O PROCESSO GENERATIVO DE FORMA PRÓ-PROJETO DE EDIFÍCIOS ALTOS: FERRAMENTAS E METODOLOGIA

Amane Lopes Bento Xavier (1); Érica Mitie Eumakoshi Kunioshi (2)
(1) Graduanda do Programa de Graduação em Arquitetura e Urbanismo, amane.lopes@aluno.unb.br
(2) Doutora, Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, eumakoshi@unb.br
Universidade De Brasília, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Campus Darcy Ribeiro, Cx Postal 04431, Brasília-DF, 70842-970, Tel.: (61) 3107-3300

RESUMO
A arquitetura generativa desenvolve-se em formas livres que vão além da geometria euclidiana, ela busca formas inovadoras, autênticas e paramétricas. Assim, o design digital apresenta-se como instrumento fundamental para a concepção de novas formas complexas. A computação representa um marco significativo na ampliação das possibilidades criativas, possibilitando a exploração de formas que antes eram inimagináveis na metodologia de projeto tradicional. Nesse sentido, a modelagem paramétrica tem-se destacado como uma das principais ferramentas no processo de projeto de edifícios altos, auxiliando na exploração das diferentes configurações geométricas, além de controlar as dimensões e proporções através de variáveis denominadas parâmetros. Entretanto, o design paramétrico não se restringe apenas à concepção formal das edificações. Sua funcionalidade se expande às simulações computacionais, viabilizando os resultados quanto à eficiência energética. Nesse contexto, a presente pesquisa de Iniciação Científica visou compreender o uso da linguagem paramétrica através do Software Rhinoceros 3D e seu plugin Grasshopper, com o intuito de aplicar o conhecimento adquirido na criação de formas tridimensionais paramétricas que abrangem as diversas áreas da arquitetura.Para isso, a pesquisa se estruturou em três etapas: revisão bibliográfica, treinamento em softwares paramétricos e aplicação em exercícios dirigidos de projeto de edifício alto. Com isso, pode-se concluir que um pensamento paramétrico não se limita à quantidade de parâmetros, mas à compreensão das etapas de construção do algoritmo. Além disso, é importante afirmar que as tecnologias digitais não devem substituir a relação física que acontece com as ferramentas tradicionais de desenho, limitando o potencial criativo, e que ter o domínio da ferramenta representa alcançar novas possibilidades, sem abrir mão da própria autoria.

Palavras-chave: design paramétrico, modelagem generativa, edifício alto.

ABSTRACT
Generative architecture develops in organic shapes that go beyond Euclidean geometry, seeking innovative, authentic, and parametric shapes. Digital design presents as a fundamental tool for conceiving new complex forms. Computing represents a significant milestone in expanding creative possibilities, enabling the creation of shapes that were previously unimaginable using traditional methodology. As a result, parametric modeling has emerged as one of the main tools in the design process of tall buildings, assisting in the exploration of different geometric configurations and controlling dimensions and proportions through parameters. However, parametric design is not limited solely to the formal conception of buildings. Its functionality extends to computational simulations, making it possible to assess results regarding energy efficiency. Therefore, the aim of this scientific initiation research is to understand the use of parametric language through Rhinoceros 3D software and its Grasshopper plugin. The acquired knowledge will then be applied in creating parametric three-dimensional forms that encompass various areas of architecture.This paper is structured in three steps: bibliographic review, training in parametric software and application in oriented exercises of tall building design. With this, it can be concluded that a parametric thinking is not limited to the number of parameters, but to the understanding of the stages of construction of the algorithm. In addition, it is important to state that

digital technologies should not replace the physical relationship that happens with traditional drawing tools, limiting the creative potential, and that mastering the tool means reaching new possibilities, without giving up one's own authorship.

Keywords: parametric design, generative modeling, tall buildings.

1. INTRODUÇÃO

Com desenvolvimento de formas complexas dos edifícios em altura da atualidade, a modelagem em CAD (computer-aided design) apresenta-se insuficiente para as novas demandas do mercado de construção civil. Os softwares CAD disponíveis no mercado, em sua maioria, operam em linearidade. De acordo com GOLDBERG (2006), as operações realizadas nesse tipo de programa são armazenadas de forma cronológica, assim, os dados encontram-se ordenados hierarquicamente com base em uma sequência de comandos. Cada geometria é definida individualmente, sem referências às demais descrições geométricas do arquivo, portanto, sem qualquer tipo de associatividade. Assim, todo processo de modificação da geometria acarretará na transformação de uma nova forma geométrica, adquirindo novas propriedades e perdendo as preexistentes. O projeto final é concebido em um estado estático. A combinação de diferentes elementos produz diferentes formas, porém, fixas.

Já uma abordagem paramétrica permite ao usuário exercer diversas combinações sem a necessidade de reconstrução de todo o processo. O design paramétrico utiliza-se da potencialidade dos computadores de calcular precisamente as mais complexas fórmulas matemáticas. Por conseguinte, encontra-se a possibilidade de conceber e manipular novas famílias de geometrias e superfícies. A programação paramétrica admite controlar a dependência entre os componentes do projeto através das variáveis denominadas parâmetros. Os parâmetros incorporados ao modelo paramétrico possuem relação entre toda a modelagem produzida pelo designer, podendo ser ajustada e aprimorada. Cria-se, assim, alternativas para o projeto, resultando em diferentes estratégias para um mesmo desenho tridimensional. Essa metodologia permite a construção de modelos tridimensionais mais inteligentes, no qual as relações de hierarquia e dependência são codificadas pelo usuário. As geometrias são transformadas sem a perda das dependências anteriores (GOLDBERG, 2006).

A aplicação do desenvolvimento da modelagem paramétrica vem surgindo nos últimos anos através dos grandes nomes de arquitetura, como Zaha Hadid, Bjarke Ingles Group, Norman Foster, Frank Gehry entre outros. Estes escritórios de arquitetura têm concebido novas formas de edifícios derivados da manipulação paramétrica e apontando novos rumos para a construção de edifícios altos. Dentre os benefícios da concepção de uma modelagem paramétrica, estão a capacidade de gerar uma variedade ampla de variações e alternativas de projeto de forma eficiente. Esses escritórios de arquitetura utilizam ferramentas como o Grasshopper para criar modelos paramétricos, manipular parâmetros e explorar diferentes soluções de design. A modelagem paramétrica também facilita a incorporação de restrições e condicionantes complexas no processo de design, podendo integrar dados climáticos, restrições urbanas, requisitos de desempenho energético e outros fatores relevantes em seus modelos paramétricos. Isso permite a otimização do projeto com base em critérios específicos, como eficiência energética, conforto ambiental e integração com o ambiente urbano.

Outra vantagem da modelagem paramétrica é a sua capacidade de lidar com geometrias complexas e não convencionais. Tais escritórios de arquitetura são conhecidos por suas estruturas ousadas e formas esculturais, e a modelagem paramétrica fornece as ferramentas necessárias para explorar e materializar essas ideias. Podem criar geometrias complexas, superfícies orgânicas e padrões inovadores, aproveitando a flexibilidade oferecida pelas ferramentas de linguagem computacional. Além disso, a modelagem paramétrica promove a colaboração e a comunicação mais eficaz dentro de escritórios de arquitetura e com outras partes interessadas. Os modelos paramétricos podem ser compartilhados e integrados, permitindo que diferentes membros da equipe trabalhem em conjunto e contribuam para o script do projeto. Essa abordagem facilita a visualização e a compreensão das ideias e facilita a tomada de decisões.

Por fim, a aplicação da modelagem paramétrica têm influenciado não apenas a forma dos edifícios, mas também o processo de projeto como um todo. Oferece uma nova maneira de conceber e explorar soluções arquitetônicas, permitindo que os arquitetos ampliem seus horizontes criativos e alcancem resultados arquitetônicos inovadores. A modelagem paramétrica se tornou uma ferramenta essencial para a expressão arquitetônica e tem contribuído para a evolução e a redefinição da arquitetura contemporânea.

2. OBJETIVO

O propósito da presente pesquisa de iniciação científica é adquirir uma compreensão aprofundada acerca do emprego da linguagem paramétrica mediante o uso do software Rhinoceros 3D e do seu plugin Grasshopper, a fim de aplicar o conhecimento obtido na criação de formas tridimensionais paramétricas que abrangem diversas esferas da arquitetura, enfatizando, sobretudo, o processo de projeto de edificações de grande altura. Ademais, a pesquisa objetiva explorar as potencialidades das simulações computacionais para avaliar a eficiência energética dessas edificações.

3. MÉTODO

A metodologia para o desenvolvimento da pesquisa sintetiza-se em três principais etapas: revisão bibliográfica, treinamento direcionado das ferramentas do software Rhinoceros 3D e seu plugin Grasshopper com foco no aprendizado e desenvolvimento de metodologia de criação; e aplicação do conhecimento assimilado em exercícios de estudos dirigidos pelo orientador.

3.1. Revisão bibliográfica

Para a compreensão do design paramétrico na arquitetura, foram utilizadas como principais fontes de pesquisa a dissertação de mestrado e a tese de doutorado da professora e orientadora Érica Mitie Umakoshi Kuniochi, intituladas "Uma visão crítica do edifício alto sob a ótica da sustentabilidade" e "Avaliação de desempenho ambiental e arquitetura paramétrica generativa para o projeto do edifício alto", respectivamente. Além disso, foram consultados conteúdos disponibilizados pela empresa Robert McNeel, tais como cursos, tutoriais e fóruns de perguntas, bem como livros que contribuíram para a compreensão dos algoritmos, como "ADD Algorithms-Aided Design", "Computation Design Thinking" e "A Lógica da Arquitetura".

3.2. Estudo dos processos generativos

Após o primeiro contato com o design paramétrico, através da revisão bibliográfica acerca do tema, deu-se início aos estudos do processo generativo da forma. Dentre os softwares disponíveis no mercado que permitem a parametrização, o Rhinoceros 3D e seu plug-in Grasshopper são os mais populares na atualidade. O Rhinoceros é um software de modelagem tridimensional baseado na tecnologia NURBS (Non-Uniform Rational Basis Splines): um modelo matemático usado por softwares gráficos para a representação de formas e superfícies curvas, partindo de geometrias simples e resultando em estruturas orgânicas complexas (MCNEEL). A tecnologia NURBS possui grande versatilidade, podendo funcionar de forma equivalente aos croquis feitos à mão, uma vez que permitem leveza e fluidez ao traço. (NATIVIDADE, 2010).

O plug-in Grasshopper, que opera em conjunto com o Rhinoceros 3D, utiliza sua interface para a execução de linguagem de programação visual e se caracteriza como uma ferramenta que se vale de recursos visuais para estabelecer uma lógica de programação baseada em algoritmos. Esses recursos visuais permitem que os usuários criem diagramas de fluxo de trabalho que fornecem uma representação visual clara das etapas do processo de design. Esses gráficos são compostos por uma série de elementos gráficos chamados de "nós", que representam diferentes componentes do algoritmo e que podem ser conectados por meio de linhas, ou "cabos", para estabelecer as relações matemáticas entre eles. Essa abordagem visual para a programação permite que os usuários compreendam e manipulem os algoritmos de forma mais intuitiva e eficiente, acelerando o processo de design e permitindo a criação de soluções complexas.

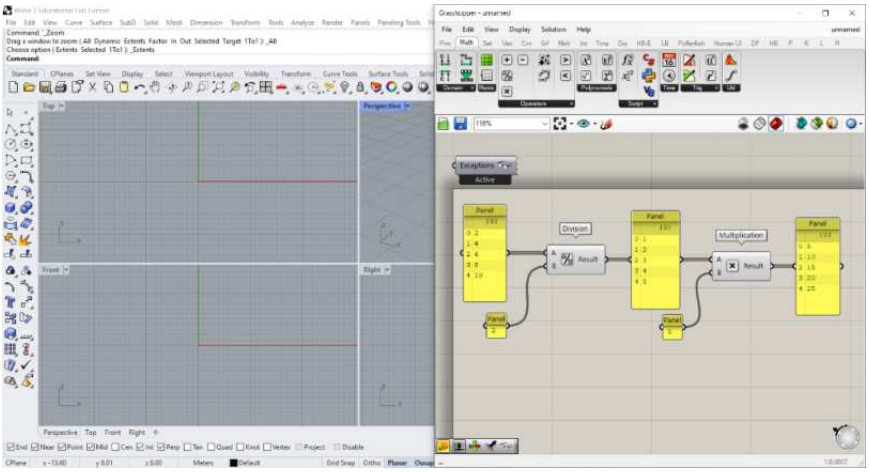
Figura 1 - Interface Rhinoceros 3d e Grasshopper

3.3. Treinamento das Ferramentas

O treinamento iniciado em maio de 2020 teve como objetivo a modelagem de uma treliça espacial paramétrica, um desafio que propôs a incorporação de características formais baseadas em formas curvilíneas e não uniformes. Para alcançar tal objetivo, os vídeos disponibilizados pelos profissionais Leonardo Gindri e Leonardo Szecki, através do canal Oficina Paramétrica na plataforma de compartilhamento de vídeos Youtube, foram utilizados como suporte para a aprendizagem dos comandos básicos do Grasshopper.

A treliça paramétrica foi concebida a partir do desenho de uma superfície retangular pelo software Rhinoceros. A parametrização se iniciou com a divisão da superfície em superfícies menores através do plug-in Grasshopper, utilizando uma malha ortogonal estabelecida pelos componentes *Iso Trim* e *Divide Domain²*. A partir da intersecção das linhas da malha, foram extraídos os pontos que foram manipulados para a concepção dos nós da estrutura. Posteriormente, estes foram manipulados pelo comando *Move* e conectados através de *Polylines*. Além disso, o componente *Pipe* foi utilizado para auxiliar na formação das barras que compõem a estrutura da treliça espacial. O resultado do treinamento foi uma treliça que pode ser transformada e modificada por completo com a alteração dos valores estabelecidos no código.

A realização deste exercício foi essencial para o entendimento da linguagem de programação e o processo de modelagem algorítmica (Rhino + Grasshopper). A ênfase do exercício está na parametrização por meio de comandos básicos, o que permitiu a criação de outras estruturas espaciais que seguem a mesma lógica da treliça. Pavilhões, pórticos e waffles foram algumas das estruturas que foram desenvolvidas posteriormente com a utilização da mesma linha de código, que foi reformulada e adaptada para atender aos requisitos específicos de cada projeto.

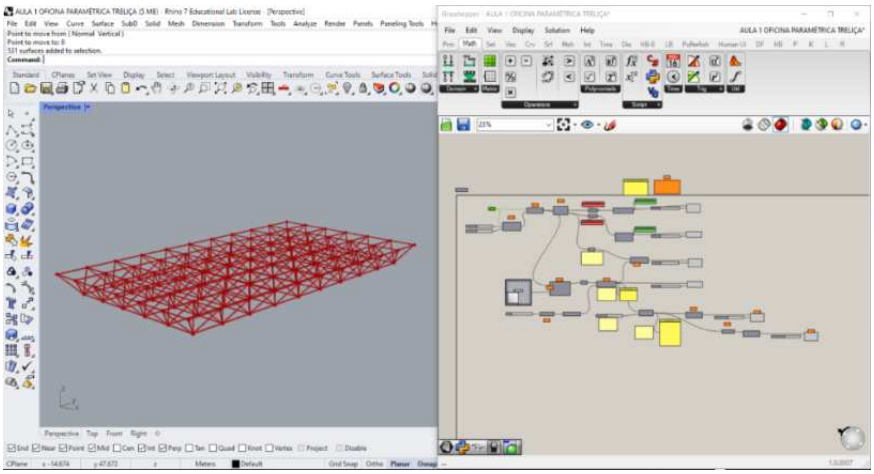
Figura 2 - Desenvolvimento da treliça espacial paramétrica.

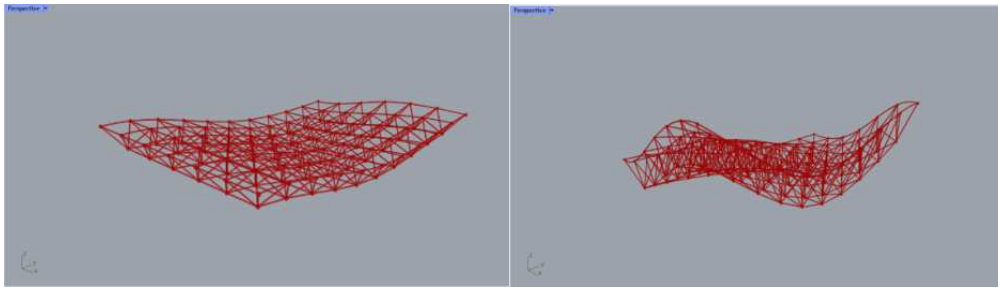

Figura 3 e 4 - Variação da treliça paramétrica com variação de parâmetros.

No intuito de explorar as referências na arquitetura, buscou-se a aplicação da lógica algorítmica desenvolvida na reprodução de obras existentes. Intitulada como Arboskin, esta obra foi concebida por estudantes e docentes do ITKE (Institute of Building and Structural Design). O projeto aborda uma fachada curva de forma livre, constituída por uma malha triangular de proporções díspares. As aberturas são obtidas por meio da remoção de algumas seções triangulares, conferindo dinamismo à fachada.

Para a aplicação do código desenvolvido, buscou-se a reprodução da obra Arboskin dentro da modelagem algorítmica. Ideou-se a construção de linhas e pontos, através do Rhinoceros, que correspondem a forma curva apresentada pela obra. Os elementos foram referenciados para o Grasshopper e a construção da fachada paramétrica foi iniciada. O código parte da transformação das linhas referenciadas em uma superfície curva com o comando *Loft*. Similar ao processo de construção da treliça espacial, a superfície gerada é subdividida em uma rede triangular com o comando *Triangular Panels*. Os painéis são manipulados a fim de serem transformados em módulos piramidais que são seccionados formando as aberturas da fachada. Essas aberturas podem ser controladas através de ponto atrator abrindo a possibilidade de criação de uma fachada responsiva.

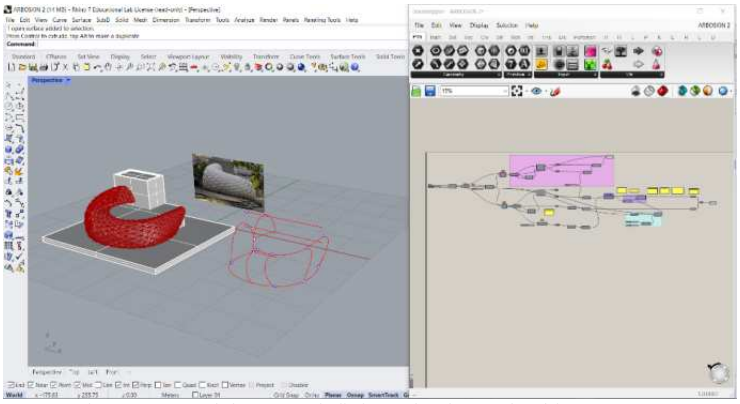

Figura 5 - Modelagem e definição da obra Arboskin

3.4. Simulações Computacionais

Foi integrado ao escopo da pesquisa o aprimoramento de algoritmos evolutivos de otimização, em associação com softwares de simulação computacional de eficiência energética, visando a criação de elementos de design responsivos. Por meio deste conhecimento, é factível desenvolver elementos de controle solar para avaliar as condições de eficiência energética, conforto térmico e iluminação natural em diferentes geometrias complexas. A metodologia adotada compreendeu a utilização de ferramentas como os plugins Ladybug e Honeybee.

O Plugin Ladybug Tools consiste em um conjunto de programas computacionais de código aberto (Ladybug, Honeybee, Butterfly e Dragonfly), destinados à análise ambiental e consumo total de energia de edificações. Seu funcionamento ocorre por meio da inserção em plataformas de programação visual, como o Grasshopper e o Dynamo. Consequentemente, o Ladybug atua na análise pormenorizada de dados climáticos e sua interação com a edificação; o Honeybee efetua simulações de iluminação natural, consumo de energia e fluxo de calor; o Butterfly desenvolve simulações da dinâmica computacional de fluidos (CFD); o Dragonfly realiza simulações de fenômenos climáticos de grande escala associados à mudança climática em núcleos urbanos. Esse conjunto de ferramentas permite a efetividade na realização de estudos de eficiência energética.

Esta pesquisa restringiu-se à compreensão dos plugins Ladybug e Honeybee.

3.3.1 Utilização do plugin Ladybug

A fim de se iniciar as pesquisas com o Ladybug, optou-se por Brasília como objeto de análise bioclimática, em virtude da familiaridade com o clima local. Para isso, foi necessário obter um arquivo EPW por meio do software Energy Plus, acessível pelo repositório global de dados climáticos utilizado pelo Ladybug, localizado no website www.ladybug.tools/epwmap.

Posteriormente, o arquivo EPW foi submetido ao processamento do plugin, iniciando-se a manipulação de seus componentes, os quais possibilitam a transformação desses dados em parâmetros que podem ser facilmente manuseados pelo usuário. Utilizando o componente *Sun Path*, foi possível gerar um gráfico tridimensional do caminho solar relativo à latitude de Brasília. Destaca-se que a principal vantagem deste gráfico reside em sua visualização tridimensional, a qual proporciona uma melhor compreensão ao usuário e facilita a análise acerca da orientação solar do edifício em questão.

Em conjunto com os componentes *Cumulative Sky Matrix* e *Sky Matrix*, é possível selecionar uma matriz celeste para um determinado período de análise. Ao conectá-los ao Radiation Analysis, é possível gerar um modelo visual da exposição solar direta por meio de um mapa de cores, que é sobreposto à geometria do edifício, exibindo uma gradação cromática que varia da menor à maior exposição solar.

Ademais, por meio do componente *WindRose*, é possível obter resultados acerca da direção dos ventos em um período de análise selecionado. Os resultados gerados por este componente são apresentados por meio de gráficos que podem ser alternados entre bidimensionais e tridimensionais, exibindo a porcentagem relativa de tempo em que o vento sopra de determinada direção dentro de uma faixa de velocidade. Todos os gráficos gerados pelo Ladybug apresentam cores que estão diretamente relacionadas à legenda gerada pelo plugin.

Em suma, a utilização do Ladybug se mostrou de grande importância na tomada de decisões durante o desenvolvimento de projetos, permitindo uma maior conscientização acerca de como melhorar a volumetria de um edifício para obter um melhor resultado climático, gerando projetos com melhor conforto ambiental e eficiência energética. Contudo, é importante frisar que este plugin não contempla a temática de reflexões solares, e, portanto, não é apropriado para estudos de interiores. Nestas situações, nas quais o reflexo da luz é importante, o plugin Honeybee deve ser utilizado em conjunto com o Ladybug.

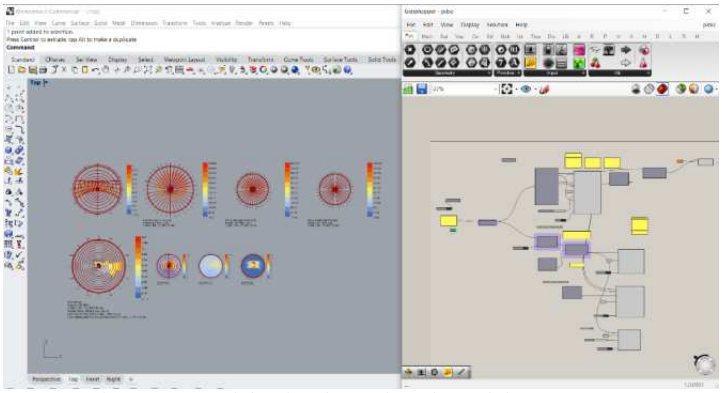

Figura 6 – Modelo visual gerado pelo Ladybug

3.3.2 Utilização do plugin Honeybee

A simulação termoenergética é uma etapa crucial no desenvolvimento de projetos arquitetônicos, fornecendo informações essenciais para a tomada de decisões sobre o desempenho ambiental da edificação. O Honeybee, uma ferramenta disponível no Ladybug Tools, é especialmente relevante durante os estágios intermediários e posteriores do projeto, oferecendo suporte para iluminação natural detalhada e modelagem termodinâmica.

Com as funcionalidades do Honeybee, é possível avaliar o desempenho termo energético da edificação, analisando o impacto de fatores como orientação solar, sombreamento, ventilação natural, entre outros. A ferramenta é capaz de gerar simulações de luz do dia utilizando o Radiance, modelos de energia utilizando o EnergyPlus/OpenStudio e simulações de fluxo de calor através dos detalhes de construção utilizando o Berkeley Lab (LADYBUG TOOLS).

Em uma etapa posterior do projeto, tornou-se essencial realizar análises de radiação solar em ambientes protegidos por meio de proteções passivas. Nesse contexto, a colaboração do designer computacional Phillip

Galvan foi fundamental. Phillip Galvan é um profissional experiente e renomado na área, proprietário do canal Phillip Galvan Design, que oferece conteúdo de qualidade sobre as ferramentas disponíveis no Ladybug Tools.

Com o auxílio do designer, foi possível executar um script de análise de radiação de interior utilizando como proteção passiva brises horizontais e verticais, por meio do componente Louvers Shades. Esse tipo de análise é importante para avaliar o desempenho térmico da edificação em relação à radiação solar, permitindo a identificação de possíveis problemas.

Os resultados obtidos foram cruciais para o avanço da pesquisa e contribuíram significativamente para o sucesso do projeto. Com base nas simulações realizadas, foi possível identificar pontos críticos e adotar medidas preventivas para garantir o conforto térmico dos ocupantes e a eficiência energética da edificação.

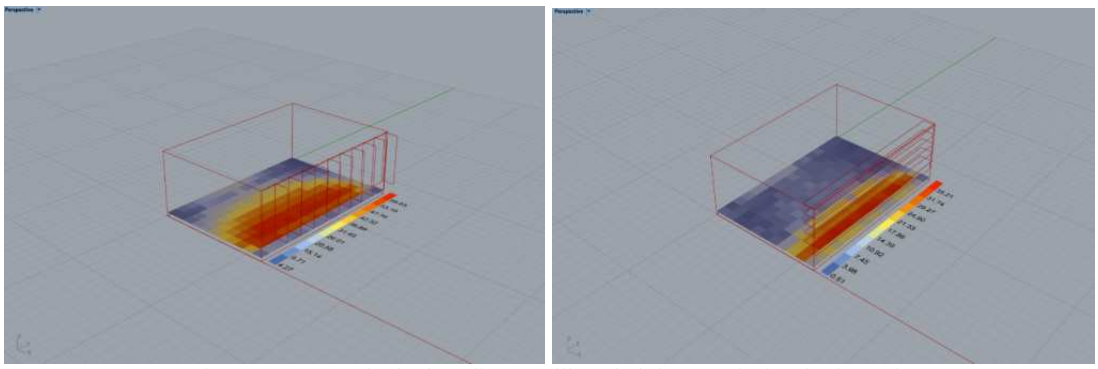

Figura 7 e 8 - resultado da radiação utilizando brises verticais e horizontais.

4. RESULTADOS

A Os resultados desta pesquisa apresentam-se como principais produtos: a Oficina Exploratória de Formas realizada da turma de Projeto Arquitetônico 5 – Edificação em Altura; a aplicação em atividades desenvolvidas no decorrer da pesquisa; a criação de um site como acervo das principais definições construídas.

4.1. Oficina Exploratória de forma

Para contemplar os estudos realizados durante a pesquisa, foi realizada uma oficina com auxílio da orientadora Érica Mitie Umakoshi Kuniochi no dia 26 de janeiro de 2021.

Em termos gerais, a oficina foi ministrada em duas etapas:

1. Introdução do assunto sobre a modelagem paramétrica;
2. Aplicação da modelagem paramétrica em edifícios em altura.

A introdução à modelagem paramétrica contou com a apresentação de conceitos considerados fundamentais para a assimilação do conteúdo.

Na etapa de aplicação, a proposta didática partiu de um ensino tutorial, com a construção do algoritmo de um edifício em altura passo-a-passo, junto aos participantes, explicando diferentes componentes e comandos, induzindo os discentes ao entendimento das mudanças na lógica de descrição de uma geometria paramétrica, abordando a manipulação básica de geração de geometrias (pontos, linhas e superfícies); as operações de transformação (rotação, translação e escala); a manipulação de dados (listas e árvores de dados). A fim de facilitar o primeiro contato dos alunos com a linguagem de programação visual, os plugins *Bifocals* e *Lunchbox* foram utilizados como auxiliadores e facilitadores no processo de elaboração do script.

A oficina teve início com a concepção da superfície base do edifício em altura mediante a manipulação de pontos paramétrico construídos a partir de coordenadas exigidas pelo componente Construct Point. Esses pontos atuam como pontos de controle pelo componente *Nurbs Curve* que apresenta como resultado uma curva periódica que exerce a função de base da edificação. A curva ganha altura com a inserção do componente *Move* que, seguido de um vetor Z, transforma a curva base em curva intermediária. Através das operações de transformação, as curvas são escaladas e rotacionadas, podendo ter essas dimensões modificadas a todo momento. A mesma operação de movimentação da curva no eixo Z acontece na curva intermediária, essa posteriormente se transforma em curva de topo. Tendo como manipulação as três curvas (base, intermediária e topo) a edificação começa a ganhar formas com a inserção do componente Loft, cujo objetivo é criar uma superfície a partir das curvas selecionadas. O edifício adquire, assim, uma forma única que pode ser facilmente modificada com alterações nos parâmetros.

A oficina prossegue com a construção de lajes e fechamentos. Com o auxílio do componente Contour, a superfície criada é seccionada, dando origem aos pavimentos da edificação. São extraídas as linhas da secção e estas transformam-se em lajes, com a utilização do comando *Boundary Surfaces*, e fechamentos com o componente *Extrude*. Para a finalização do exercício, o plugin *LunchBox* foi inserido na definição para a construção da estrutura de contraventamento através da aplicação dos painéis disponíveis por ele.

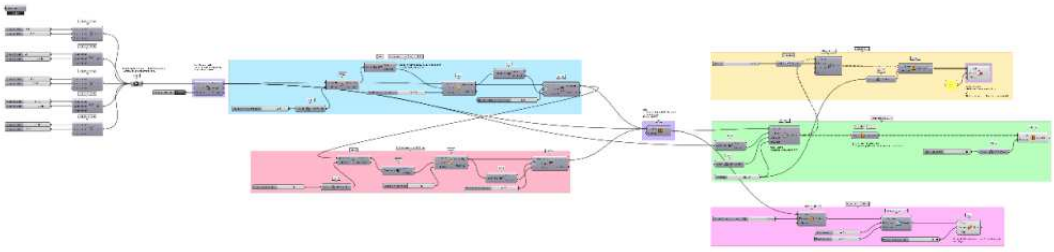

Figura 9 - Script resultado da oficina de geração de formas.

A Oficina de geração da forma obteve resultados positivos na turma de projeto arquitetônico, contribuindo para uma pluralidade de edifícios não ortogonais na entrega do exercício projetual intitulado como Exercício exploratório de formas, que sucedeu o encontro.

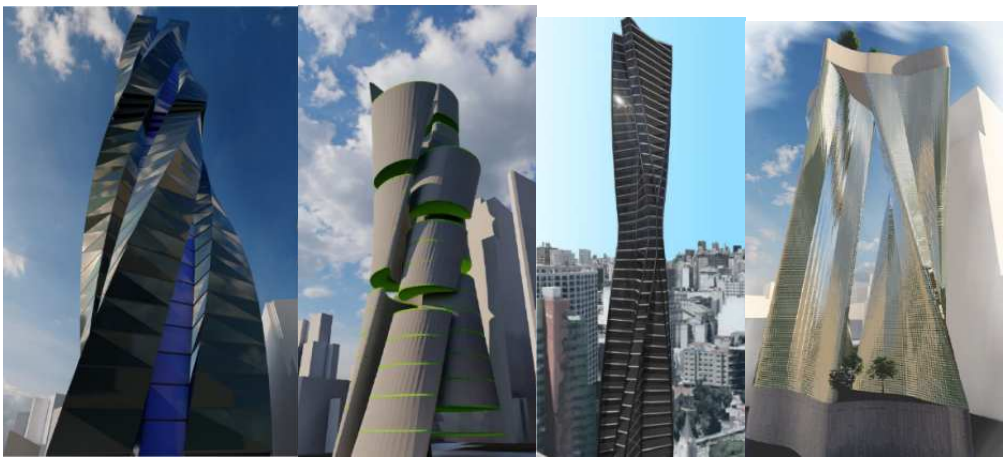

Figura 10, 11, 12 e 13 – Edifício Drill e Edifício utópico em São Paulo, Projeto X e Edifício Platinum. Autores: Edmir Fernandes e Júlia de Lima, Nathália Alves e Letícia Maria da Cruz

Tabela 1– Relatos dos alunos durante a oficina

Considerações acerca da oficina	
Dificuldades relatadas	**Benefícios Relatados**
Pensar de forma algorítmica	Aprendizado de nova ferramenta
Entender a árvore de dados	Criação de formas complexas
Projetar em um novo programa	Possibilidade de modificação da geometria

4.2. Atividades desenvolvidas

A pesquisa teve reflexo nas atividades de graduação desenvolvidas durante o período de estudo. Nos meses de junho a setembro de 2021, houve a elaboração do Complexo Sycon: edifício em altura de uso misto localizado na região administrativa de Brasília, Águas Claras. Com colaboração dos estudantes e pesquisadores Felipe Leal Caselato e Mariana Fernandez Santana, em conjunto com a professora Érica Mitie Umakoshi Kuniochi, o projeto teve como objetivo a participação no concurso estudantil latino-americano de arquitetura bioclimática Bienal José Miguel Aroztegui. Tratou-se de um complexo residencial, corporativo e estudantil, concebido através da exploração de formas paramétricas. O script do edifício alto foi otimizado para a execução de um projeto sustentável que utiliza de estratégias passivas, como brises paramétricos com taxas de aberturas variadas, para a promoção do conforto térmico.

Ademais, o aprendizado do design paramétrico também pôde ser aproveitado nas disciplinas ofertadas pelo departamento de arquitetura e urbanismo. Em Projeto Paisagístico 1, resultou na criação de um parque urbano utilizando parâmetros de configuração de espaço, visando o desenvolvimento de novas formas e propostas de desenho urbano. Em Invenções e Patentes em Arquitetura e Urbanismo, foram criadas fachadas cinéticas responsivas à velocidade dos ventos.

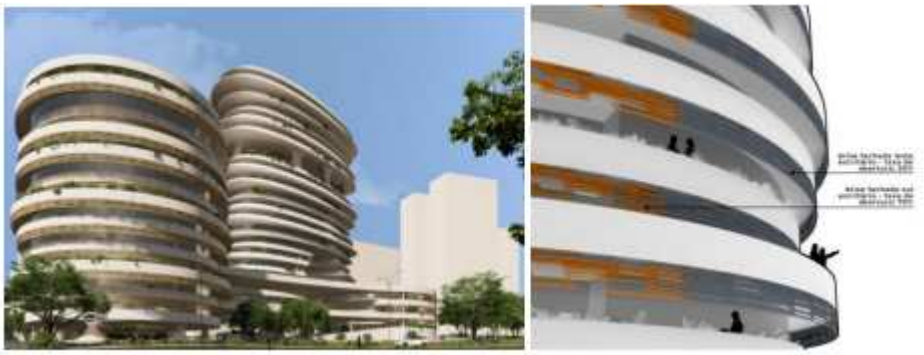

Figura 14 - Complexo Sycon e brises paramétricos desenvolvidos para Bienal Aroztegui.

4.3. Site Grasshopper4Rhino

Como síntese do conhecimento assimilado ao final desta pesquisa científica, obteve-se como resultado a construção de um acervo com as principais definições construídas ao longo do estudo, que está hospedado na plataforma Google Sites e disponível no endereço https://sites.google.com/view/grasshopper4rhino/home para toda comunidade acadêmica. Os códigos presentes no site foram otimizados de forma que o estudante possa aplicar nas mais diversas superfícies, independente da forma, dando assim a possibilidade de aplicação de algoritmos inteligentes em seus projetos, atendendo demandas locais. Ademais, apresentações teóricas sobre o design paramétrico, como explicação do funcionamento de componentes, também serão disponibilizadas, a fim de possibilitar um embasamento teórico naqueles que buscam se aprofundar na programação visual.

Esse projeto partiu da premissa de contribuir com o intercâmbio de informações sobre design computacional, a fim de fomentar a troca de códigos abertos e livres entre comunidades. Dessa forma, as definições contidas no acervo poderão ser compartilhadas, distribuídas e usufruídas, permitindo que estudantes e pesquisadores tenham a oportunidade de acessar o conhecimento do design paramétrico e simulações bioclimáticas.

5. CONCLUSÃO

Um pensamento paramétrico não se limita à quantidade de parâmetros, mas à compreensão das etapas de construção do algoritmo. Uma abordagem adequada permite ao usuário realizar diversos ajustes e combinações sem a necessidade de reconstrução de todo processo, assim obtém-se rapidez e agilidade. A concepção de projeto assistida por computador não demonstra apenas uma adequação do designer ao meio digital, ela também instiga a capacidade de simulação e teste de modelos virtuais (OXMAN, 2006).

A relevância desta pesquisa está na contribuição da modelagem paramétrica e ferramentas de simulação como instrumentos auxiliares no processo generativo da forma. Considera-se que esses instrumentos possuem a potencialidade de contribuição de projetos mais inovadores e responsáveis ambientalmente desde a fase inicial do projeto. A parametrização, além de oferecer soluções autênticas, permite que o usuário vislumbre novas combinações geométricas e soluções com mais eficiência.

Compreender o potencial da programação dentro do processo criativo da arquitetura e urbanismo pode indicar novos campos de produção dentro dessa área. Entretanto, as dificuldades encontradas dentro da lógica da programação, pode ser um fator de influência para sua adoção.

Houve uma dificuldade em encontrar conteúdo e publicações na língua portuguesa, demonstrando que a potencialidade dessas ferramentas ainda é pouco explorada no ensino do Brasil. A geração de formas digitais só será explorada a fundo quando novos conceitos de geometria, como superfícies topológicas, curvas, vetores, malhas, fractais, dentre outros, forem introduzidos no ensino (UMAKOSHI, 2014). Desenvolver essa pesquisa científica na língua portuguesa é disseminar o conhecimento do design paramétrico de maneira mais

democrática visando a existência das variáveis classes de proficiência na língua inglesa presentes na universidade.

Por conseguinte, fazer uso da informatização no processo de projeto pode significar estar refém de um software comercial. O designer assume uma posição de distanciamento em relação ao uso de sua ferramenta. Tratamos aqui de assumir o controle de suas próprias ferramentas, e se possível, desenvolvê-las sozinho (NATIVIDADE, 2012).

As tecnologias digitais não devem substituir a relação física que acontece com as ferramentas tradicionais de desenho, limitando o potencial criativo. Ter o domínio da ferramenta representa alcançar novas possibilidades, sem abrir mão da própria autoria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHLQUIST, S., MENGES, A. (2011) **Computational design thinking**, in A. Menges and S. Ahlquist (eds.) Computational design thinking, Wiley.

GOLDBERG, S. A. Computational Design of Parametric Scripts for Digital Fabrication of Curved Structures. International Journal of Architectural Computing, 2006.

LADYBUG TOOLS. **Ladybug tools**. Disponível em: https://www.ladybug.tools/. Acesso em: 22 nov. 2021.

MITCHELL, William J. A lógica da arquitetura - projeto, computação e cognição. Campinas: UNICAMP, 2008.

NATIVIDADE, Verônica Gomes. **Fraturas metodológicas nas arquiteturas digitais**. 2010. Dissertação (Mestrado em Projeto de Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. doi:10.11606/D.16.2010.tde-16062010-153027.Acesso em: 10 out. 2021.

OXMAN, R. (2006). **Theory and design in the first digital age**. Design Studies, 27(3), 229-265.

TEDESCHI, Arturo. Introduction | **AAD_ Algorithms-Aided Design**: from traditional drawings to the parametric diagram. In: TEDESCHI, Arturo. AAD: Algorithms-Aided Design. Italia: Le Penseur, 2014.

UMAKOSHI, E. M.; GONÇALVES, J. C. S**. Avaliação de desempenho ambiental e arquitetura paramétrica generativa para o projeto do edifício alto.** [s. l.], 2014. Disponível em: http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=ip,shib&db=edsbas&AN=edsbas.DEB565E9&lang=pt-br&site=eds-live. Acesso em: 15 de maio de 2021.