utilizar ou não as faces espelhadas, possibilita a criação de mosaicos com diferentes geometrias. Uma das possibilidades foi selecionada para gerar os mosaicos que foram sobrepostos às superfícies na segunda parte deste algoritmo.

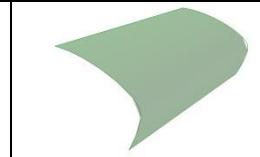
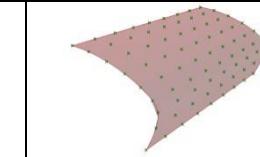
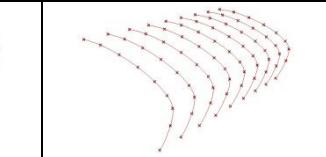
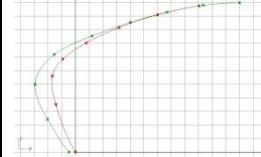
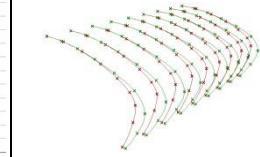
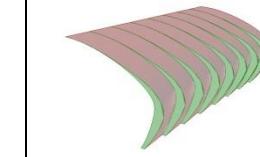
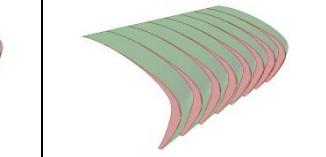
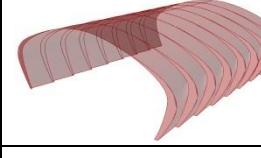
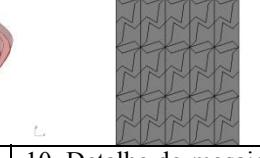
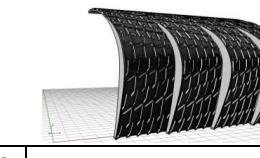
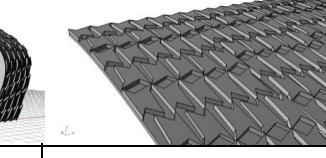
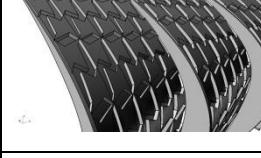
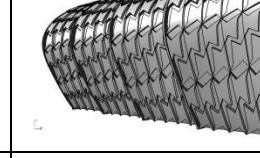
O algoritmo que constitui a segunda parte tem como objetivo a criação de pórticos curvilíneos não convencionais. As curvas iniciais que definem o perfil lateral do pórtico foram previamente desenhadas no programa Rhinoceros. Isto possibilita maior flexibilidade ao usuário, pois ele pode gerar diferentes perfis, com diferentes geometrias.

As duas curvas NURB são de terceiro grau, e foram capturadas pelo algoritmo e interpoladas no Grasshopper pelo comando *Loft*. Esta superfície inicial corresponde a metade da área total da cobertura constituída por pórticos.

Esta superfície inicial foi dividida por pontos. Entretanto, o número de pontos na direção U determina a suavidade da curva, enquanto que o número de pontos na direção V determina o número de pórticos.

Para estabelecer a largura do pórtico, os pontos sobre a curva foram manipulados pelo comando *Graph Mapper*. Devido a flexibilidade necessária, a curva escolhida no *Graph Mapper* foi a gaussiana. Assim, esta segunda curva, derivada da primeira, foi definida pelo deslocamento perpendicular dos pontos na direção U.

**Quadro 3 – Pórtico com mosaicos**

			
1. Curvas iniciais capturadas no Rhino	2. Superfície inicial gerada pelo loft no Grasshopper	3. Superfície inicial dividida por pontos	4. Curvas internas
			
5. Curvas externas em elevação manipulada pelo Graph Mapper	6. Curvas externas e internas	7. Pórticos resultantes do loft entre a curva interna e a curva externa	8. Superfície da cobertura resultante do loft entre a curva externa de um módulo com a curva interna do outro módulo
			
9. Cobertura e pórticos espelhados	10. Detalhe do mosaico gerado e aplicado sobre as superfícies da cobertura	11. Aplicação dos mosaicos sobre a superfície	12. Detalhe do mosaico sobre a superfície
			
13. Detalhe do pórtico	14. Perspectiva oposta	15. Perspectiva interna	16. Render

Fonte: Wilson Florio (2012)

As duas curvas planares criadas, ou seja, a curva interna inicial e a curva externa foram interpoladas pelo comando *Loft*. Um recurso denominado *Shift List* permitiu que a lista de curvas internas avançasse e se conectasse à curva externa do outro pórtico, gerando a superfície da cobertura. Porém, para que as curvas fossem interpoladas foi necessário mapear a lista de curvas internas. Os paths e os índices da lista da curva interna foram combinados com os da curva interna, de modo que o *loft* entre elas fosse possível. Por

outro lado, a superfície do pórtico foi obtida pelo *Loft* entre as duas curvas, a interna e a externa, sem o comando *Shift List*.

Esta manipulação dos ramos da árvore (*Tree*) foi possível devido ao recurso denominado Path Mapper, que permite indicar qual trajetória (*path*) e qual índice irá combinar com o outro. Esta seleção de objetos distribuídos em diferentes ramos (*branches*) da árvore é fundamental, pois sem este recurso é difícil determinar qual objeto será combinado com o outro.

As duas superfícies, ou seja, a superfície da cobertura e a superfície dos pórticos foram espelhadas pelo comando *Mirror*, formando uma grande área coberta. Ambos foram extrudados na direção de vetores perpendiculares às superfícies.

Neste algoritmo, três parâmetros controlam toda a geometria das superfícies: dois controlam o número de pontos na direção U e V, estabelecendo o número de pórticos e sua suavidade; e o terceiro que controla a geometria da curva externa do pórtico. A maior definição é a que diz respeito a manipulação indireta das listas de curvas pelos comandos *Path Mapper* e *Shift List*.

Por fim, as superfícies geradas para a cobertura foram selecionadas para a aplicação do padrão de mosaicos. Este processo exigiu memória e grande capacidade de processamento da máquina. Os mosaicos foram moldados às superfícies curvilíneas, gerando um relevo instigante e complexo. Os detalhes e perspectivas dos Quadros 2 e 3 mostram a complexidade geométrica resultante do processo.

## 2.2 Pórtico Metálico Paramétrico

Este algoritmo tem como intenção principal a geração de diferentes estruturas metálicas constituídas por pórticos a partir de simples perfis. Pode-se gerar pórticos curvilíneos ou retilíneos. Pode-se controlar a proporção entre a altura do pórtico e a largura da aba. Pode-se controlar a proporção entre a altura e largura dos pórticos, das vigas e das terças. Além disso, pode-se estabelecer relações entre a altura da viga e o espaçamento entre os pórticos. Isto é possível graças a operações matemáticas simples de multiplicação ou divisão entre dois valores.

Inicialmente a curva desenhada previamente no programa Rhinoceros é capturada. Esta curva é duplicada (pelo comando *Offset*) por um parâmetro denominado altura da viga. A largura da viga é obtida por um parâmetro que divide a altura da viga por um número variando entre 2 e 5. Esta operação matemática estabelece a largura das abas inferior e superior do pórtico.

O número de repetições deste pórtico inicial é controlado por um parâmetro. Porém, a distância entre os pórticos se dá pela multiplicação da altura da viga por um fator que varia entre 5 e 20.

As vigas perpendiculares aos pórticos são dimensionadas em proporção às dimensões do pórtico inicial. Este cálculo é controlado por um parâmetro que estabelece um fator de divisão que varia entre 1 e 5. Assim, pode-se, por exemplo, obter uma viga de 0.30 a partir da divisão da altura de 0.60 do pórtico pelo fator 2. Por outro lado, o número de vigas é controlado por outro parâmetro, que divide o comprimento da curva inicial em partes iguais.

O mesmo processo ocorre na determinação da geometria das terças. Estas são dimensionadas em proporção às dimensões do pórtico inicial. Porém, neste caso a altura e a largura da terça são definidos por dois outros fatores de divisão variando entre 4 e 12. Por exemplo, se a altura do pórtico for 0.60 e o fator de divisão for 4, a altura da

terça será 0.15. O número de terças pode ser controlado por um parâmetro específico. Entretanto, a distância entre elas é definida a partir da divisão da curva inicial pelo número de terças.

Como se pode notar, a altura do pórtico inicial determina as proporções e distâncias dos pórticos, vigas e terças. Pode-se obter diferentes desenhos alterando-se os valores dos parâmetros estabelecidos. No entanto é importante lembrar que tais proporções devem obedecer às normas de estrutura metálica, relativas ao pré-dimensionamento.

**Quadro 4 – Pórtico Metálico Paramétrico**

1. Curva inicial do pórtico posicionada no plano XZ capturada no Rhinoceros	2. Curva <i>offsetada</i> com a largura do pórtico no plano XZ	3. Pórtico inicial com a alma e as abas	4. Repetição dos pórticos no eixo Y
5. Vigas perpendiculares aos pórticos	6. Terças	7. Perspectiva da estrutura	8. Detalhe
9. Elevação da estrutura	Resultado final obtido		

Fonte: Wilson Florio (2012)

O Quadro 4 sintetiza todo o processo, e permite visualizar as principais etapas descritas anteriormente. A repercussão de uma mudança se dá por todo o algoritmo, tornando-se valioso quando se deseja gerar novas famílias de estruturas metálicas constituídas por pórticos.

### 2.3 Janela diagonal sobre superfície regrada

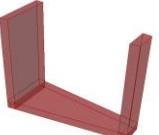
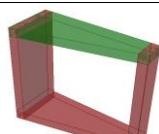
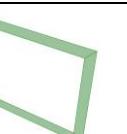
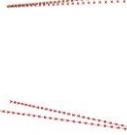
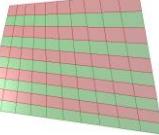
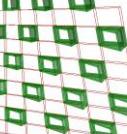
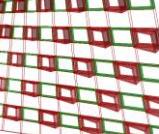
O propósito deste algoritmo é criar uma janela paramétrica envolvida por um requadro trapezoidal que possa ser inserida em superfícies regradas. Assim, o algoritmo foi dividido em duas partes: a primeira destinada a gerar a janela; e a segunda destinada a inserir a janela sobre uma superfície curvilínea.

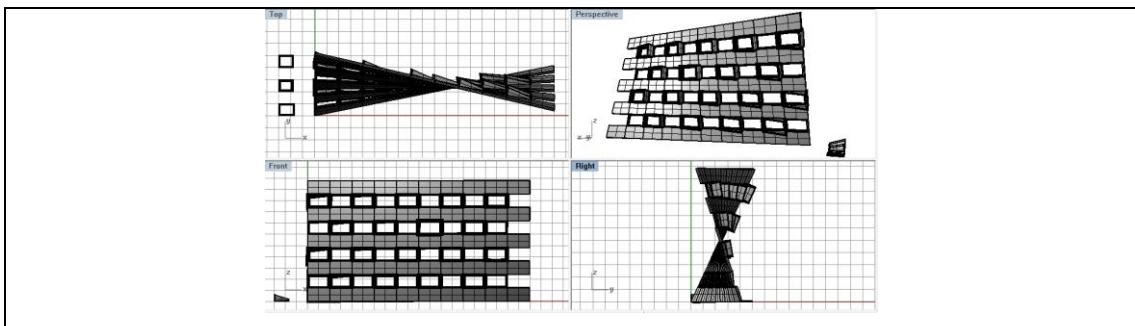
A primeira parte teve início com a definição dos pontos limites do requadro que envolve

a janela. Estes pontos foram localizados no plano XY. Em seguida os quatro pontos geraram uma superfície plana correspondente à base do requadro. Na sequência, foram criados quatro pontos na base para definir as duas superfícies laterais do requadro. As três superfícies foram extrudadas na direção do eixo Z, finalizando com a cópia da base do requadro (Quadro 5 – Figuras 1 a 5). Quatro parâmetros controlam o desenho do requadro: profundidade, largura, altura e espessura.

O caixilho da janela, envolvido pelo requadro, foi determinado por um parâmetro adicional que permite estabelecer sua largura e profundidade. A geometria do caixilho mais a do requadro pode ser obtida por uma única *boundary representation* (Brep). Este *Brep* gera o módulo que será inserido sobre a superfície curvilínea.

**Quadro 5 – Janela diagonal sobre superfície regrada**

			
1. Pontos iniciais da janela diagonal no plano XY	2. Definição dos pontos iniciais do requadro da janela diagonal no plano XY	3. Superfícies dos requadros laterais	4. Superfícies da janela diagonal extrudados em Z
			
5. Cópia da base do requadro da janela diagonal	6. Linhas do caixilho da janela diagonal	7. Superfície do caixilho	8. Caixilho da janela diagonal
			
9. Módulo da janela diagonal para o <i>morph</i>	10. Pontos das retas iniciais e pontos da manipulação do <i>Graph Mapper</i>	11. Superfície inicial – parabolóide hiperbólico	12. Definição das superfícies pares
			
13. Definição das superfícies ímpares	14. Painéis da parede	15. Janelas e molduras diagonais nos módulos pares obtidos pelo <i>Morph</i>	16. Caixilhos nos módulos ímpares obtidos pelo <i>Morph</i>



Fonte: Wilson Florio (2012)

A segunda parte do algoritmo permite gerar a superfície, controlar sua subdivisão, inserir a janela com o requadro e a janela separadamente, assim como determinar as áreas de painéis de vedação. Para a definição da superfície inicial, foram criadas duas retas manipuladas pelo comando *Graph Mapper*. Neste caso, foram escolhidas retas, em direções opostas, tendo como resultado um parabolóide hiperbólico. Esta superfície regrada, constituída por retas na direção vertical, foi subdividida por dois parâmetros, um para divisões em U e outra para divisões em V.

Metade das faces da superfície foi destinada a aberturas, e a outra metade para painéis cegos para vedação. As superfícies pares (0, 2, 4, etc.) receberam painéis, enquanto que as superfícies ímpares (1, 3, 5, etc.) receberam aberturas. As faces ímpares foram alternadas entre janelas com e sem requadro. Para realizar esta intenção, foi utilizado o recurso *Morph*, que permite substituir um módulo por outro (Quadro 5 – Figuras 12 a 16).

Dois tipos de aberturas foram utilizados: janela com requadro e sem requadro. A janela com o requadro diagonal foi gerada pela primeira parte do algoritmo, e foi inserida como a geometria para o primeiro *Morph*. A janela sem o requadro foi também gerada pela primeira parte do algoritmo e também foi inserida como a geometria para o segundo *Morph*. Dois parâmetros controlam a profundidade da janela com e sem requadro.

Um parâmetro foi criado para controlar a espessura dos painéis cegos da outra metade da superfície, ou seja, sobre as superfícies pares.

O resultado obtido permite visualizar a oscilação da superfície, e, consequentemente, a oscilação das aberturas sobre a mesma. A combinação entre as variações paramétricas das partes que controlam a geometria da janela (com e sem requadro) e as variações da geometria da superfície permite gerar uma família de janelas e posicionamentos na fachada de edifícios. Este processo generativo facilita a criação de novas possibilidades, tanto em termos de estudo preliminar como para projetos destinados à execução.

### 3 DISCUSSÃO

O pensamento paramétrico requer um olhar abrangente, uma vez que as múltiplas variáveis e parâmetros podem conduzir diferentes raciocínios interpretativos. Os novos edifícios, construídos a partir deste poderoso recurso tecnológico, têm demonstrado, na prática, que há, recentemente de fato, um novo modo de pensar, que é ao mesmo tempo criativo e matemático, lógico e analógico, algorítmico e improvisado, sem, contudo, perder o foco sobre o principal objetivo: obter um edifício com qualidade construtiva, qualidade de espaços e adequado ao uso específico.

A MP amplia nossa capacidade e 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. Embora arquitetos visionários sempre tenham imaginado novas concepções espaciais, somente em anos recentes ideias futuristas exploratórias puderem ser viabilizadas a partir dos recursos tecnológicos, sobretudo pela fabricação digital.

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, pode-se alcançar novos conhecimentos a partir de combinações de conhecimentos já adquiridos. Este processo estende nossa capacidade de imaginar e de combinar, uma vez que, enquanto que o ser humano tem a capacidade de programar e 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.

Projeto paramétrico é o uso do computador para modificar automaticamente um projeto enquanto os valores dos parâmetros mudam, e fazer as mudanças correspondentes nos modelos computacionais durante o processo de projeto. A modelagem paramétrica é particularmente útil para modelar edifícios com formas complexas, ou que possuam uma geometria curvilínea de grande complexidade.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

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 dependerão das restrições e variáveis entre objetos de um modelo paramétrico impostas pelo programador. Cabe ao usuário explorar as alternativas e julgar qual a mais viável dentro do contexto projetual.

É interessante notar a agilidade com que as informações contidas no sistema de representação simbólica por meio de scripts, na forma de texto, é transformada em outro sistema de representação, o sistema gráfico. Esta comunicação entre um sistema abstrato e um sistema visual mais concreto traduz aquilo que McLuhan denominou de “movimento da informação”.

A MP permite transformar informações abstratas, constituídas por textos e símbolos abstratos, em desenhos bi e tridimensionais. Esta transformação requer o desenvolvimento de nosso pensamento abstrato e espacial. A entrada de dados, a ordenação de sequências de símbolos e de variáveis abstratas nos scripts tem como resultado a produção de sequências de operações de construção de objetos espaciais em programas gráficos. Este ciclo interativo entre pensamento abstrato e visual obriga o programador a avaliar, de modo consciente, o propósito de cada componente e a sucessão de eventos articulados decorrentes destas operações sequenciais.

Durante a articulação entre as variáveis contidas na MP, os pequenos ciclos abstrato→concreto→abstrato conduzem o encadeamento do raciocínio lógico do arquiteto, de modo a explorar diferentes aspectos do projeto, desde os técnico-

construtivos, até os espaciais e funcionais. Uma vez que a representação mental é incorporada na representação simbólica da modelagem paramétrica, esta exteriorização começa a tornar-se concreta, pois o percurso – mente do sujeito→modelagem paramétrica→representação gráfica – transforma a ideia contida na mente do sujeito em símbolos programados e, daí, em representação concreta 3D. A alternância entre o pensamento abstrato simbólico e o pensamento visual permite avançar na prospecção de formas e espaços em arquitetura.

Pela primeira vez na história que 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 criar novas formas com diferentes geometrias, euclidianas e não euclidianas. 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.

## AGRADECIMENTOS

O autor agradece o apoio financeiro do CNPq.

## 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.
- GLEICK, J. **Caos: a criação de uma nova ciência**. 4 ed. Rio de Janeiro: Campus, 1989
- 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.
- 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.
- HOLZER, D.; HOUGH, R.; BURRY, M. Parametric Design and Structural Optimisation for Early Design Exploration. **International Journal of Architectural Computing**, v. 5, n. 4, p. 625-643, 2007.
- 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.
- WOODBURY, R. Elements of Parametric Design. Abingdon, Oxon: Routledge, 2010. 300 p.