

CENTRO UNIVERSITÁRIO BELAS ARTES DE SÃO PAULO
ARQUITETURA E URBANISMO

**ALGORITMOS COMO CONSTRUÇÃO DO DESENHO GEOMÉTRICO NA
ARQUITETURA**

Orientando: Nicolas Victuri Faglioni
Orientadora: Profa. Dra. Lúcia Pirró

RESUMO

Este artigo tem como fundamento introduzir o conceito da programação computacional no projeto de arquitetura. Explicar conceitos primordiais relacionados a ferramentas paramétricas, como algoritmos e variáveis. Contextualizar a relevância do computador na arquitetura ao longo dos anos. E, por fim, utilizando-se de um projeto construído pelo autor, demonstrar algumas etapas do projeto por programação, desde a concepção da forma, materialidade e intenções por optar pelo uso da ferramenta algorítmica. Concluindo com uma dissertação sobre o desempenho adquirido com o uso dos algoritmos, bem como as vantagens adquiridas na forma de projetar.

ABSTRACT

This paper is based on introducing the concept of computational programming in architectural design. Explain concepts related to parametric tools, such as algorithms and variables. To contextualize a computer importance in architecture over the years. And finally, using a project built by the author, illustration, and analysis some stages of the project by programming, from the conception of form, materiality, and intentions by the algorithmic tool. Concluding with a dissertation on the performance acquired with the use of the algorithms, as well as the advantages acquired in the way of designing.

PALAVRAS-CHAVE: Algoritmos. Arquitetura Paramétrica. Programação. Geometrias Complexas.

1. INTRODUÇÃO

1.1. ALGORITMOS

A todo conjunto de regras aplicadas em prol de uma finalidade desejada, tem-se o nome de algoritmo. Quando, por exemplo, um plano cartesiano contém retas ligando os pontos $(Y_a; X_a)$, $(Y_b; X_a)$, $(Y_a; X_b)$, tem-se os algoritmos que irão uni-las em um triângulo retângulo. Ou seja, foi usada uma série de regras para composição de um desenho geométrico, o qual sempre será um triângulo retângulo. Porém, ao serem

adicionados valores para a e b , as dimensões desse triângulo mudarão respondendo ao valor adquirido, gerando uma variável que poderá ser alterada infinitas vezes em prol da necessidade de utilização daquela geometria.

Dentro da programação computacional, os algoritmos seguem o mesmo princípio. O programador dispõe uma série de dados a um computador e aplica instruções de como eles devem se comportar a fim de obter um resultado. Estas instruções podem ser determinadas pelo programador por resultados de cálculos matemáticos, intenções gráficas e geométricas, parâmetros pré-existentes (a exemplo, da natureza), entre outros.

Para isso, o programador precisa de um meio para se comunicar com o computador, uma espécie de dicionário que transcreva o que o ser humano deseja para aquilo que o computador entende (sistema binário). Assim, entram as linguagens de programação, como, Java, C, C#, Python, Ruby e outras centenas mais. De maneira geral, o que muda entre uma linguagem e outra é a maneira com que se escreve e as diretrizes das bibliotecas (funções já pré-definidas buscando a facilitação do código para determinado resultado). É como se fosse possível escrever em inglês e em português, mas em português é mais fácil falar sobre comidas, em inglês mais fácil falar sobre viagens; usar-se-ia português para falar de comidas e inglês para falar de viagens.

Dentro da modelagem, é preferível usar linguagens de *Visual Programming*, sendo as mais utilizadas o Grasshopper e o Dynamo. Este tipo de linguagem opera com elementos gráficos, como *nodes* – “caixas” contendo linhas de códigos prontos, as quais o usuário apenas conecta suas entradas e saídas, ao invés de digitá-las - e são mais objetivas e de melhor compreensão para não-programadores, mas que também trabalham com interoperabilidade com linguagens textuais, dando ao programador maior liberdade de criação e execução.

“Estamos muito próximos dos algoritmos e apenas somente um terço de um por cento do mundo sabe programar”. (EXPLAINED, 2018)

1.2. VARIÁVEIS

Na programação, uma variável é um determinado dado que fica armazenado na memória do computador. O valor desse dado pode ser alterado e, conseqüentemente, altera a resultante final do código.

Em um projeto de arquitetura, pode-se observar uma série de variáveis que, pelo design convencional, são tratadas como partes individuais do projeto, por exemplo: espessuras de paredes, paginação de piso, modulação estrutural, detalhes de fachada, disposição dos ambientes e outros. Quando se trabalha com algoritmos, declara-se essas variáveis e é possível criar relações de dependência entre elas. Assim, deixa-se de lado a noção individual de cada peça e se lida com a parte por inteira. Isso possibilita ter o controle de um número altíssimo de peças simultaneamente. A partir daí, o projeto sai do design convencional e entra no design algorítmico.

Willian J. Mitchell (1990) apresenta em seu livro “A lógica da arquitetura” uma forma de compreender a concepção projetual como o resultado de uma série de regras lógicas, as quais satisfazem as necessidades finais do projeto.

“A estrutura básica do mundo projetual é dada por um vocabulário de formas, um conjunto de operadores que podem ser aplicados a essas formas, e a álgebra resultante de ambos. Contudo, o conhecimento sobre o tipo, expresso por meio de regras de identificação, detalhamento e montagem das partes, é que dá estrutura a esse mundo. A busca de uma solução para um problema de projeto consiste em um procedimento do tipo tentativa e erro de aplicação de regras de maneira que gere soluções possíveis. Para cada um dos candidatos gerados, predicados são calculados para que se possa confirmar se eles representam ou não soluções aceitáveis.” (MITCHELL, 1990, p. 194)

Tais regras conduzem um caminho para o produto-final, e quando o resultado não é o desejado, alteram-se as regras em um procedimento de tentativa e erro. Dessa mesma forma, as variáveis atuam no desenho geométrico, alterando simultaneamente as partes individuais até alcançar as soluções adequadas.

Branko Kolarevic (2003), arquiteto e estudioso sobre os princípios do design na Era Digital, explica como, na arquitetura paramétrica, a forma resultante de um projeto não é referenciada, mas sim suas variáveis (chamados de parâmetros), já que a geometria resultante será diferente a cada valor alterado.

“Em arquiteturas paramétricas, são os parâmetros de um projeto específico que são declarados, não sua forma. Ao atribuir diferentes valores aos parâmetros, diferentes objetos ou configurações podem ser criados. As equações podem ser usadas para descrever as relações entre os objetos, definindo assim uma geometria associativa - a “geometria constituinte que está mutuamente ligada” (BURRY, 1999). Dessa forma, as interdependências entre os objetos podem ser estabelecidas e o comportamento dos objetos sob transformações definido. Conforme observado por Burry, “a capacidade de definir,

determinar e reconfigurar relações geométricas é de particular valor”.
(KOLAREVIC, 2003, p. 119 - Tradução do autor)¹

Equações paramétricas podem ser usadas para descrever relações entre objetos e o comportamento deles diante de transformações definidas. Tais equações podem ser simuladas (com auxílio de programas computacionais) infinitas vezes, com infinitas variáveis, até chegar na geometria ideal, assim como o método tentativa e erro presumido por Mitchell.

2. DESIGN COMPUTACIONAL

Por volta dos anos 60, com a invenção do Desenho Assistido por Computador (*computer aided design – CAD*, em inglês), a forma de trabalho e estudo do designer, do arquiteto e do engenheiro foi completamente modificada. O que antes era totalmente artesanal se tornou computadorizado, desenhos que demorariam meses passaram a demorar dias, ou até minutos. Tal inovação mudou drasticamente o formato de empresas, o tempo de projeto e, conseqüentemente, o tempo de obras. A velocidade e praticidade também possibilitou maior dedicação em estudos de formas e soluções projetuais até então não discutidas, assim como a utilização de geometrias NURBS (explicado no item 3.1) que permitirá, a partir daí, uma maior complexidade nos produtos e edifícios.

Outro grande passo que a tecnologia trouxe para remodelar a arquitetura surgiu do artigo *Modelling multiple views on buildings* (van Nederveen, G. A. e F. P. Tolman, 1992), onde abordara a ideia de que um modelo computadorizado de uma construção deveria carregar consigo todas as informações contidas numa edificação real, e não apenas uma mera reprodução gráfica e geométrica do projeto. Neste estudo, apareceu, pela primeira vez, o termo *Building Information Model*, conhecido pela sigla BIM. Nos anos seguintes (década de 2000), começaram a surgir propostas e programas seguindo esse conceito e, a partir daí, o computador passou a trabalhar não apenas com a parte do desenho, mas também com a parte informacional de um

1

“In parametric architectures, it is the parameters of a particular design that are declared, not its shape. By assigning different values to the parameters, different objects or configurations can be created. Equations can be used to describe the relationships between objects, thus defining an associative geometry—the “constituent geometry that is mutually linked” (Burry 1999). That way, interdependencies between objects can be established, and objects’ behavior under transformations defined. As observed by Burry, “the ability to define, determine and reconfigure geometrical relationships is of particular value.” (KOLAREVIC, 2003, p. 119)

edifício. Por exemplo, uma parede construída no computador é apenas duas linhas em sistemas CAD, com o BIM, ela é de fato uma parede, com materiais, acabamentos, peso, resistência e inserida em um banco de dados para análises quantitativas.

A metodologia BIM envolve todas as etapas relacionadas à vida do edifício, que vai desde o projeto até a construção, a fabricação, o uso e a manutenção. Ela apoia-se em duas tecnologias principais, a modelagem paramétrica e a interoperabilidade. No que se refere ao método de trabalho, utiliza conceitos como colaboração, coordenação e interoperabilidade (UMAKOSHI, Erica, 2014)

No entanto, apesar de tantas mudanças e inovações, a maioria dos arquitetos ainda usa o computador como uma ferramenta de apresentação do projeto. Tanto em CAD, quanto em BIM o computador é usado apenas para transmitir o que foi concebido anteriormente pelo projetista. Isso traz velocidade e facilita o decorrer do projeto, mas deixa de utilizar o que há de mais útil no computador: a capacidade de encontrar soluções e propor resultados, ideias.

Entre os anos 80 e 90 percebe-se que os computadores disponibilizam capacidades de calcular e processar rapidamente complexas fórmulas matemáticas, como qualquer outro tipo de informação. Aparecem, assim, formas de processos generativos, como os modelos paramétricos, morphing, sistemas de desenho evolutivo, etc. (CASTRO; BUENO, 2010).

A partir do final da década de 1990 e mais intensamente nos anos 2000, as técnicas digitais começaram a ser empregadas como estratégias geradoras da forma e, com isso, os arquitetos começaram a ter em mãos uma grande diversidade de composições (NATIVIDADE, 2010).

Neste artigo são apresentadas, por meio de um modelo construído pelo autor, algumas possibilidades de geometrias projetuais geradas digitalmente, no intuito de exemplificar as capacidades algorítmicas dentro da elaboração do projeto arquitetônico desde a concepção da forma, sua intenção estética, e sua funcionabilidade.

Quando falamos sobre a “geometria” de um espaço ou edifício, estamos falando sobre as formas (geométricas) como aspecto do mundo material [...] Porém, as técnicas matemáticas geométricas que viabilizam as concepções espaço-morfológicas voltadas à organização e articulação devem, ao mesmo tempo, atender à demanda de controle da

coordenação dimensional para a construção. (SCHUMACHER, 2018 - tradução do autor)²

Portanto, quando voltados à arquitetura, os algoritmos devem prever as necessidades e composições de um edifício. As composições por meios digitais podem ser infinitas, mas cabe ao arquiteto programador estabelecer regras e meios para viabilizar o projeto dentro de sua funcionabilidade, e não apenas trabalhar com a forma pela forma.

No capítulo seguinte, será demonstrada a construção de uma fachada arquitetônica, construída por meio de algoritmos. Será utilizado a linguagem de *Visual Programming*, Grasshopper.

3. APLICAÇÕES PROJETUAIS

3.1. MANIPULAÇÃO DE VARIÁVEIS – CURVAS

Uma das maneiras de iniciar geometrias complexas por algoritmos é partindo de geometrias simples, neste caso, será por Curvas NURBS. Uma geometria *Non Uniform Rational Basis Spline* (ou NURBS) é gerada pela resultante das forças e direções aplicadas a ela, podendo ser uma Curva ou uma Superfície. Tais forças podem ser descritas com a relação entre a distância dos pontos de sua extremidade a pontos em seu interior (figura 1) ou com vetores (figura 2).

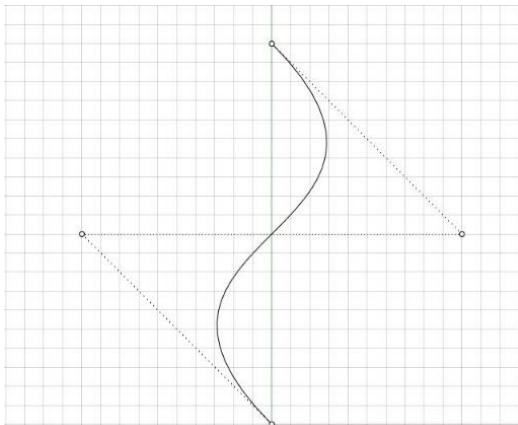


Figura 1 – NURBS construída por pontos (fonte: o autor)

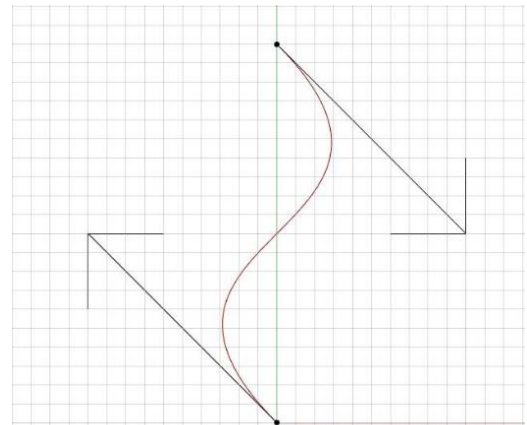


Figura 2 – NURBS construída por vetores (fonte: o autor)

² When we talk about the “geometry” of a space or building we are talking about (geometric) forms as aspects of the material world. [...] However, mathematical geometric techniques that enable spatio-morphological conceptions aimed at organization and articulation must at the same time meet the demand for controlling dimensional coordination for construction. (SCHUMACHER, 2018)

No projeto apresentado, foi trabalhada a construção utilizando-se de vetores, onde foram aplicadas variáveis em suas amplitudes e sentido, desta forma, parametrizando a construção da Curva inicial. Nas figuras 3 e 4, é possível observar a Curva resultante quando as variáveis nos vetores são alteradas. Isto é um processo simultâneo, descartando a necessidade de se desenhar várias vezes uma Curva para alcançar as formas necessárias.

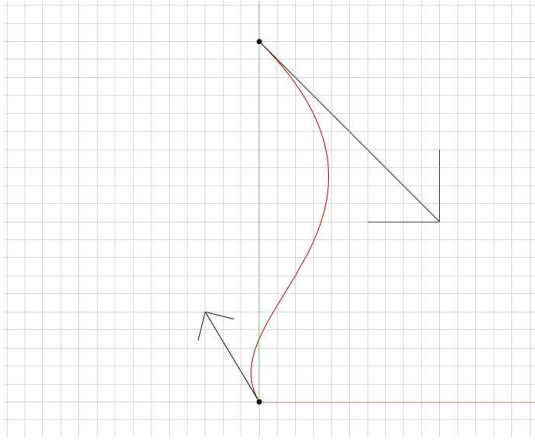


Figura 3 – variação dos vetores na NURBS (fonte: o autor)

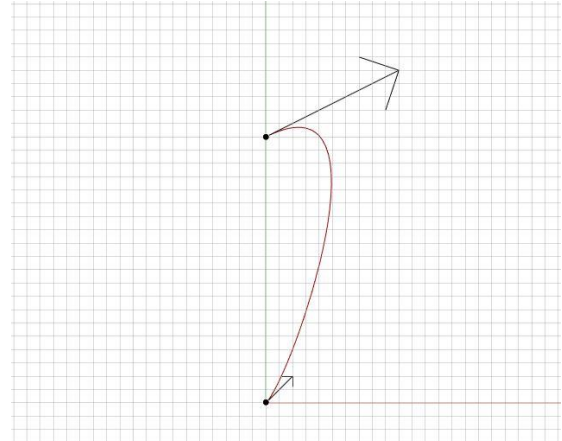


Figura 4 – variação dos vetores na NURBS (fonte: o autor)

As vantagens aqui representam não só na potencialidade de alterar tal geometria em instantes, mas principalmente, porque isto poderá ser feito em qualquer etapa projetual.

3.2. MANIPULAÇÃO DE MÚLTIPLOS OBJETOS

O passo seguinte foi orientar a Curva anterior a uma segunda Curva, criando uma sequência de múltiplas Curvas vinculadas aos mesmos parâmetros da inicial. Desta forma, ao serem alterados os valores de construção dos vetores que controlam a primeira NURBS, todas as seguintes serão alteradas imediatamente, podendo-se controlar uma série de objetos dispostos diferentemente no espaço, cada um com sua particularidade, mas utilizando do mesmo processo construtivo³. As vantagens de se trabalhar com múltiplas Curvas é a possibilidade de utilizá-las como guias para gerar Superfícies⁴ - a forma com que essa composição será feita dependerá das intenções do projetista por meio dos métodos de construção de Superfícies na modelagem 3D,

³ As figuras 5 e 7 demonstram o processo de variação da sequência de Curvas conforme a Curva inicial varia.

⁴ As figuras 6 e 8 representam as Superfícies geradas a partir das Curvas 5 e 7, respectivamente.

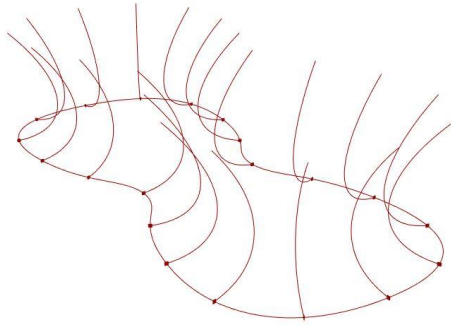


Figura 5 – variação na sequência de Curvas (fonte: o autor)

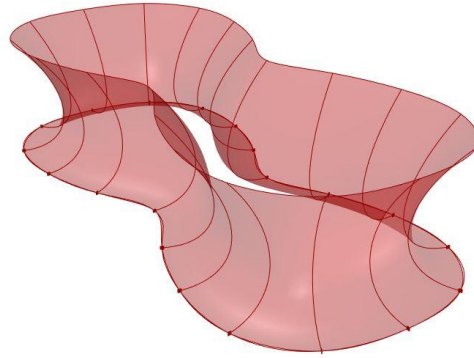


Figura 6 – Superfície gerada a partir das Curvas da figura 5 (fonte: o autor)

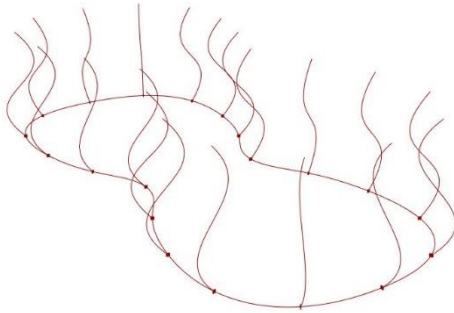


Figura 7– variação na sequência de Curvas (fonte: o autor)

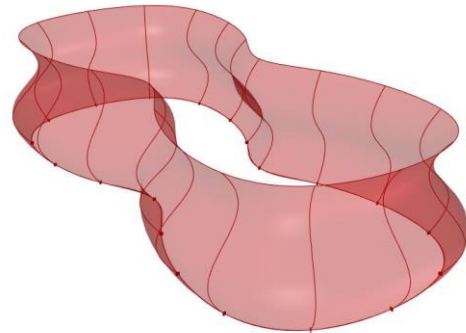


Figura 8– Superfície gerada a partir das Curvas da figura 7 (fonte: o autor)

como *Loft*, *Sweep*, *extrude* - e, por conta dessa dependência, o aspecto da Superfície também está diretamente ligado às variáveis que compõem as Curvas.

As variáveis de composição de uma série de objetos podem ser substituídas por uma sequência numérica. Com isso, ao invés de um número de variações fixas para cada item da série, haverá o valor correspondente à sua ordem dentro da sequência numérica. As figuras 9 e 10 demonstram a substituição da variável que determinava a amplitude dos vetores na Curva inicial, por um gráfico de função trigonométrica em seno⁵, logo, na figura 9, algumas Curvas passam a ter um valor negativo, mudando a direção do vetor ao longo da geometria; na figura 10, as

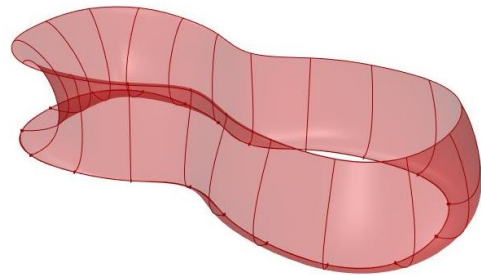


Figura 9 – Superfície gerada a partir da alteração na amplitude os vetores da Curva inicial (fonte: o autor)

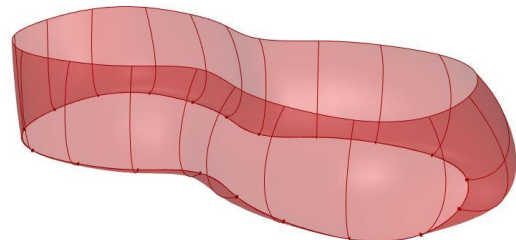


Figura 10 - Superfície gerada a partir da alteração na amplitude dos vetores da Curva inicial (fonte: o autor)

⁵ A função trigonométrica descreve uma ordem numérica crescente no primeiro e quarto quadrantes que decresce nos segundo e terceiro, que possibilitou as nuances nas geometrias exemplo.

mesmas ao fundo possuem uma Curvatura quase nula que vai se expandindo, ambas conforme a sequência numérica do gráfico definido. Assim, criam-se opções de manipulações individuais de controle em múltiplos objetos por meio de uma única variável com valores pré-estipulados, resultantes de cálculos matemáticos, como no exemplo, ou outra sequência numérica qualquer, desde que contemple o mesmo número de itens que a Lista⁶ de objetos manipulados.

Além das possibilidades de construção e controle dos múltiplos objetos como mostrado anteriormente, por meio da orientação e/ou controle de valores dimensionais, no exemplo a amplitude, a programação também permite conceber objetos que tenham outro(s) como ponto(s) de partida. Se este (primeiro) for uma Lista de objetos, as geometrias irão agir de forma individual sobre cada item do grupo primordial, porém os comandos e variáveis de construção serão os mesmos, e ocorrerão ao mesmo instante. Com essa forma de trabalho em Listas, geometrias individuais podem ser construídas dentro de uma Lista⁷ e, partindo delas, uma terceira Lista de geometrias, estas dependentes da anterior, porém individual em relação a primeira⁸ definirão a forma final.

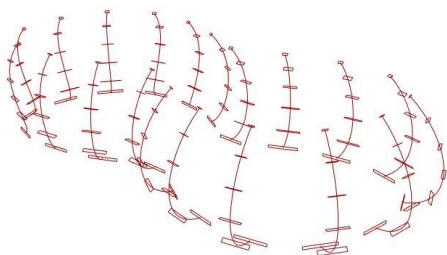


Figura 11 - lista de retângulos que partem das curvas iniciais (fonte: o autor)

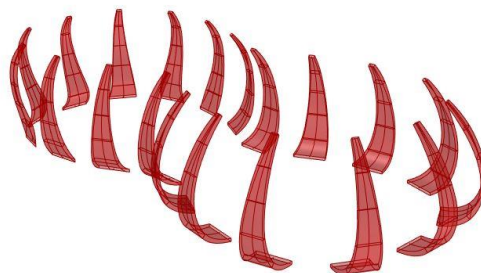


Figura 12 - lista de Superfícies que partem dos retângulos (figura 11) (fonte: o autor)

⁶ “Em ciência da computação, uma Lista ou sequência é uma estrutura de dados abstrata que implementa uma coleção ordenada de valores, onde o mesmo valor pode ocorrer mais de uma vez. Uma instância de uma Lista é uma representação computacional do conceito matemático de uma sequência finita, que é, uma tupla. Cada instância de um valor na Lista normalmente é chamada de um item, entrada ou elemento da Lista. Se o mesmo valor ocorrer várias vezes, cada ocorrência é considerada um item distinto.” (M. T. Goodrich e R. Tamassia, 2004)

⁷ Na figura 11, observa-se uma Lista de retângulos que partem das Curvas iniciais, porém sua geometria é independente (das Curvas).

⁸ Na figura 12, observa-se uma Lista de Superfícies que partem dos retângulos (figura 11), e suas geometrias dependem dos retângulos - suas formas se dão por meio deles -, mas não dependem das Curvas iniciais (que geraram os quadrados).

3.3. PAGINAÇÃO DE SUPERFÍCIES

As Superfícies em softwares de modelagem e design computacional operam com um sistema bidimensional em parâmetros UV, baseado em *Isocurves*. Isso possibilita a localização espacial dentro daquela Superfície. Tais parâmetros são definidos de 0 a 1 para o sentido U e o mesmo para o sentido V - que operam de maneira similar a eixos cartesianos. Um objeto alocado numa Superfície a $U=0.25$ e $V=0.45$, estará no ponto exato que ocupa 25% do comprimento da *Isocurve* U, a 45% do comprimento da *Isocurve* V. As *Isocurves* são Curvas que

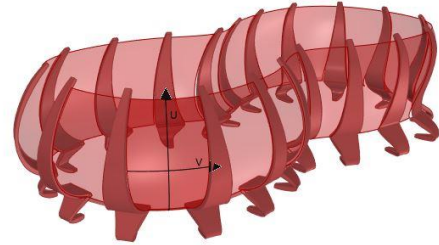


Figura 13 – eixos U e V da Superfície (fonte: o autor)

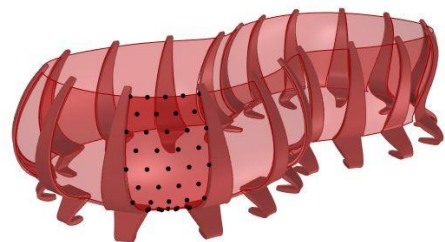


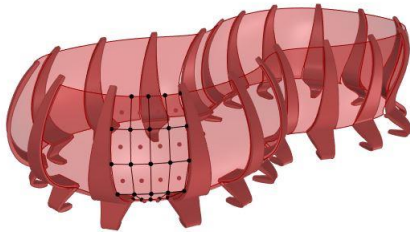
Figura 14 – sequência de pontos dispostos ao longo da Superfície por meio de um domínio numérico em U e V (fonte: o autor)

segmentam uma Superfície em dois eixos (figura 13) em toda sua extensão, possibilitando o mapeamento com uma leitura bidimensional dentro de um objeto de três dimensões. Como uma Superfície pode ser composta de várias progressões não ortogonais, os comprimentos destas Curvas podem variar severamente, por isso a necessidade de se trabalhar com domínio de 0 a 1 (que se iguala a uma porcentagem dentro do espaço e não a um valor exato).

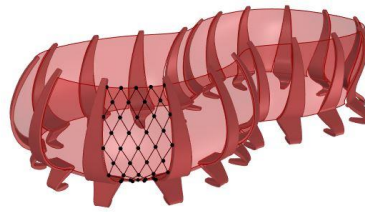
Da mesma maneira que é possível manipular diversos objetos, por meio de Listas, como apresentado no item anterior, também é possível manipulá-los no espaço UV presente em uma Superfície. Na figura 14, tem-se uma sequência de pontos dispostos desta maneira, ou seja, a distribuição é dada por meio de um domínio numérico em U e V. Por exemplo, um domínio que comece a 15% do comprimento em U, termine a 85% e a divisão se dará a cada 10% da *Isocurve*. Início=0.15, Final=0.85, Intervalo=0.10. Dessa forma, um ponto será alocado a 15% da Curva, outro a 25%, outro a 35% e isso se repetirá X vezes⁹ até chegar ao último ponto que será alocado a 85%. Assim, a Superfície será dividida em $U=0.15, 0.25, 0.35 \dots 0.85$. Em V, a

⁹ X = a quantidade de números possíveis dentro daquele domínio numérico considerando o valor do intervalo estipulado.

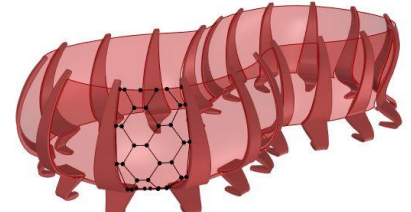
divisão será de mesmo valor, porém começando em 0 e 1, sendo $V=0.00, 0.10, 0.20, 0.30 \dots 1.00$. No domínio entre 0.15 e 0.85 haverá 8 números, já entre 0 e 1, 10 números, portanto nesta Superfície serão alocados 8 pontos no eixo U e 10 pontos no eixo V, sendo que no eixo U a colocação começará a 15% de seu comprimento, gerando uma malha ortogonal (de pontos) sobre ela.



*Figura 15 – malha de pontos retangular
(fonte: o autor)*



*Figura 16 – malha de pontos losangular
(fonte: o autor)*



*Figura 17 – malha de pontos hexagonal
(fonte: o autor)*

Devido à precisão com que estes pontos serão alocados, respeitando as possíveis distorções da Superfície, tal possibilidade é comumente usada para gerar malhas de paginações (figuras 15, 16 e 17), já que traz o dimensionamento e posicionamento exato de cada peça e, junto com um processo de usinagem, a produção não terá faltas ou excedentes, trazendo uma otimização severa de materiais e redução de resíduos. E também, essa diagramação é comum na alocação de brises, caixilhos, aberturas ou qualquer outro elemento de ordem modular que se apoia em uma face não ortogonal. As etapas de cálculos de domínios e intervalos de alocação podem ser puladas

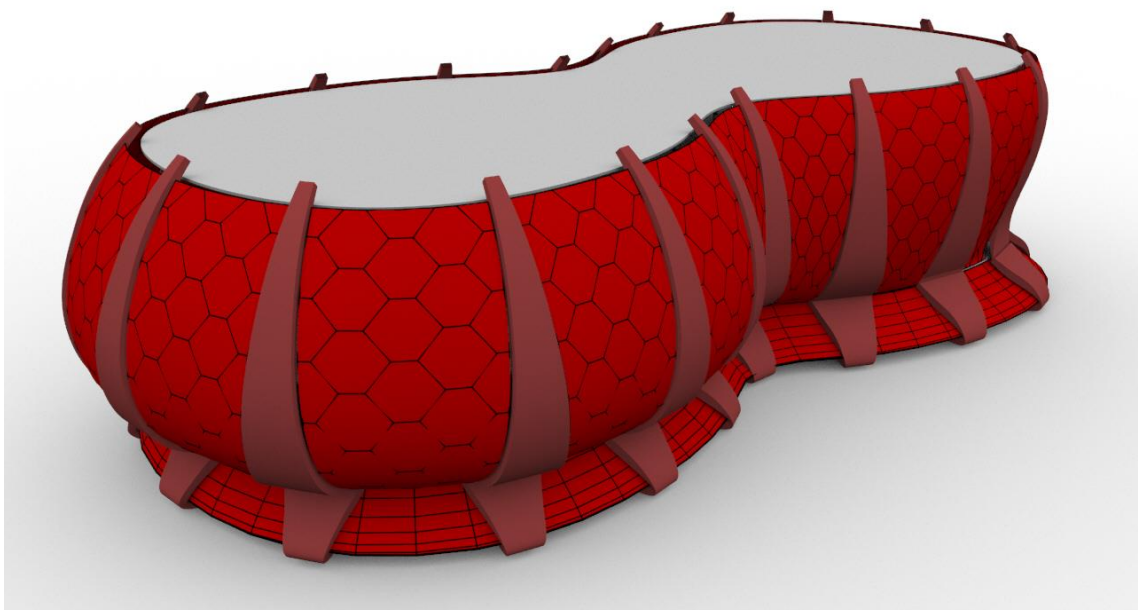


Figura 18 – estudo com paginação hexagonal na parte superior e retangular na parte inferior (fonte: o autor)

quando a geometria da malha parte de um padrão conhecido, já que os softwares de design computacional já possuem *nodes* pré programados com tais padrões inseridos, mas é válido entender como são construídos para o projetista não se limitar e ser capaz de gerar padrões inéditos ou pouco usuais. As faces inferiores do estudo (figura 18) foram paginadas em uma malha retangular, enquanto as superiores com malha hexagonal.

3.4. MANIPULAÇÃO DE VARIÁVEIS – CONTROLE DE COMPONENTES

Utilizando-se do contorno das peças hexagonais, geradas na etapa anterior (figura 19), que resultará em um conjunto de polígonos - e estes, no design computacional, representam uma Curva fechada (*Closed Curve*), formadas por um conjunto de linhas retas subsequentes e conectadas (*Polylines*). A vantagem de trabalhar com estes polígonos está na facilidade de manipulação de seus centros (ponto de encontro de todas as suas diagonais) e seus vértices.

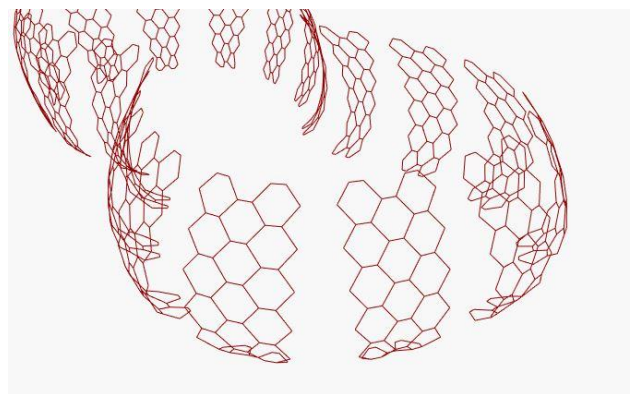


Figura 19 – contorno das peças hexagonais (fonte: o autor)

Na figura hexagonal em questão, fora construída uma reta que parte de seu ponto central em um ângulo reto à sua geometria (figura 20) e, por meio da parametrização desta reta, fez-se o ponto central mover-se por ela (figura 21) (como se a linha simulasse um trilho onde corre aquele ponto). O mesmo processo foi feito com os pontos dos vértices do polígono, porém estes com retas que se direcionassem ao centro (figuras 22 e 23). De tal forma que, a mesma distância percorrida pelo ponto central é diretamente proporcional à distância percorrida pelos vértices, e em ambos foram aplicadas as mesmas variáveis de posição, assim, quando o ponto central se move para longe da geometria, os pontos do vértice se movem em direção ao centro. Ao gerar uma Superfície conectando todos estes pontos, tem-se um objeto que abre e fecha de

forma similar a um guarda-sol (figuras 24 e 25). Apesar do processo ter sido demonstrado em um único hexágono, ele foi construído simultaneamente em todas as peças, como um elemento de fachada (figuras 26, 27 e 28). Nota-se que o que determina a abertura e o fechamento depende de uma única variável, a que define a posição dos pontos nas retas. Então, todas as peças podem ser controladas simultaneamente apenas com a alteração de um único valor, ou uma Lista de valores (como demonstrado no capítulo 3.2). Essa fácil variabilidade e controle dos diversos elementos permite, entre tantas coisas, a simulação de componentes cinéticos. A

arquitetura cinética é aquela em que há partes, peças, em sua edificação que se movem, seja para suprir uma necessidade projetual de ventilação, termodinâmica, insolação ou até mesmo estética. E a programação tem grande potencial para estudar e elaborar possíveis formas de fazê-lo.

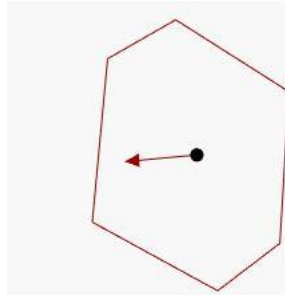


Figura 20 – reta partindo do ponto central (fonte: o autor)

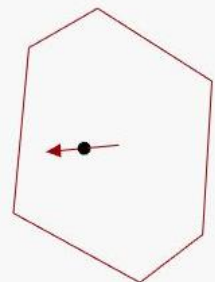


Figura 21 – ponto central se deslocando pela reta (fonte: o autor)

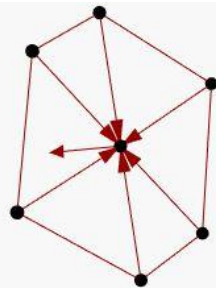


Figura 22 – retas dos vértices até o centro (fonte: o autor)

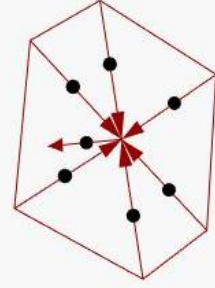


Figura 23 – vértices se deslocando até o centro (fonte: o autor)

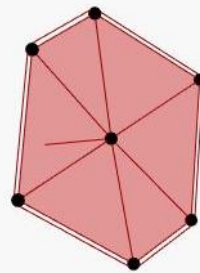


Figura 24 – Superfície conectando todos os pontos (fechada) (fonte: o autor)

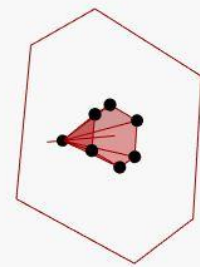


Figura 25 – Superfície conectando todos os pontos (aberta) (fonte: o autor)

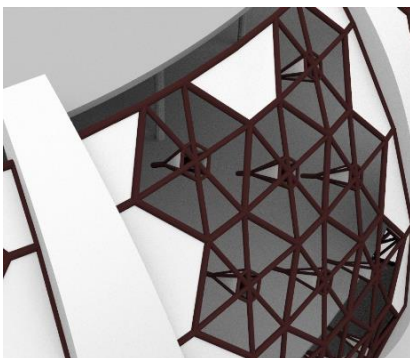


Figura 26 – peça totalmente aberta (fonte: o autor)

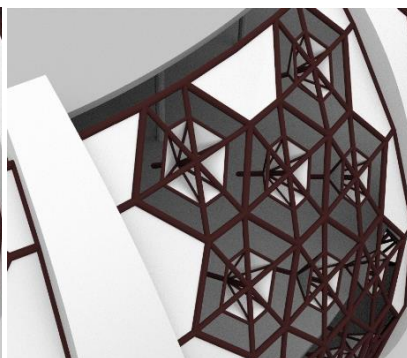


Figura 27 - peça parcialmente aberta (fonte: o autor)

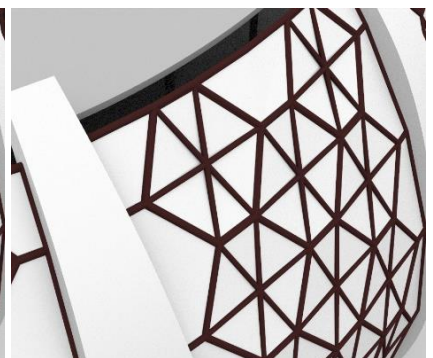


Figura 28 - peça totalmente fechada (fonte: o autor)

3.5. MANIPULAÇÃO DE VARIÁVEIS – INCIDÊNCIA SOLAR

Por meio da arquitetura computacional, ou até mesmo em softwares BIM, é comum a simulação e análise de comportamentos ambientais, como direção e velocidade dos ventos, estudos de calorimetria, incidência de radiação solar, entre outros. Mas há uma vantagem quando esse tema é tratado na arquitetura com uso de algoritmos.

Todo fenômeno natural é um conglomerado de parâmetros físicos e químicos que podem ser representados por cálculos e fórmulas matemáticas. Portanto, quando a forma de projetar engloba a utilização de variáveis, é possível a inserção dos parâmetros da natureza na própria construção da geometria projetual. Foram extraídos parâmetros de radiação solar, baseados na cidade de São Paulo, e

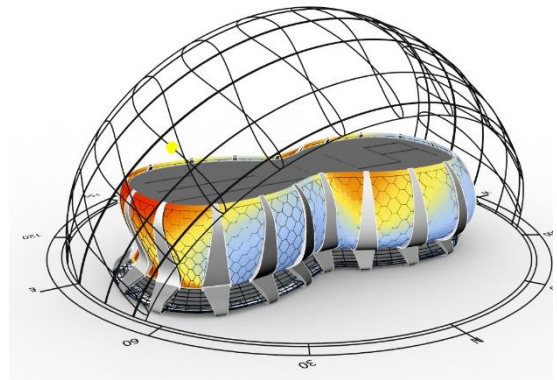


Figura 29 – análise de radiação na Superfície às 9 horas, mês 4 (fonte: o autor)

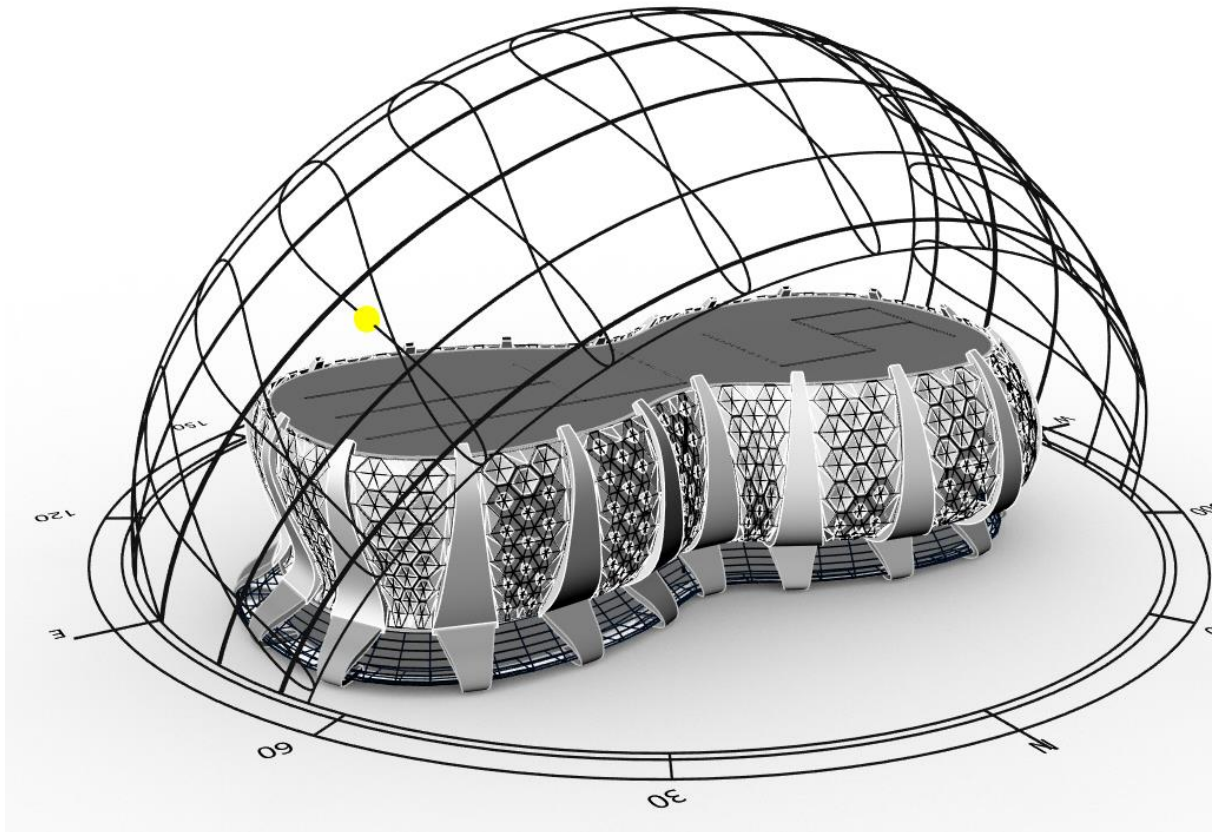


Figura 30 – comportamento de abertura das peças às 9 horas, mês 4 (fonte: o autor)

aplicados à Superfície do edifício. A análise foi feita às 09h (figura 29) e às 17h (figura 31), no mês de abril. As cores representam a quantidade de radiação incidente, sendo vermelho para maior e azul para menor. Ao Remapear¹⁰ o domínio numérico equivalente aos valores que determinam o fluxo de cores, ao equivalente numérico utilizado no

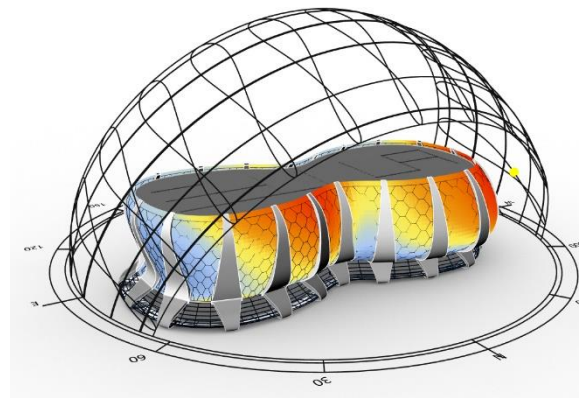


Figura 31 – análise de radiação na Superfície às 17 horas, mês 4 (fonte: o autor)

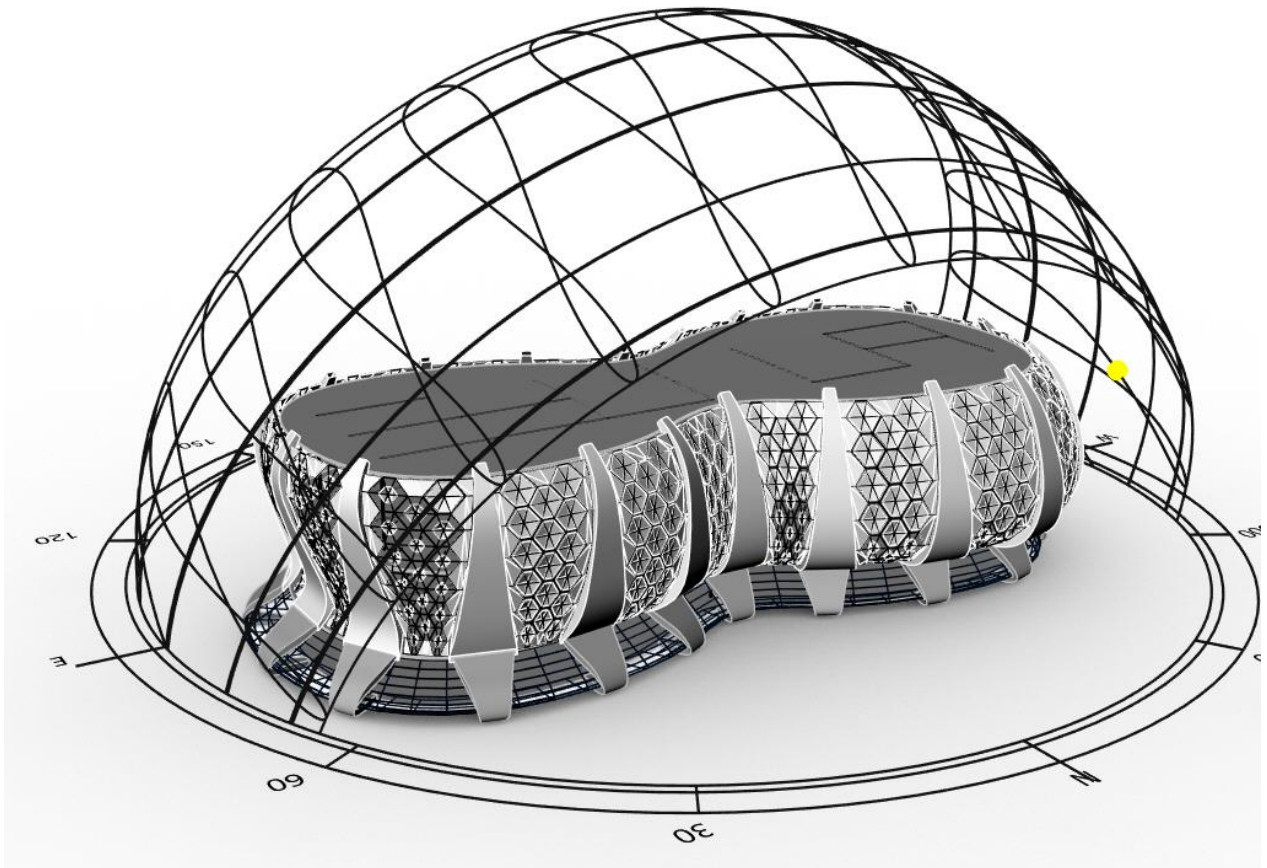


Figura 32 – comportamento de abertura das peças às 17 horas, mês 4 (fonte: o autor)

exercício do item 3.4, pode-se alterar as variáveis de abertura das peças hexagonais e de acordo com cada horário do dia (o ano todo). Dessa forma, elabora-se um componente cinético (como um guarda-sol) que, ao receber muita radiação solar se fecha, protegendo o edifício de insolação e elevada temperatura no seu interior, bem

¹⁰ Converter uma Lista de números por outra proporcional, por exemplo, uma Lista 1, 2.5, 4 pode ser remapeada para 7, 13.5, 20. Isso é baseado em uma porcentagem dentro do domínio numérico, 1 e 7 equivalem a 0%, assim como 4 e 20 a 100%; 2.5 é o equivalente a 50% na primeira Lista ($4-1=3$, $3*0.5=1.5$, $1+1.5=2.5$), logo 50% na segunda Lista é igual a 13.5 ($20-7=13$, $13*0.5=6.5$, $7+6.5=13.5$).

como, quando recebe menor radiação, se abre permitindo entrada ideal de luz solar. A figura 30 demonstra o comportamento das peças com relação ao estudo das 09h, a figura 32, das 17h.

4.0. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi abordado no presente artigo a relevância da computação na arquitetura, primeiro, como uma forma de representação gráfica, posteriormente, demonstrando os potenciais da programação para a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. As intenções se baseiam em como questões projetuais de geometria, dinamização e desempenho podem ser sanadas quando o arquiteto se alia à computação não só como um meio facilitador de desenho, mas sim como ferramenta projetual capaz de simular cálculos que compõem geometrias complexas, trabalhar com multiplicidade de elementos, captar e utilizar parâmetros da natureza e, principalmente, facilitar trabalhos que exigiriam horas de pensamento e mão de obra se dependessem puramente das habilidades de calcular e desenhar do projetista. O trabalho do estudo apresentado levou em torno de 6 horas para ser construído, desde a concepção até a análise solar e controle das peças cinéticas (isso levando em conta a velocidade de processamento da máquina, que não depende do trabalho manual do projetista e pode variar para cada computador). Salientando que, quando o código criado para esse estudo pode ser utilizado em outros, por exemplo, se as peças cinéticas forem utilizadas em outra edificação, não será necessário construí-la do zero em outro projeto, basta copiar o código utilizado nesta e aplicá-lo em outra Superfície. Podendo criar vários ensaios geométricos com a mesma proposta de projeto.

O uso dos algoritmos na arquitetura não será uma forma de inferiorizar o trabalho manual do arquiteto, mas sim um aliado em projetos cada vez mais promissores. A humanidade no século XXI, com todo o seu sucesso digital, se abriu para discussões cada vez mais complexas, que exigem respostas de mesmo caráter. Não há motivos para passar dias desenhando e catalogando peças de diversas dimensões em uma fachada, quando há um programa que faz isso, tampouco deixar de prever um possível superaquecimento dentro de uma edificação, que necessitaria do uso danoso de ar condicionados, se há algoritmos que medem isso.

Vale ressaltar que o computador não resolveria nada se não fossem os profissionais por trás dos algoritmos. Foi demonstrado no artigo que a máquina não tem capacidade de idealizar, apenas de construir, analisar e simular ideias pré-concebidas por um ser humano. A computação pode não ser capaz de resolver todos os problemas da arquitetura e do urbanismo, mas é uma ótima - se não a melhor - ferramenta para quem quer resolvê-los.

REFERÊNCIAS

BUENO, Ernesto. **101 Conceitos De Arquitetura e Urbanismo na Era Digital**: C. 71, Parametria/Parametricismo. [S.l.]: ProBooks, 2017. p. 150-151. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/324983676_Parametria_Parametricismo

CONTINANZA, Fabiano. Simply Parametric. **Urban Next**, Londres, fev. /2016. Disponível em: <https://urbannext.net/simply-parametric/>

EXPLAINED. Direção: Ezra Klein, Joe Posner. Produção: Ezra Klein, Kara Rozansky, Chad Mumm, Lisa Nishimura, Joe Posner, Jason Spingarn-Koff, Kate Townsend. **Netflix**: Netflix, 2018. Disponível em: <https://www.netflix.com/title/80216752>

HEIDARI, A. *et al.* PARAMETRIC ARCHITECTURE IN IT'S SECOND PHASE OF EVOLUTION. **Journal of Building Performance**, Iran, v. 9, n. 1, p. 13-20, fev. /2018. Disponível em: <http://spaj.ukm.my/jsb/index.php/jbp/article/view/242>

KOLAREVIC, Branko. Designing and Manufacturing Architecture in the Digital Age. **Architectural Information Management**, USA, p. 117-123, 2001. Disponível em: http://home.fa.utl.pt/~miarq4p5/2008-09/turma_a/rhino/workshop/kolarevic_DesigningManufacturingDA.pdf

MACHADO, R. J. C. D. C. Análise aos processos de desenho digital: unité d'habitation vs vm houses. **Dissertação de Mestrado**, Departamento de Arquitectura da Universidade de Coimbra, jan./2018. Disponível em: <https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/81681>

MITCHELL, William J. **A Lógica da Arquitetura**. 1. ed. Campinas: Editora da Unicamp, 1990.

MOHAMMAD, K. E. S. A Discussion on the implications of parametric thinking on the Design process and the Designer. **Department of Architecture**, Egypt, 2012. Disponível em: https://www.academia.edu/1454680/A_Discussion_on_the_implications_of_Parametric_thinking_on_the_design_process_and_the_designer

SCHUMACHER, Patrik. The Progress of Geometry as Design Resource. **Log, Summer 2018**, Londres, 2018. Disponível em: https://www.academia.edu/37138921/The_Progress_of_Geometry_as_Design_Resource

TABADKAN, A. *et al.* Integrated parametric design of adaptive facades for user's visual comfort: Automation in Construction. **Elsevier**, Amesterdã, v. 106, n. 102857, out./2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580518308240>

TAMASSIA, M. T. G. & R. **Projeto de Algoritmos**: Fundamentos, análise e exemplos da internet. [S.l.]: Bookman, 2004.

UMAKOSHI, Erica Mitie. Avaliação de Desempenho Ambiental e Arquitetura Paramétrica Generativa para o Projeto do Edifício Alto. **Doctoral Thesis**, São Paulo, SP, ago./2014. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-02072014-114503/en.php>