UNIVERSIDADE DE VILA VELHA

CURSO DE ARQUITETURA E URBANISMO

LEANDRO CONRADT

ARQUITETURA GENERATIVA:
PARÂMETROS E ALGORITMOS

VILA VELHA
2017

LEANDRO CONRADT

ARQUITETURA GENERATIVA:
PARÂMETROS E ALGORITMOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Vila Velha como requisito parcial para obtenção do Grau em Arquitetura e Urbanismo

Orientadora: Prof.ª Dr.ª Cynthia Marconsini Loureiro Santos, Universidade de Vila Velha

2º membro interno: Prof.ª Me. Laila Souza Santos, Universidade de Vila Velha

Convidado: Prof.º Dr.º Jarryer Andrade De Martino, Universidade Federal do Espírito Santo

VILA VELHA
2017

LEANDRO CONRADT

ARQUITETURA GENERATIVA:
PARÂMETROS E ALGORITMOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Vila Velha como requisito parcial para obtenção do Grau em Arquitetura e Urbanismo

Aprovado em ___ de _____ de 2018

COMISSÃO EXAMINADORA:

_____
Prof.ª Dr.ª Cynthia Marconsini Loureiro Santos
Universidade de Vila Velha, Orientadora

_____
Prof.ª Me. Laila Souza Santos
Universidade de Vila Velha, Convidado interno

_____
Prof.º Dr.º Jarryer Andrade de Martino
Universidade Federal do Espírito Santo,
Convidado externo

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus pela dádiva da graça divina e o conhecimento.

A meus pais Valdemiro e Ilma por me ceder a educação, o respeito e o caráter me incentivando aos estudos.

A meus irmãos Edson e Lenilda pelo apoio e acolhimento.

A minha noiva Lays pelo companheirismo, dedicação, compreensão e amor.

A minha orientadora Cynthia pela paciência e sabedoria.

A banca examinadora Jarryer e Laila pela disposição e dedicação.

Aos demais professores, amigos e colegas que colaboraram de alguma forma.

"Quando a automação nos afasta de nosso trabalho,
quando fica entre nós e o mundo,
ela apaga a arte de nossas vidas"
Michael Kilkelly

RESUMO

As técnicas do design paramétrico e generativo só foram possíveis com a chegada do computador. O uso de informações, algoritmos e lógicas matemáticas ajudaram o desenvolvimento de softwares para modelagem tridimensional dinâmica e interativa. As transformações, variações da forma e combinações complexas são aplicados com facilidade, uma vez que os recursos dos processos digitais voltados para projetos arquitetônicos têm ligação importante em relação a fabricação digital, permitindo variações e customização em massa com a mesma viabilidade que a modularização e ritmo. Na arquitetura generativa, não é a customização e formas complexas que são atraentes, mas os processos de concepção, interatividade e a informação que o modelo permeia. Diante das habilidades digitais, o arquiteto é desafiado a se alfabetizar, saber programar a transformação da forma, em vez de apenas projetá-la. Investigar esses desafios, compreender os processos do projeto digital generativo, desenvolver um estudo empírico sobre o tema são bases da fundamentação teórica e objetivos que norteiam o desenvolvimento das propostas. Almeja-se através dos ensaios fazer o uso de algoritmos relacionado ao contexto social, econômico e ambiental e estimular o processo de "reflexão-em-ação".

Palavras-chave: Projeto digital; Arquitetura paramétrica; Design generativo.

ABSTRACT

The techniques of parametric and generative design were only possible with the arrival of the computer. The use of information, algorithms and mathematical logics help to develop software for dynamic and interactive three-dimensional modeling. The transformations, variations of the form and complex combinations are applied with ease, since the resources of the digital processes directed to architectural projects have an important connection with the digital manufacture, allowing variations and mass-customization with the same viability that modularisation and rhythm. In generative architecture, it is not customization and complex forms that are attractive, but the processes of design, interactivity and information that pervades model. Faced with digital skills, the architect is challenged to become literate, know how to program the transformation of form instead of just designing it. Investigating these challenges, understand the processes of generative digital design, develop an empirical study on the subject are basis of the theoretical foundation and objectives that guide the development of proposals. It is hoped through the trials to make use of algorithms related to the social, economic and environmental context and to stimulate the process of "reflection-in-action".

Keywords: Digital design; Parametric architecture; Generative design.

LISTA DE ABREVIATURAS

2D – Duas dimensões ou bidimensional

3D – Três dimensões ou tridimensional

BIM – *Building Information Modeling*

BRT – *Bus Rapid Transit*

B-Spline – *Bezier Spline*

CAD - *Computer Aided Design*

CATIA – *Computer Aided Three-dimensional Interactive Application*

CNC – Comando Numérico Computacional

NURBS – *Non Uniform Rational Basis Spline*

RMGV – Região Metropolitana da Grande Vitória

UDI – Useful Daylight Illuminance

UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – a. Palácio de Cristal, 1851 – Londres, Inglaterra, por Joseph Paxton; **b.** Torre Eiffel, 1889 – Paris, França, por Gustave Eiffel 27

Figura 2 – Museu Guggenheim Bilbao, 1997 – Bilbau, Espanha, por Gehry Partners 27

Figura 3 – Bauhaus, 1926 – Dessau, Alemanha, por Walter Gropius 28

Figura 4 – Igreja de São Carlos nas Quatro Fontes, 1646 – Roma, Itália, por Francesco Borromini 29

Figura 5 – a. Fachada; **b.** Vista interna do teto. Sagrada Família, 1882 – Barcelona, Espanha, por Antoni Gaudí 30

Figura 6 – a-c. Casa Batlló, 1906 – Barcelona, Espanha, por Antoni Gaudí. 31

Figura 7 – Casa Tassel, 1894 – Bruxelas, Bélgica, por Vitor Horta 31

Figura 8 – Pavilhão de Vidro, 1914 – Colônia, Alemanha, por Bruno Taut 31

Figura 9 – Torre Einstein, 1921 – Potsdam, Alemanha, por Erich Mendelsohn 31

Figura 10 – Capela Notre-Dame-du-Haut, 1955 – Ronchamp, França, por Le Corbusier 31

Figura 11 – Terminal TWA, 1962 – Nova Iorque, EUA, por Eero Saarinen. 32

Figura 12 – Pavilhão Finlandês, 1939, Feira Mundial de Nova Iorque, por Alvar Aalto 32

Figura 13 – Archgram, Exposição Yesterday's Future, 1964 – Frankfurt, Alemanha, por Ron Herron 33

Figura 14 – Metabolism, "Cities in the Air", 1960 – por Arata Isozaki 34

Figura 15 – Supersudio, "Monumento Contínuo" na cidade de Nova Iorque, 1967 – Florença, Itália, por Philip K. Dick. 34

Figura 16 – Curva NURBS 35

Figura 17 – Projeto do Walt Disney Concert Hall no CATIA, 2003 – por Frank Gehry Partners 35

Figura 18 – Projeto do avião modelo SuperJet 100, da Sukhoi no CATIA, 2008 35

Figura 19 – Esquema genérico. 38

Figura 20 – Modelo de representação baseada no papel 39

Figura 21 – Modelo CAD tradicional. 40

Figura 22 – Rick Smith digitalizando o modelo do Walt Disney Concert Hall de Frank Gehry's, usando FaroArm, 1991 40

Figura 23 – a. Parte da maquete física do Museu de Guggenheim, por Frank Gehry; **b.** Objeto digital resultante da digitalização 41

Figura 24 – Modelo CAD avaliativo 41

Figura 25 – Modelo de formação 42

Figura 26 – Diferença entre superfície NURBS e Mesh "malha poligonal" 42

Figura 27 – Modelagem de superfície com operação "lofting". 43

Figura 28 – Captura de tela Revit. BIM – Atribuição de parâmetros e informações como orçamento.. 43

Figura 29 – Campos de força, Terminal de Ônibus da Autoridade Portuária, 1994 – Concurso em Nova Iorque, por Greg Lynn. . 44

Figura 30 – Modelo generativo 44

Figura 31 – Transformação usando mecanismos generativos, 1999, Mark Burry. 45

Figura 32 – Composição de sistemas adaptativos e evolutivos.. 46

Figura 33 – HygroScope, Arquitetura Biomimética, por Achim Menges e Steffen Reichert 46

Figura 34 – Modelo de desempenho baseado em modelo de formação 46

Figura 35 – Modelo de desempenho baseado em modelo generativo 47

Figura 36 – a. Autoridade Grande Londres, Foster & Partners; **b.** Swiss RE, Foster & Partners. 47

Figura 37 – Ensaio estrutural no EifForm, 2003, Shea 48

Figura 38 – Campos de força, 1999, Greg Lynn 48

Figura 39 – Modelo composto. 48

Figura 40 – Geometria topológica, Felix Candela 55

Figura 41 – Casa e tira de Möbius 56

Figura 42 – Objeto Mid-hybrid "Smooth" 56

Figura 43 – Curva com arcos tangenciados 57

Figura 44 – Variação da curva NURBS relacionado aos pontos de controles 57

Figura 45 – Rotterdam Market Hall, por Riya Bagchi 58

Figura 46 – Esquema estrutural no Dynamo, Terminal Waterloo 59

Figura 47 – Figura Terminal Waterloo, 1993, Nicholas Grimshaw. 59

Figura 48 – Campos de força e dinamismo "Point clouds", Terminal de ônibus, 1994. Nova Iorque, Greg Lynn. 60

Figura 49 – Simulação de atração como gotas d'água, 1999 Bubble BMW Pavilion 61

Figura 50 – Estrutura e superfície, Terminal de ônibus, 1994. Nova Iorque, Greg Lynn 61

Figura 51 – Variações topológicas na natureza. 61

Figura 52 – Variação topológica do cilindro, Casa Dançante, 1996, Frank Gehry 62

Figura 53 – a. Üstra Office Building, 2001, Frank Gehry; **b.** Turning Torso, 2005, Santiago Calatrava. 62

Figura 54 – Perfis estruturais preparadas para produção digital, Experience Music Project, 2000, Frank Gehry 66

Figura 55 – Análise de superfície, 1999 Bubble BMW Pavilion. 67

Figura 56 – Geometria não-euclidiana, Igreja de Atlanta, 1958, Uruguai, Eladio Dieste 67

Figura 57 – Sistemas generativo usados para gerar desenho urbano 68

Figura 58 – Material inteligente, "Smart Material" Aegis Hyposurface, 1999, Mark Goulthorpe 69

Figura 59 – Aula ao ar livre sendo realizado no pavilhão, por Studiogang, 2010 70

Figura 60 – Montagem da estrutura pré-fabricada e instalação de painéis, por Studiogang, 2010 71

Figura 61 – Fachada do pavilhão ArboSkin, por ITKE, 2013 71

Figura 62 – Diagrama do processo de fabricação dos módulos Disponível em: <rch2o com/arboskin-pavilion-institute-ofbuilding-structures-and-structural-design-itke> Acesso em: 26 de maio de 2018 72

Figura 63 – Montagem da estrutura pré-fabricada e instalação de painéis, por Studiogang, 2010 72

Figura 64 – Código criado no Grasshopper para a parametrização projetual e prepara para receber algoritmos genéticos 78

Figura 65 – Prototipagem e impressão 3D do modelo, combinando parâmetros distintos 78

Figura 66 – Perspectiva renderizada do projeto 79

Figura 67 – Vista aérea de Vila Velha, aos fundos Vitória e Monte Mestre Álvaro. Autor: Desconhecido. 82

Figura 68 – Mapa da Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV) 83

Figura 69 – Mapa da localização do terreno e contexto urbano 84

Figura 70 – Proposta para o Porjeto Corredor Bigossi 85

Figura 71 – Via com pista exclusiva de BRT com estação de embarque e desembarque. 86

Figura 72 – Ciclistas e pais levando seu filhos à escola de manhã, ao fundo pessoas usufruem do terreno para caminhadas . . . 87

Figura 73 – Movimentação de ciclistas e pedestres, ao fundo alunos vindo em direção da escola 87

Figura 74 – Movimentação na rua em frente a escola UMEF Irma Feliciana Garcia de manhã. 87

Figura 75 – Movimentação de ciclistas e pedestres, ao fundo homem passeando com cachorro (ampliação). 87

Figura 76 – Guias de calçada e tijolo de cimento usado para demarcar a "trave" do gol para jogar futebol, sem barreiras para proteção 88

Figura 77 – Adolescentes e jovens jogando bola no terreno, cerca de 21:00 da noite, menino busca bola no meio da rua com sinal aberto (ampliação) 88

Figura 78 – Adolescentes e jovens jogando bola no terreno a noite em meio ao fluxo de veículos constante 88

Figura 79 – Adolescentes soltando pipa, bicicleta jogada sem disponibilidade de bicicletário 88

Figura 80 – Mapa de hierarquia viária, sentido das vias e pontos nodais 90

Figura 81 – Pontos nodais, demarcados no mapa anterior 91

Figura 82 – Mapa de ciclovias 91

Figura 83 – Mapa de uso do solo e pontos âncoras e de apoios 92

Figura 84 – Mapa de fluxos e usos relacionados ao pedestre e ciclista e breve relação com infraestrutura urbana 94

Figura 85 – Mapa de vazios e massas verdes. 95

Figura 86 – Mapa de gabarito 96

Figura 87 – Carta solar e rosa dos ventos de Vila Velha 97

Figura 88 – Mapa de zoneamento demarcando a localização do terreno 98

Figura 89 – Setorização dos espaços e usos 101

Figura 90 – Captura de tela do Rhinoceros 3D 101

Figura 91 – Diagrama explicativo do fluxo de trabalho utilizado para programação dos códigos em relação às partes do projeto 102

Figura 92 – Relação entre a interface do Grasshopper e o script de uma mesma ferramenta 102

Figura 93 – Interface do Código 01 no Grasshopper: Define cobertura e estrutura do pavilhão principal 103

Figura 94 – Cobertura com o padrão dos painéis: visualização no Rhinoceros 3D 104

Figura 95 – Vista superior da cobertura – uma referência da superfície 2D projetada: visualização no Rhinoceros 3D 104

Figura 96 – Vista da treliça com análise de tensão: visualização no Rhinoceros 3D 105

Figura 97 – Vista da treliça com análise de tensão: visualização no Rhinoceros 3D 105

Figura 98 – Detalhe da treliça - o dimensionamento das seção dos perfis está vinculada à análise de tensão: visualização no Rhinoceros 3D 105

Figura 99 – Detalhe da treliça - o dimensionamento das seção dos perfis está vinculada à análise de tensão: visualização no Rhinoceros 3D 105

Figura 100 – Interface do Código 02 no Grasshopper: Define os painéis e a estrutura da passarela 106

Figura 101 – Vista da geometria com análise de insolação: visualização no Rhinoceros 3D 107

Figura 102 – Detalhe dos painéis - o dimensionamento das aberturas está vinculada à análise de insolação: visualização no Rhinoceros 3D 107

Figura 103 – Vista da geometria com análise de insolação e UDI: visualização no Rhinoceros 3D 108

Figura 104 – Interface do Código 03 no Grasshopper: Faz análise de insolação na cobertura e UDI de acordo com material aplicados 108

Figura 105 – Interface do Código 04 no Grasshopper: Faz análise de insolação no interior do pavilhão e define a melhor volumetria 109

Figura 106 – Captura de tela apresentando a configuração e o gerenciamento do genoma evolutivo, baseado nos parâmetros definidos no código: Caixa de diálogo do Galapagos 109

Figura 107 – Vista da geometria resultante, apresentada juntamente com a análise de insolação: visualização no Rhinoceros 3D 110

Figura 108 – Captura de tela apresentando processo e resultado do genoma evolutivo, baseado nos parâmetros definidos no código: Caixa de diálogo do Galapagos 110

Figura 109 – Interface do Código 05 no Grasshopper: Faz parametrização da paginação do piso no interior do pavilhão 111

Figura 110 – Vista da paginação de piso resultante dos campos de força: visualização no Rhinoceros 3D 111

Figura 111 – Vista superior da implantação do projeto: renderização 3D do Lumion 112

Figura 112 – Vista aérea da implantação do projeto: renderização 3D do Lumion 113

Figura 113 – Vista aérea da implantação do projeto: renderização 3D do Lumion 114

Figura 114 – Vista do observador, exibindo o contexto da implantação em relação ao entorno: renderização 3D do Lumion. . . 115

Figura 115 – Vista do observador, exibindo uma das extremidades da edificação: renderização 3D do Lumion. 115

Figura 116 – Vista do observador, exibindo a quadra, à esquerda ao fundo, bicicletários e pontos de ônibus: renderização 3D do Lumion 115

Figura 117 – Vista do observador, exibindo uma das extremidades do pavilhão principal: renderização 3D do Lumion 115

Figura 118 – a-c. Vista do observador, exibindo a espacialidade interna do pavilhão principal, também é visível a paginação do piso e paisagismo: renderização 3D do Lumion 116

Figura 119 – Vista aérea, exibindo os painéis da passarela e o mirante: renderização 3D do Lumion 117

Figura 120 – Vista do observador, exibindo a rua elevada e o pavilhão anexo: renderização 3D do Lumion 118

Figura 121 – Vista do observador, exibindo a estrutura e cobertura do pavilhão: renderização 3D do Lumion 118

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 20

1.1 Objetivo 21

1.2 Método 21

1.3 Estrutura do trabalho 22

2 EVOLUÇÃO E PROCESSOS DO PROJETO DIGITAL 26

2.1 Forma complexa e a mídia digital 26

2.1.1 Precedentes da forma digital complexa 28

2.1.2 Arquitetura contemporânea digital 34

2.2 Componentes e modelos do projeto digital 37

2.2.1 Componentes do projeto digital 37

2.2.2 Modelos de projeto digital 39

2.3 O papel do arquiteto 49

3 DESIGN ARQUITETÔNICO GENERATIVO 54

3.1 Arquitetura Contemporânea: parâmetros e algorítmicos 54

3.1.1 Morfogênese digital 55

3.1.2 Arquitetura generativa 63

3.2 Estratégias e desafios 65

3.2.1 Fabricação digital: do digital ao físico 65

3.2.2 Estrutura, superfície e a nova materialidade 68
4 ESTUDO EMPÍRICO SOBRE DESIGN PARAMÉTRICO E GENERATIVO **74**
4.1 Objetivo 74
4.2 Processo 74
4.3 Resultados 75
5 PROPOSIÇÃO PROJETUAL **80**
5.1 O contexto da área de estudo 81
5.1.1 Análise do entorno 87
5.1.2 Análise das condicionantes ambientais 90
5.1.3 Análise das condicionantes legais 91
5.2 Proposta arquitetônica 92
5.2.1 Estudos de caso 92
5.2.2 Diretrizes projetuais e metodologia 94
5.2.3 Partido arquitetônico 95
5.2.4 Programação do projeto 97
5.2.5 Representação do projeto 107

1

1 INTRODUÇÃO

Durante muito tempo a representação gráfica se manifestava de maneira convencional, direta e explícita, mas a chegada de tecnologias digitais motivou um período de experimentação contínua acarretando inovações tecnológicas, novos processos de projeto, de fabricação digital e materiais, investimentos em softwares de modelagem tridimensional na transformação complexa de formas geométricas.

Mesmo que as formas geométricas complexas tenham sido exploradas em movimentos e estilos arquitetônicos passados, há um grau de novidade na arquitetura contemporânea por romper a geometria pura e simples do modernismo e por apresentar processos de concepção digital. A cultura conservadora sempre foi marcante na arquitetura, sendo na maioria das vezes o último setor a aderir às novas tecnologias. Esta atitude conservadora em relação à inovação mitigou a importância do arquiteto durante os anos, abrindo espaço para uma indústria da construção bastante fragmentada, definindo responsabilidades distintas entre os membros e entre as áreas do setor, impossibilitando trabalho de fluxos integrados, que poderia evitar o desperdício de tempo, dinheiro e recursos.

A princípio, os processos digitais de projeto baseavam-se na representação similar a representação do papel. Ao longo dos anos a indústria de software implantou novas funções que facilitavam a modelagem tridimensional e sua relação com a fabricação. A metodologia CAD não se mostra eficiente, surgindo timidamente métodos que carregam informações importantes além da forma geométrica, como o BIM, permitindo ao mesmo tempo trabalhos colaborativos compartilhados.

O uso de informações na modelagem digital, muda a ênfase projetual de “criação da forma” para “busca da forma”. As informações por trás da forma tridimensional tornam a geometria aberta a transformações complexa, usando parâmetros e algoritmos genéticos – a modelagem por NURBS permite parametrizar e gerar superfícies altamente complexas e plásticas dentro de quantidade mínima

de informação usando apenas “pontos de controle”. Não são as formas complexas e superfícies curvilíneas que deixam a arquitetura generativa atraente, mas sim como a forma pode se transformar, e dialogar com contextos sociais, culturais, econômicos e ambientais.

1.1 Objetivo

O presente trabalho trata-se de uma pesquisa de caráter exploratório e empírico que pretende compreender os processos de projeto da arquitetura paramétrica e generativa. Serão investigados estudos de caso, personalidades exemplares, escritórios e conceitos relacionados à arquitetura paramétrica e generativa: evolução do processo de projeto digital, o uso de formas curvilíneas e complexas, design paramétrico, algoritmos genéticos, prototipagem, gramática da forma, fractais, etc.

O conteúdo teórico é complementado paralelamente com o objetivo em desenvolver um ensaio projetual. Serão estudados softwares e estratégias de modelagem paramétrica e generativa para estabelecer algoritmos a partir de variáveis relacionadas a luz, sombreamento, integração x privacidade, visibilidade, flexibilidade.

1.2 Método

A metodologia utilizada para realização do trabalho se efetua através da fundamentação teórica bibliográfica, abordando temas como: a evolução e processos do projeto digital, o uso de algorítmicos e a arquitetura paramétrica e generativa. Os principais autores consultados foram Branko Kolarevic, Kostas Terzidis, Lisa Iwamoto, Mark Burry, Rivka Oxman e William J. Mitchell. Integrou-se exemplos e estudos de casos ao corpo do texto, trazendo de forma sintetizada os temas apropriados aos assuntos desenvolvidos.

Participou-se de um estudo empírico, um curso de extensão voltado sobre a utilização de software digital e práticas projetuais paramétricas e generativas. O resultado também foi fabricado digitalmente, criando protótipos na impressora tridimensional.

1.3 Estrutura do trabalho

Estruturado por capítulos, dispões a seguinte divisão: 1° capitulo – apresentação do contexto, objetivo e metodologia; 2° capítulo – revisão bibliográfica sobre a evolução e processos do projeto digital; 3° capítulo – revisão bibliográfica da arquitetura paramétrica e generativa; 4° capítulo – descrição do estudo empírico desenvolvido; 5° capítulo – apresentação do ensaio projetual (proposta) e o último capítulo conclui com as considerações finais.

O capítulo 1, contextualiza o trabalho, justifica a escolha do tema, estabelece objetivos almejados e a respectiva metodologia adotada.

O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica bibliográfica a respeito da evolução e processos do projeto digital, considerando um período de precedentes da forma complexa como o Barroco, Expressionismo e Art Nouveau, passando pelo Modernismo e projetos utópicos futuristas até chegar no estilo atual: a Arquitetura Contemporânea. Durante essa evolução surgem novos processos e métodos projetuais que são classificados entre componentes e modelos, onde considera-se o arquiteto como o ponto central para intermediar a integração e relação entre o projeto e o usuário.

O capítulo 3 é responsável por explicar o uso da arquitetura paramétrica e generativa, e expor a compreensão dos métodos projetuais, a relacionando com a fabricação digital e acusar suas vantagens e desvantagens.

O capítulo 4 descreve o objetivo, os processos e o resultado proveniente do estudo empírico desenvolvido no curso de extensão, usando software paramétrico e generativo.

O capítulo 5 apresenta a proposta e os possíveis algoritmos a derem desenvolvidos no ensaio projetual.

2

2 EVOLUÇÃO E PROCESSOS DO PROJETO DIGITAL

Na Era Industrial os avanços tecnológicos já implicavam no surgimento de novos métodos de projeto, mas somente na Era da Informação a exploração de técnicas inovadoras e o levantamento de conteúdos teóricos se intensificam através da computação digital. Essa definição e articulação entre o caráter metodológico e o conteúdo conceitual, são questões abordados nesse capítulo, que vão desde o surgimento das teorias e práticas digitais até o cenário atual, passando pela exploração da forma complexa e seus precedentes, os componentes e modelos do projeto digital (KOLAREVIC, 2003 e OXMAN, 2006).

2.1 Forma complexa e a mídia digital

Segundo Ignasi S. Morales, (1996, p. 117, tradução nossa) "a arquitetura contemporânea é caracterizada pela capacidade de tirar proveito específico das inovações oferecidas pela ciência e tecnologia atual. A relação entre a nova tecnologia e a nova arquitetura, constitui um ponto de referência fundamental, chamado arquitetura de vanguarda, que constituem um motivo dominante, embora difuso, na configuração de novas arquiteturas". Assim como o Palácio de Cristal de Joseph Paxton (Figura 1 a.) foi um edifício ousado para o seu tempo, anunciando o espírito tecnológico da Era Industrial e um futuro de edifícios de aço e vidro; assim como a torre de Gustave Eiffel em Paris (Figura 1 b.) manifestava as elevadas alturas que os edifícios poderiam alcançar, o Museu Guggenheim de Frank Gehry em Bilbau (Figura 2), se manifesta como um exemplo conhecido que captura o espírito tecnológico da Era da Informação.

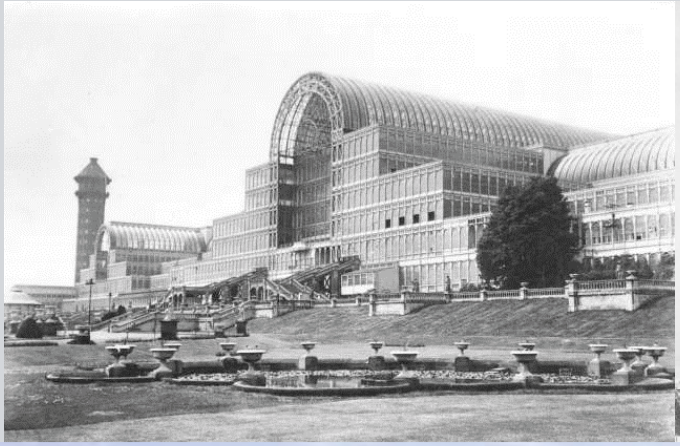


Figura 1 – a. Palácio de Cristal, 1851 – Londres, Inglaterra, por Joseph Paxton; **b.** Torre Eiffel, 1889 – Paris, França, por Gustave Eiffel

a. Disponível em: <upload.wikimedia.org/wikipedia/Commons/c/cf/The_Crystal_ Palace_1910.jpg> Acesso: 04 de novembro de 2017

b. Disponível em: <upload.wikimedia.org /wikipedia/commons/b/b0/Tour_Eiffel_3c02660.jpg>Acesso: 04 de novembro de 2017

Figura 2 – Museu Guggenheim Bilbao, 1997 – Bilbau, Espanha, por Gehry Partners
Disponível em: <www.guggenheim.org/wp-content/uploads/2016/04/architecture-bilbao-exterior-16-9-ratio-web.jpg?w=870>
Acesso em: 21 de outubro de 2017

Os processos projetuais orientados digitalmente, caracterizado por transformações dinâmicas, abertas e imprevisíveis, o potencial generativo, os avanços da fabricação digital já eram alcançados a mais tempo na indústria automobilística, aeroespacial e de construção naval. Posteriormente na arquitetura, essas tecnologias digitais sofrem mudança constante em um ritmo acelerado, visto que poucos puderam antecipar sua chegada há uma década atrás, tornando-se uma investigação experimental. O uso de arquiteturas computacionais, geometrias topológicas, espaço geológico, não euclidiano, sistemas cinéticos e dinâmicos e algorítmicos genéticos estão ultrapassando as arquiteturas tecnológicas (KOLAREVIC, 2003).

2.1.1 Precedentes da forma digital complexa

As formas geradas digitalmente evoluem de formas livres e complexas, superfícies curvilíneas, levantando questões estéticas, psicológicas e sociais. As arquiteturas contemporâneas digitais prefiguram um pensamento arquitetônico a favor da experimentação contínua, baseada na geração digital e transformação dinâmica – respondendo influências contextuais ou funcionais complexas e estáticas – e parecem ainda rejeitar noções de tipologia urbana e estrutural, a continuidade morfológica e o estilo histórico, representando uma ruptura ideológica, conceitual e formal, como o Modernismo através da Bauhaus de Walter Gropius em Dassau, na Alemanha (Figura 3) (KOLAREVIC, 2003).

Figura 3 – Bauhaus, 1926 – Dessau, Alemanha, por Walter Gropius
Disponível em: <images.adsttc.com/media/images/53b6/d0f9/c07a/80a3/4300/01ec/large_jpg/6.jpg?1404489942> Acesso em: 24 de outubro de 2017

Pode-se afirmar que novas arquiteturas são não tipológicas, descontínuas, amorfas, sem perspectiva, a-históricas, etc., mas não estão sem precedentes: desde o Barroco, os arquitetos buscam ir além dos padrões

de beleza, proporção e hierarquia usando formas biomórficas e orgânicas. Segundo Kolarevic (2003, p.4-5) há uma linha tênue entre a arquitetura contemporânea digital e seus precedentes – como o Barroco, usando superfícies côncavas e convexas e detalhamento finos nos ornatos (Figura 4), principalmente no que diz respeito ao uso de formas livres e complexas: o estilo arquitetônico de Frank Gehry pode ser atribuído ao Expressionismo, assim como as "bolhas" de Greg Lynn ao Surrealismo (KOLAREVIC, 2003).

Figura 4 – Igreja de São Carlos nas Quatro Fontes, 1646 – Roma, Itália, por Francesco Borromini

Disponível em: <www.bluffton.edu/homepages/facstaff/sullivanm/italy/rome/carlofontane/0094.jpg> Acesso em: 24 de outubro de 2017

Os precedentes ainda podem ser encontrados nas formas orgânicas e biomórficas como as linhas sinuosas no Art Nouveau (Figura 7), a geometria complexa de Antoni Gaudí (Figura 5 e Figura 6), rigorosamente elaborada através de curvas catenárias. No segundo momento da arquitetura moderna os pontos "planta livre" e "fachada livre" de Le Corbusier, permitem o aparecimento de elementos curvilíneos variados através da exploração plástica dos materiais como o concreto armado. Os avanços tecnológicos da construção estão presentes nos precedentes como o Pavilhão de Vidro de Bruno Talt (Figura 8), a Torre de Einstein de Erich Mendelsohn (Figura 9), a Capela de Ronchamp de Le Corbusier (Figura 10) e o Terminal Aéreo TWA de Eero Saaninen (Figura 11). Alvar Aalto rompe o estilo moderno bastante cedo com curvas sinuosas em seu pavilhão finlandês na Feira Mundial de Nova Iorque (Figura 12) (KOLAREVIC, 2003).

Figura 5 – a. Fachada; **b.** Vista interna do teto. Sagrada Família, 1882 – Barcelona, Espanha, por Antoni Gaudí

Disponível em <www.archdaily.com.br/br/01-56012/classicos-da-arquitetura-sagrada-familia-antoni-gaudi>. Acesso em: 11 de setembro de 2017

Figura 6 – a-c. Casa Batlló, 1906 – Barcelona, Espanha, por Antoni Gaudí

a. Disponível em: <media.ruebarue.com/photos/places/6063860045840384/2-casa-batllo-2%20%28©%20Casa%20Batllo,%20Carlos%20Giordano%20Rodriguez%20y%20Nicolas%20Palmisano%29.jpg>. Acesso em: 11 de setembro de 2017.

b. Disponível em <barcelona-home.com/blog/wp-content/upload/2013/09/casa_batllo_21.jpg>. Acesso em: 11 de setembro de 2017

c. Disponível em <studiolabdecor.com.br/wp-content/uploads/2016/03/viagem-arquitetura-Casa-Batlló-gaudi-bascelona-studio-lab-decor-09.jpg>. Acesso em: 11 de setembro de 2017

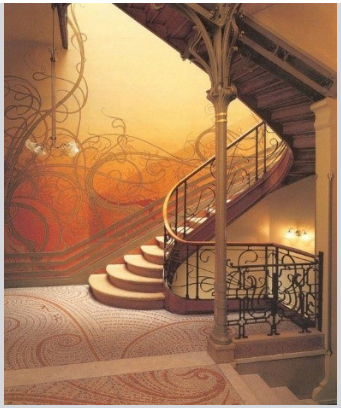


Figura 7 – Casa Tassel, 1894 – Bruxelas, Bélgica, por Vitor Horta

Disponível em: <st.hzcdn.com/simgs/baa17c8c0e0f3a00_4-2655/traditional-staircase.jpg>. Acesso em 11 de setembro de 2017

Figura 9 – Torre Einstein, 1921 – Potsdam, Alemanha, por Erich Mendelsohn

Disponível em: <upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/36/Einsteinturm_7443.jpg>. Acesso em 11 de setembro de 2017

Figura 8 – Pavilhão de Vidro, 1914 – Colônia, Alemanha, por Bruno Taut

Disponível em: coisasdaarquitetura.files.wordpress.com/ 2011/05/pavilhc3a3o-de-vidro-b-taut.jpg>. Acesso em 11 de setembro de 2017

Figura 10 – Capela Notre-Dame-du-Haut, 1955 – Ronchamp, França, por Le Corbusier

Disponível em: <images.adsttc.com/adbr001cdn.archdaily.net/wp-content/uploads/2011/01/1325168094_01_cara_hyde_basso.jpg>. Acesso em 11 de setembro de 2017

Figura 11 – Terminal TWA, 1962 – Nova Iorque, EUA, por Eero Saarinen
Disponível em: <media.cntraveler.com/photos/53da51fadcd5888e145ada54/master/pass/twa-terminal-nyc-architecture-trends.jpg >. Acesso em 11 de setembro de 2017

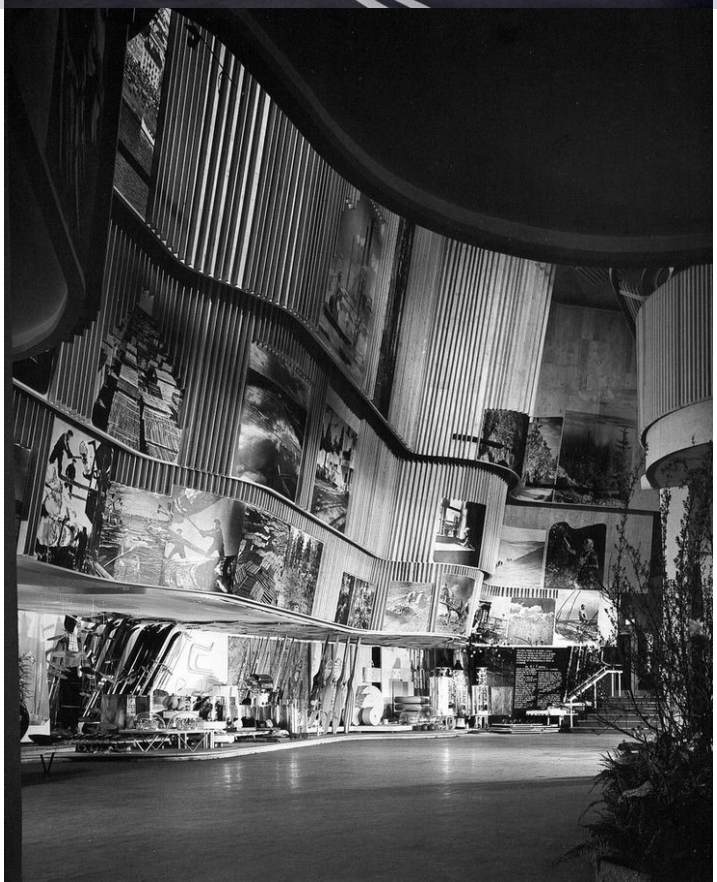


Figura 12 – Pavilhão Finlandês, 1939, Feira Mundial de Nova Iorque, por Alvar Aalto
Disponível em: <www.vitruvius.com.br/media/images/magazines/grid_9/9fac_426-09.jpg>. Acesso em 11 de setembro de 2017

Nesse período, a forma plástica ainda tinha uma aplicabilidade limitada e se mostrava cautelosa devido à consideração modernista em relação ao curvilíneo – evitava-se duas armadilhas opostas: a representação formal da primeira fase moderna, marcada pela "perda da forma" e o "labirinto orgânico" em que o Art Nouveau havia caído – a quebra da monotonia ortogonal e linear, anunciou o surgimento de formas desconhecidas e projetos utópicos, criando formas suaves, orgânicas, uso de materiais de alta plasticidade, inspirando em menor grau o tratamento da forma livre (KOLAREVIC, 2003).

As obras futuristas na época, despertaram uma nova interpretação da prática arquitetônica e urbana, relacionando tecnologias, cultura, padrões de beleza e funcionalidade. A mudança ideológica levou o surgimento de movimentos como o Archgram, Metabolism e o Superstudio (Figura 13 - Figura 15), as novas tecnologias começaram a ser encaradas não só pela aparência superficial de novas formas, mas pela continuidade da mudança, a variação e opção de escolha (KOLAREVIC, 2003).

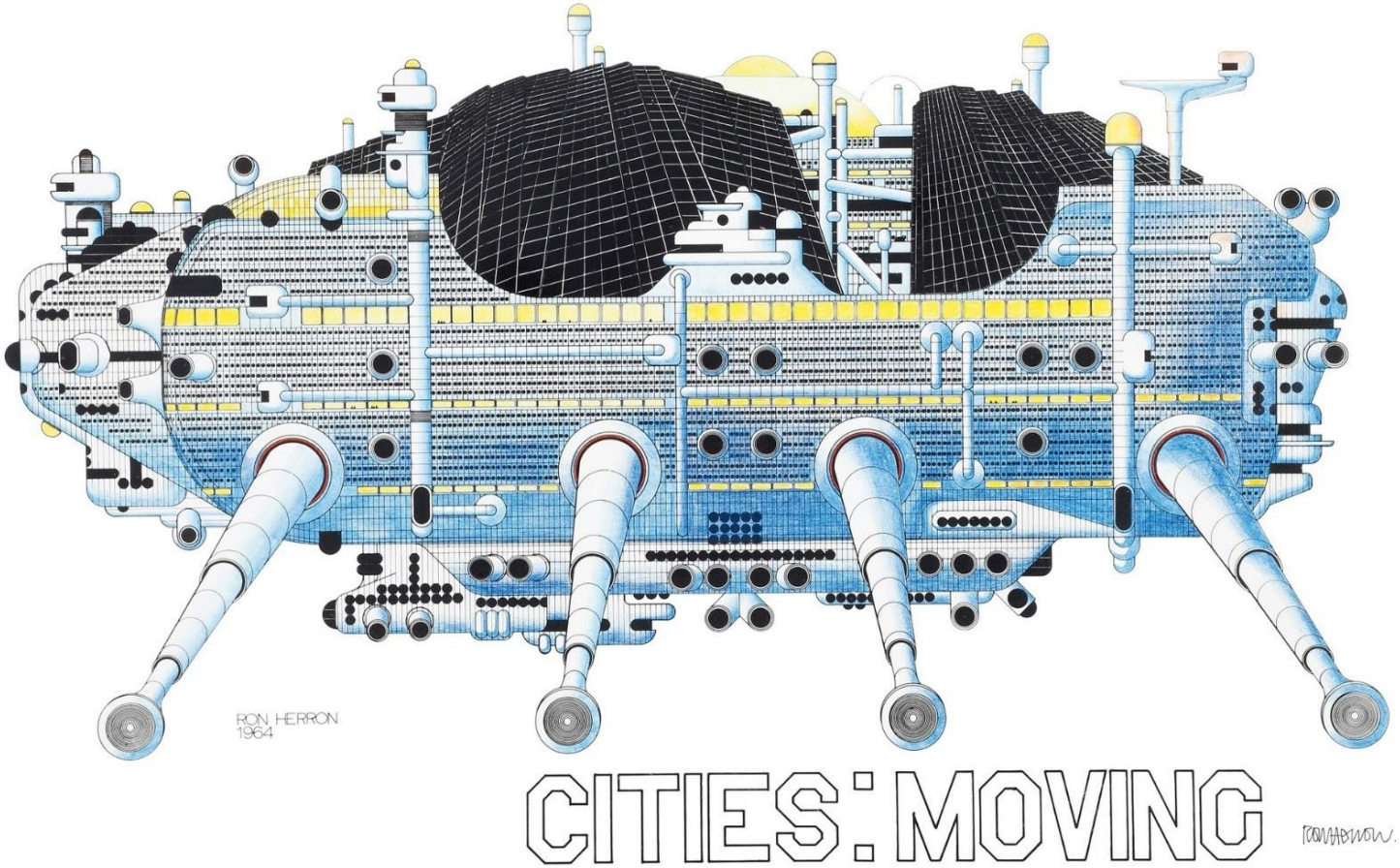


Figura 13 – Archgram, Exposição Yesterday's Future, 1964 – Frankfurt, Alemanha, por Ron Herron
Disponível em: <images.adsttc.com/media/images/5722/ba2f/e58e/cee4/4a00/0152/large_jpg/zvg001.jpg?1461893667>. Acesso em: 6 de novembro de 2017

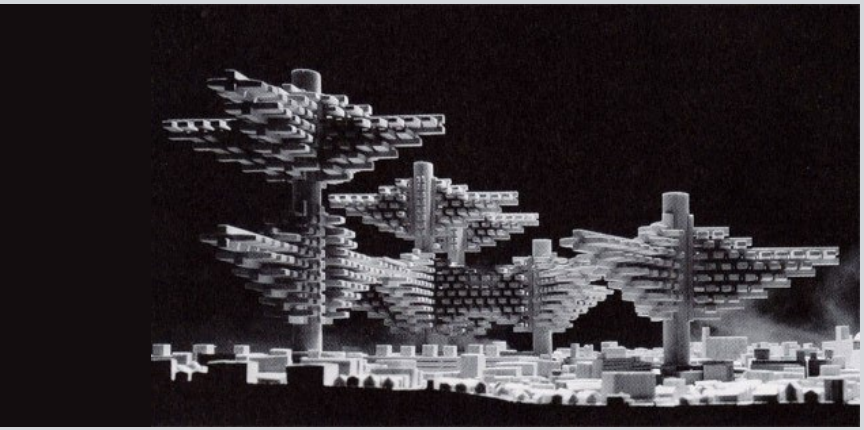


Figura 14 – Metabolism, "Cities in the Air", 1960 – por Arata Isozaki
Disponível em: <images.adsttc.com/media/images/521f/833e/e8e4/4ebd/9000/0057/medium_jpg/2.jpg?1377796923>. Acesso em: 6 de novembro de 2017

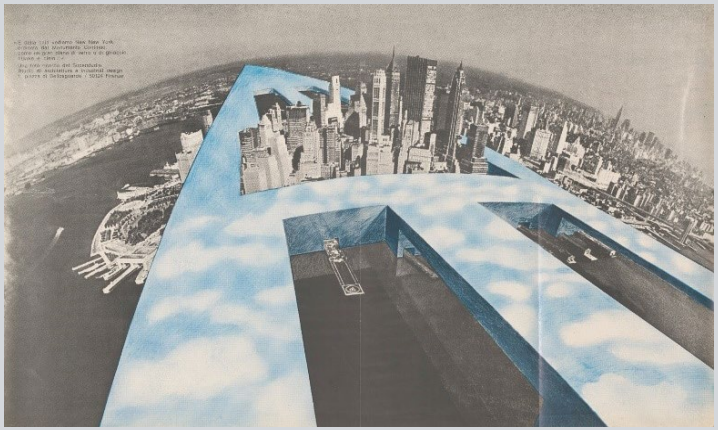


Figura 15 – Supersudio, "Monumento Contínuo" na cidade de Nova Iorque, 1967 – Florença, Itália, por Philip K. Dick
Disponível em: <images.adsttc.com/media/images/59ca/435a/b22e/38e8/8300/0011/large_jpg/Cooper_Union_Drawing_Ambience9-Superstudio-New-New_York.jpg?1506427731>. Acesso em: 6 de novembro de 2017

2.1.2 Arquitetura contemporânea digital

> "Como no passado, a arquitetura contemporânea digital encontra sua legitimação na exploração dos últimos avanços tecnológicos, busca novas esperanças de concepção e produção e a correspondente estética de superfícies complexas e curvilíneas. "
> (KOLAREVIC, 2003, tradução nossa)

A manifestação de processos orientados pela informação é vista como um produto lógico e inevitável da era digital que transforma culturas, sociedades e economias. Corresponder geometrias esteticamente curvilíneas e complexas ainda é uma dificuldade para muitos arquitetos. Isso se justifica pelo forte hábito da geometria ortogonal e euclidiana do modernismo em processos tradicionais de projeto e construção (KOLAREVIC, 2003).

Historicamente, a indústria da construção foi uma das últimas em adotar novas tecnologias. Durante um longo período, as geometrias curvilíneas foram completamente ignoradas pela cultura arquitetônica. O software de modelagem tridimensional CATIA

possibilita o alcance fácil de geometrias curvilíneas. O software já era usado nas indústrias de produtos de consumo, aviões e navios cerca de 20 anos antes de ser descoberto por Frank Gehry, – percebe-se a semelhança entre os projetos (Figura 17 e Figura 18) – ainda hoje é pouco usado na arquitetura (KOLAREVIC, 2003).

Os softwares de modelagem digital só ganham espaço nos escritórios de arquitetura quando implementam as curvas paramétricas chamadas NURBS (Figura 16), abrindo um universo de formas complexas, que até então eram difíceis de serem representadas e desenvolvidas construtivamente. Para solucionar essa limitação, um universo formal na busca de novas tecnologias e fabricação digital começa a ser discutido, trazendo orçamentos razoáveis (KOLAREVIC, 2003).

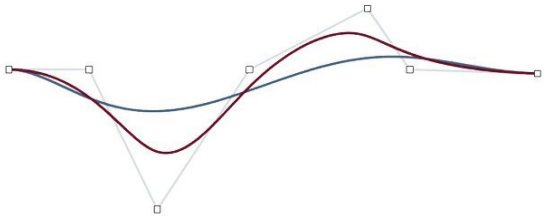


Figura 16 – Curva NURBS
Disponível em: <s3.amazonaws.com/studiomaven-legacy-img/NURBS+Curve.jpg>. Acesso em: 22 de setembro de 2017

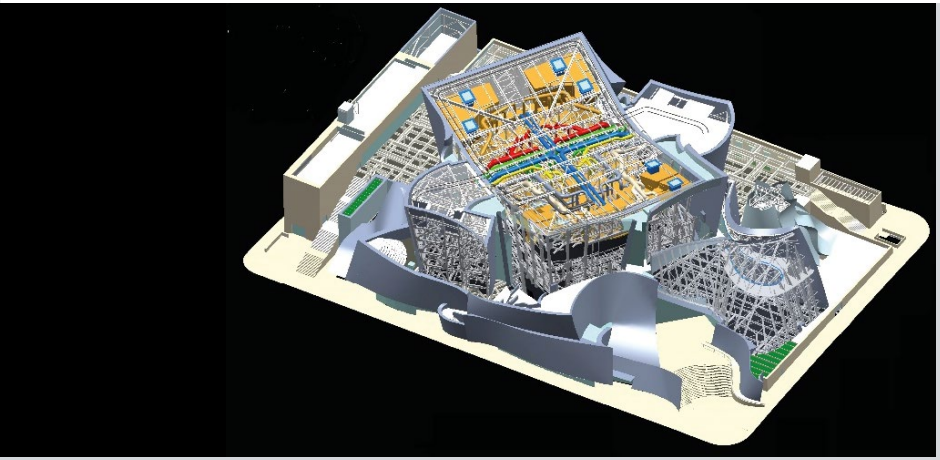


Figura 17 – Projeto do Walt Disney Concert Hall no CATIA, 2003 – por Frank Gehry Partners
Disponível em: <www.vbtllc.com/images/dch3.jpg>. Acesso em: 22 de setembro de 2017

Figura 18 – Projeto do avião modelo SuperJet 100, da Sukhoi no CATIA, 2008
Disponível em: <superjet.wdfiles.com/local--files/wiki:shema-samoleta/81.jpg>. Acesso em: 22 de setembro de 2017

Os arquitetos agora exploram geometrias não-euclidianas e investigam a topologia espacial – um ramo da matemática preocupado com a propriedade dos objetos, preservada através de deformações – estabelecendo relações em vez de distinções espaciais, interconexões que existem internamente e externamente dentro do projeto arquitetônico. O termo "topológico" também é adotado atualmente para descrever geometrias "curvas", devido ao mal-entendido da representação estrutural dos matemáticos (KOLAREVIC, 2003).

Apesar dos inúmeros precedentes da forma curva, há certo grau de novidade em formas curvilíneas e complexas. Vale ressaltar justaposições formais entre "bolhas" e "caixas" não devem ser vistos com oposição, mas sim como instâncias numa escala de transformação. É a informação que o edifício carrega e transmite para superfície que o torna "inteligente" e não sua forma (FOX, 2016; KOLAREVIC, 2003).

2.2 Componentes e modelos do projeto digital

À medida em que surgem novas ideias e práticas digitais, o discurso do arquiteto motivou um processo de singularidade e transformações na prática. Gradualmente essas características particulares, assumem conceitos fundamentais para interpretar o processo da absorção digital (OXMAN, 2006).

Por ser um processo recente – destacando-se na última década – a prática e exploração digital, a produção teórica e materialização, ainda se fundamentam em posições ideológicas e conceitos não definidos formalmente. Apesar do grande número de literatura e produção teórica sobre o tema, é difícil definir a representação de projeto digital como única. Nessa situação, baseia-se em métodos de análise que provam ser produtivos, possibilitando um mapeamento de paradigmas para identificação do conteúdo, dos modelos e implicações de novos relacionamentos entre o arquiteto e ferramentas digitais (OXMAN, 2006).

Para definir a estrutura desses componentes e modelos teóricos, considera-se o período desde o início da década de 1980, onde a capacidade cognitiva do arquiteto começa a ter propriedades sugestivas nos modelos de Schon (1983) e Lawson (1997). O objetivo dos modelos compreende a complexidade do pensamento do projetista, relacionando percepção, interpretação e representação. Ainda hoje a teoria de Schon demonstra relevância em informar modelos de projeto digital, estabelecendo o arquiteto como central no processo digital, na medida em que implica no controle baseado na interação e reflexão humana com um meio visual (OXMAN, 2006).

2.2.1 Componentes do projeto digital

Os modelos tradicionais no processo de projeto baseavam-se em conhecimento implícito em vez de explícito, pois a avaliação não era formalizada, sendo associado à intuição e criatividade. Nos processos digitais o conhecimento baseia-se na capacidade de explicar, formular, implementar com representações explícitas.

São identificados vários tipos de interações que se classificam de acordo com tipo de interação entre o arquiteto e a mídia digital. A definição desse fluxo

de informações entre os componentes e modelos de projeto reconhece o papel da interação como um fator fundamental no projeto, sendo digital ou não.

Dentro do cenário digital o arquiteto assume a centralidade, formula-se uma representação simbólica dos componentes na qual os modelos de projeto são desenvolvidos. Nesse esquema (Figura 19) são identificados os componentes básicos de atividades tradicionais denominados representação, geração, avaliação e desempenho (OXMAN, 2006).

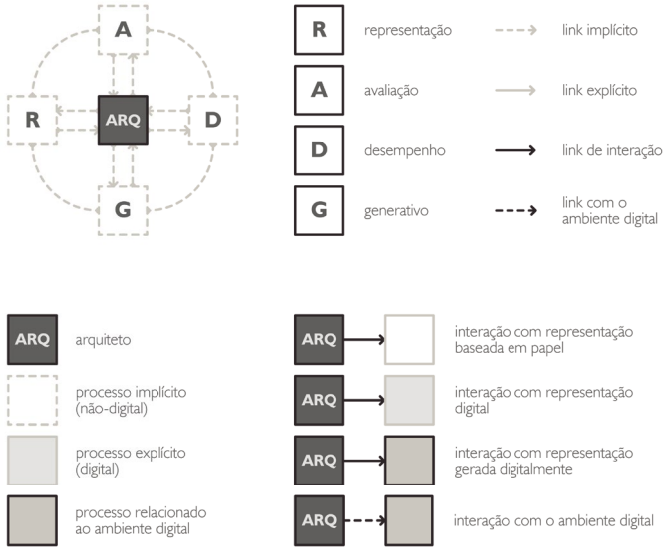


Figura 19 – Esquema genérico
Fonte: Autor, baseado em Oxman (2006, p.241)

Essa simbologia é resumida da seguinte forma: a representação está relacionada à mídia representacional. A avaliação inclui processos de análises. A geração inclui processos generativos. O desempenho inclui processos performativos relacionados a considerações programáticas e contextuais.

Os limites e os links são representados por uma linha e setas respectivamente, explicando a interação entre os componentes do modelo. Links implícitos e cognitivos são representados de forma tracejada e links computacionais explicados formalmente são representados de forma completa. De acordo com essa simbologia, podemos representar o modelo baseado na representação no papel (Paper-based model, Figura 20):

Enquanto interage diretamente com o desenho no papel, integra requisitos de desempenho, generativo e avaliativo com comportamento cognitivo e implícito.

2.2.2 Modelos de projeto digital

A abordagem para estruturação dos modelos de projeto digital, abrange várias possibilidades genéricas de acordo com as relações entre o arquiteto

e seu conteúdo conceitual, os processos aplicados e o próprio objeto. Com esse paradigma, Oxman classifica cinco grupos:

1 – Modelos CAD (CAD models);
2 – Modelos de formação (Formation models);
3 – Modelos generativos (Generative models);
4 – Modelos de desempenho (Performance models);
5 – Modelos compostos integrados

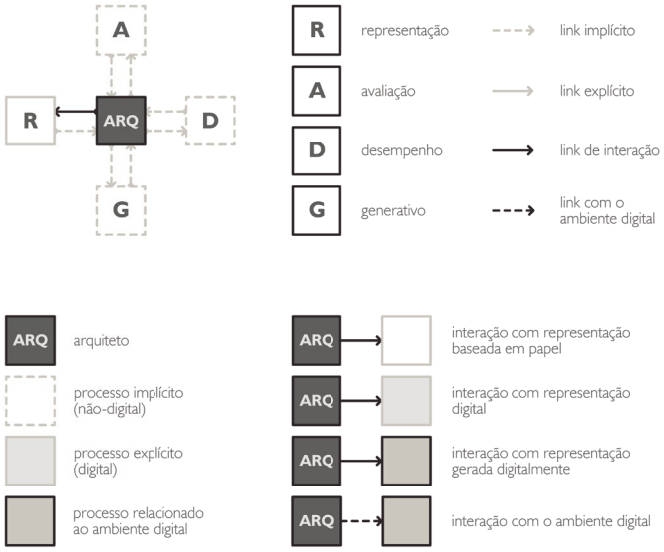


Figura 20 – Modelo de representação baseada no papel
Fonte: Autor, baseado em Oxman (2006, p.245)

A sequência desses modelos apresenta um desenvolvimento sucessivo a mudança e modificação, associado ao tipo de suas propriedades. Cada módulo de atividades e componentes apresentados permite rastrear sua evolução incluindo o nível de explicação, suas informações e a interação associado a eles.

O primeiro modelo – modelo CAD (CAD model, Figura 21) – é marcado pelas primeiras tecnologias, um meio de representação ainda em duas dimensões, com metodologia similar a representações baseada tradicionalmente no papel. O modelo foi caracterizado como sendo descritivo e na manipulação de representações gráficas de objetos digitais, tendo pouco efeito qualitativo. O modelo CAD se divide em duas subclasses:

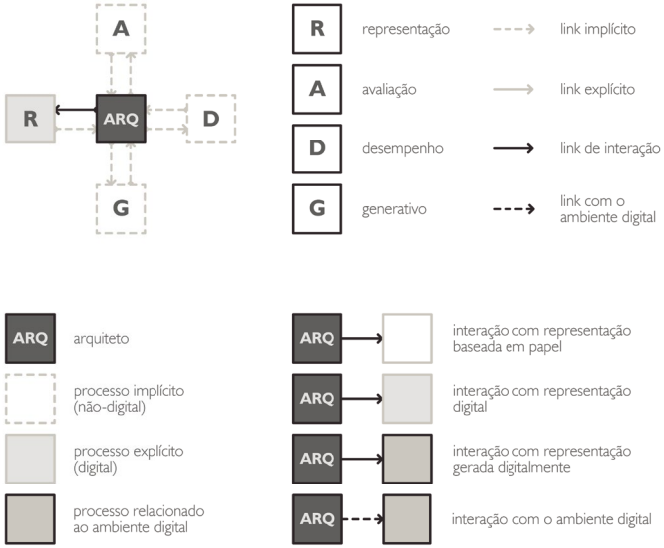


Figura 21 – Modelo CAD tradicional
Fonte: Autor, baseado em Oxman (2006, p.247)

A primeira subclasse, denominada modelo CAD descritivo (CAD descriptive models), baseia-se na representação de modelos tridimensionais e atualmente devido a novas tecnologias, existem interações continuas entre o modelo físico e o modelo digital usando processos bidirecionais. Um modelo físico pode ser gerado a partir de um modelo digital assim como um modelo físico pode ser traduzido para meio digital através de captura escaneada (Figura 22 e Figura 23) (OXMAN, 2006).

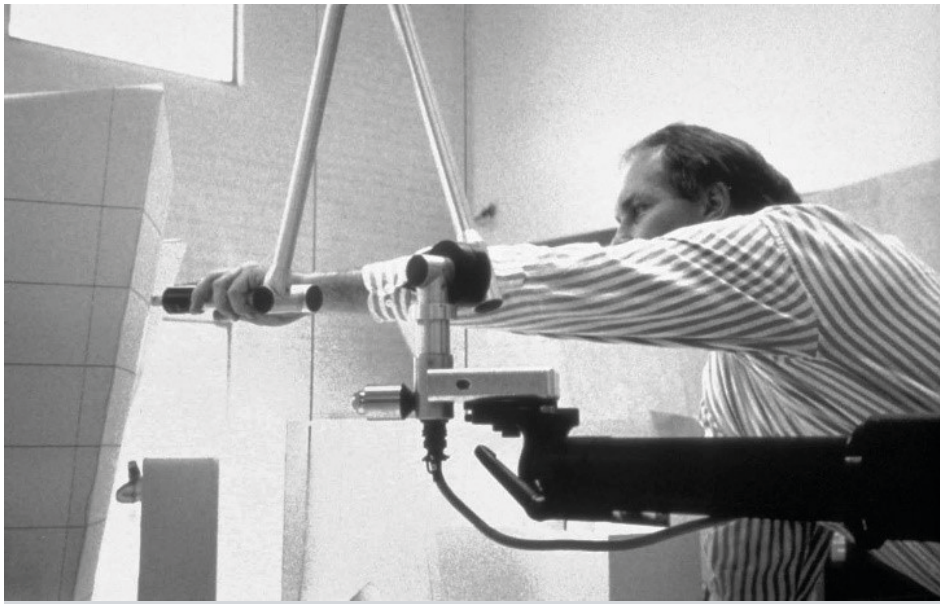


Figura 22 – Rick Smith digitalizando o modelo do Walt Disney Concert Hall de Frank Gehry's, usando FaroArm, 1991
Fonte: KOLAREVIC, B. (2003, p. 31)

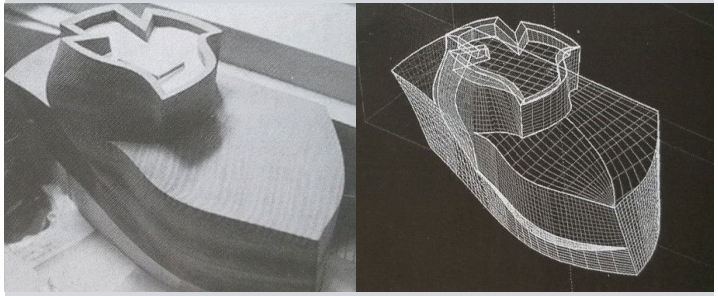


Figura 23 – a. Parte da maquete física do Museu de Guggenheim, por Frank Gehry; **b.** Objeto digital resultante da digitalização
Fonte: KOLAREVIC, B. (2003, p. 31)

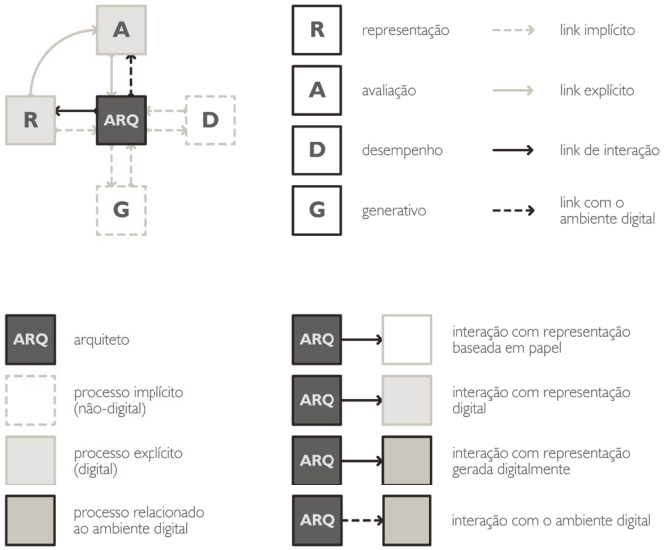


Figura 24 – Modelo CAD avaliativo
Fonte: Autor, baseado em Oxman (2006 p.248)

A segunda subclasse, denominada modelo CAD avaliativo (Generation-evaluation CAD model, Figura 24), baseia-se na exportação de um modelo CAD para outras plataformas, ganhando espaço para processos de análises e avaliação, associado a estimativa de custos, desempenho ou até mesmo cálculo estrutural. Esse processo analítico estimula um ciclo reflexivo de interpretação através do arquiteto para aprimorar sua representação e gerenciar modificações integradas com a lógica material e apropriada para processos de fabricação. As modificações suportam a colaboração participativa entre profissionais de diversas áreas projetuais, apoiando a organização de dados complexos (OXMAN, 2006).

No segundo modelo – modelo de formação (Digital formation models, Figura 25) – a representação conceitual baseada em papel não é mais válida para explicar o processo do pensamento no projeto digital, porém ainda podem haver implicações formais e resultar em representações negativas e sem produtividade. O formalismo digital reforça conceitos dinâmicos, com técnicas avançadas transformando o conhecimento sobre a forma (OXMAN, 2006).

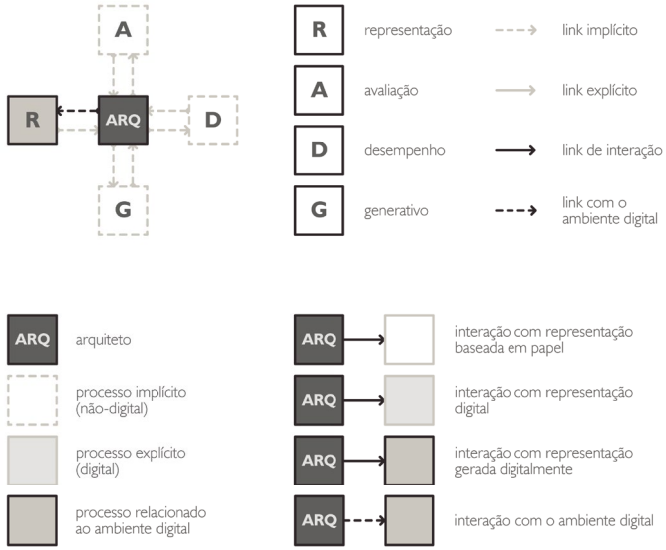


Figura 25 – Modelo de formação
Fonte: Autor, baseado em Oxman (2006 p.250)

No modelo de formação, a técnica é estruturada por um processo geométrico digital que proporciona ao arquiteto um alto nível de interação e controle. Embora a sofisticação tecnológica e a capacitação gráfica sejam uma qualidade característica dos fenômenos desse modelo digital, a ênfase é principalmente sobre a qualidade formal e geométrica dos projetos. Essa limitação de foco identifica três subclasses no modelo de formação, pois o projeto entra numa área muito sofisticada, tornando-se um fabricante de ferramentas digitais (OXMAN, 2006).

A primeira subclasse, denominada modelo de formação topológica (Topological formation models), baseia-se na exploração da topologia que inclui a geometria não-euclidiana para criação de modelos de formação. É o estudo das propriedades do objeto que não mudam quando transformações topológicas equivalentes são aplicadas, devido a substituição de coordenadas estáticas por construções dinâmicas computacionais – como por exemplo NURBS, b-splines e operações de modelagem "lofting" (Figura 26 e Figura 27)– uma nova visão filosófica de projeto para se adaptar a condições não lineares, associado a conceitos de hiper-conectividade e hiper-continuidade (OXMAN, 2006).

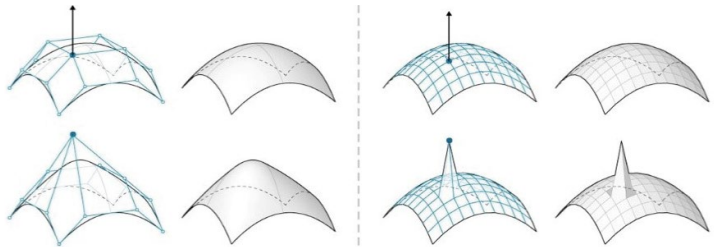


Figura 26 – Diferença entre superfície NURBS e Mesh "malha poligonal"
Disponível em: <dynamoprimer.com/en/05_Geometry-for-Computational-Design/images/5-7/NURBSvsMESH-02.jpg>. Acesso em: 24 de agosto de 2017

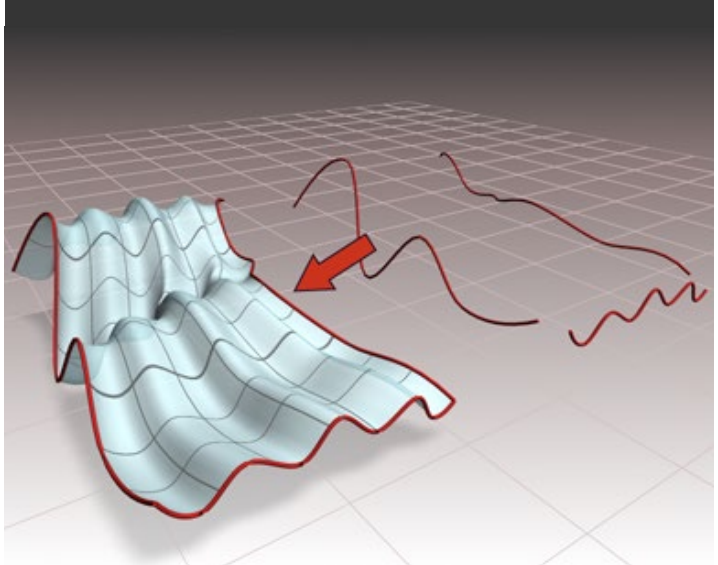


Figura 27 – Modelagem de superfície com operação "lofting" Disponível em: <docs.autodesk.com/3DSMAX/15/ENU/3ds-Max-Help/images/GUID-05519C27-96CF-46CE-9415-A693E44B5FC1-low.png>. Acesso em: 18 de junho de 2017

A segunda subclasse, denominada modelo de formação associativo (Associative design formation models), baseia-se em princípios paramétricos que exploram a geometria associativa. A ativação de atributos aos parâmetros e a associação interdepende entre os objetos são descritos explicitamente, gerando variações com condições relacionadas facilmente (Figura 28). Nesse modelo o arquiteto interage por ferramentas internas integradas, podendo controlar o nível de interação, podendo refinar geometrias complexas trabalhando problemas de forma estrutural (OXMAN, 2006).

A terceira subclasse denominada modelo de formação dinâmica (Motion-based formation models), baseia-se em técnicas de movimento, animação e modelagem de automação, podendo propagar instâncias discretas em um contínuo dinâmico. As técnicas da automação geram articulações de conceitos morfológicos evolutivos. Dentro desse quadro interativo da mídia, obtêm-se a forma através da demonstração dinâmica de forças do movimento da qual as formas são particularmente produzidas. Essa estratégia utiliza softwares especiais de informação, com capacidade para simular de acordo com as leis da física, e transformações sujeito a campos de força (Figura 29) (OXMAN, 2006).

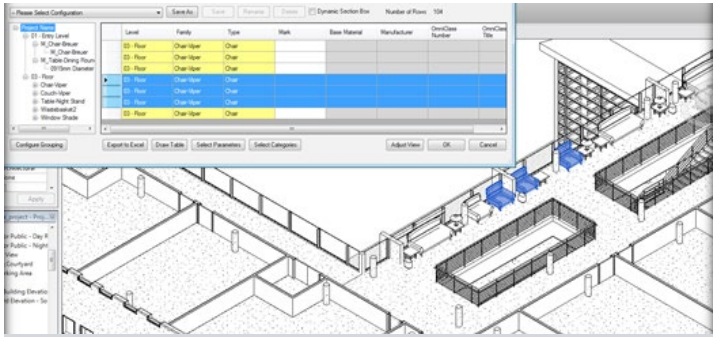


Figura 28 – Captura de tela Revit. BIM – Atribuição de parâmetros e informações como orçamento.
Disponível em: <assets.aga-cad.com/legacy/joomla /images/revit% 20bim%20dynamic%20tree9.png>. Acesso em: 24 de agosto de 2017

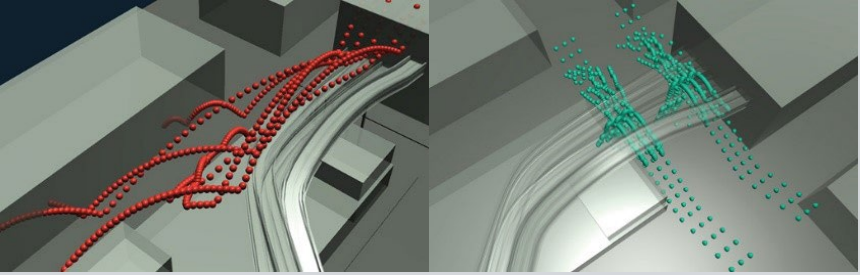


Figura 29 – Campos de força, Terminal de Ônibus da Autoridade Portuária, 1994 – Concurso em Nova Iorque, por Greg Lynn
Disponível em: <glform.com/buildings/port-authority-triple-bridge-gateway-competition>. Acesso em: 12 de out. de 2017

O terceiro modelo – modelo generativo (Generative design model, Figura 30) – é caracterizado por fornecer mecanismos computacionais para processo de geração formalizada. Como citado anteriormente, o modelo CAD é caracterizado pela estrutura geométrica dos objetos e os modelos de formação reforçam habilidades para o controle geométrico e topológico com condições dinâmicas. Os dois modelos até então, impedem uma representação com qualidade formal explícita em relação ao pensamento de projeto. Assim o modelo generativo soluciona a necessidade da interação com processos complexos, que tratam o surgimento de formas derivados de regras generativas, relações e princípios. A interação tem prioridade nesse modelo, permitindo o arquiteto pré-formular o controle e escolha direta das soluções desejadas (OXMAN, 2006).

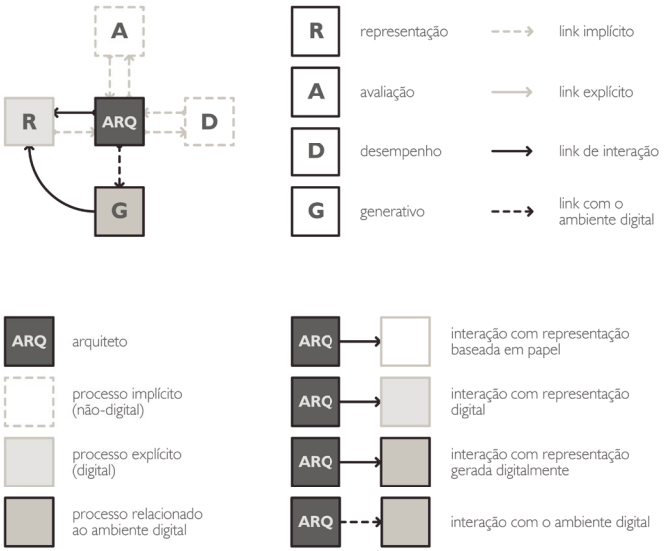


Figura 30 – Modelo generativo
Fonte: Autor, baseado em Oxman (2006, p.255)

Dentro dos conteúdos teóricos e pesquisas atuais, são identificadas duas subclasses do modelo generativo denominadas: modelo transformativo gramático e modelo evolutivo.

A subclasse denominada modelo transformativo gramático (Grammatical transformative design models), fornece os mecanismos computacionais através de fórmulas matemáticas, impulsionando regras transformacionais. A definição de gramática nesse modelo se direciona a um caráter abstrato,

mais topológico e menos composicional (Figura 31). Essa mudança de foco em relação ao projeto digital, seja para composição espacial, qualidade dos materiais ou propriedades morfológicas, sempre incorpora expressões matemáticas. Atualmente o projeto transformativo gramático é considerado um potencial na geração de projetos no meio digital.

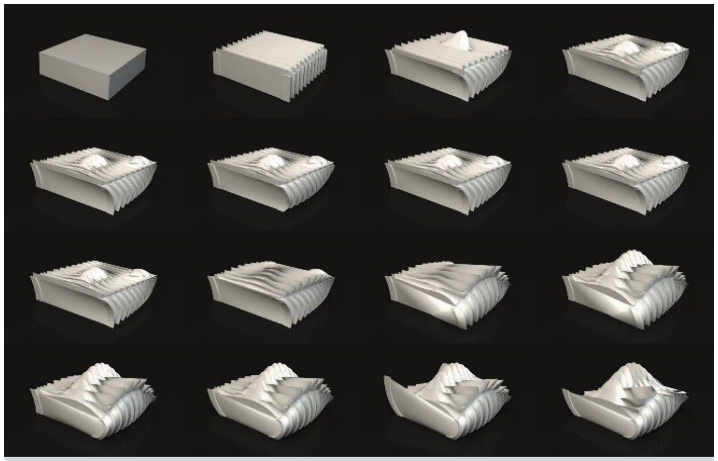


Figura 31 – Transformação usando mecanismos generativos, 1999, Mark Burry.
Disponível em: <mcburry.files.wordpress.com/2012/01/5-15_paramorph-iteration.jpg>. Acesso em: de 2017

A subclasse denominada modelo evolutivo (Evolutionary design models), baseia-se em processos generativos de evolução natural – uma codificação genética interna, trabalhando objetos semelhantes dentro do projeto, reproduzindo variações através do cruzamento e morfogênese (mutação de genes) – substituindo a interação tradicional com a forma. O bom comportamento desses sistemas, exige a responsabilidade para definir seu desenvolvimento e sua evolução, de modo que possam ser mapeadas em um contexto específico. Além de definir o conjunto de regras generativas, usando algorítmicos genéticos (Figura 32 e Figura 33). As variações e recombinação são representados paralelamente em que processos de evolução e adaptação são definidos e aplicados. Ainda não há exemplos de modelos compostos que combinem mecanismos generativos em modelos de formação, no entanto essa combinação é teoricamente possível (OXMAN, 2006).

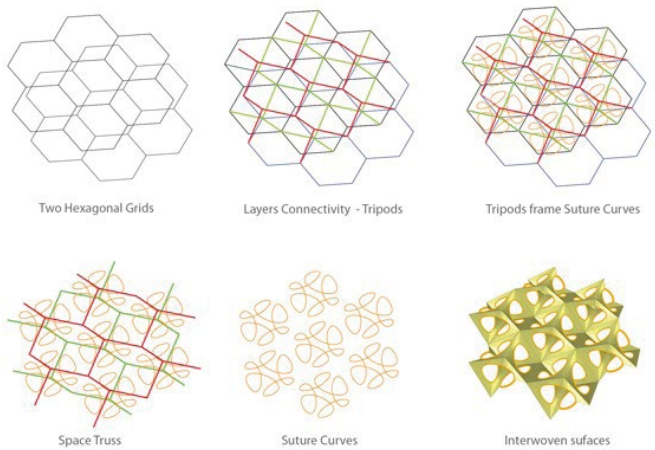


Figura 32 – Composição de sistemas adaptativos e evolutivos.
Disponível em: <www.evolo.us/wp-content/uploads/2010/06/Img_05.jpg>. Acesso em: 02 de novembro de 2017

Figura 33 – HygroScope, Arquitetura Biomimética, por Achim Menges e Steffen Reichert
Disponível em: <www.biomimetic-architecture.com/wordpress/wp-content/uploads/2012/04/hygroscope1_edit4.jpg>. Acesso em: 02 de novembro de 2017

O quarto modelo – modelo de desempenho (Performance models) – é um modelo de desenho composto exclusivo, muitas vezes mal interpretado como simplesmente um modelo de avaliação. Essa composição pode usar modelos de formação ou generativo, conduzidos em softwares específicos para alcançar um desempenho e comportamento determinado.

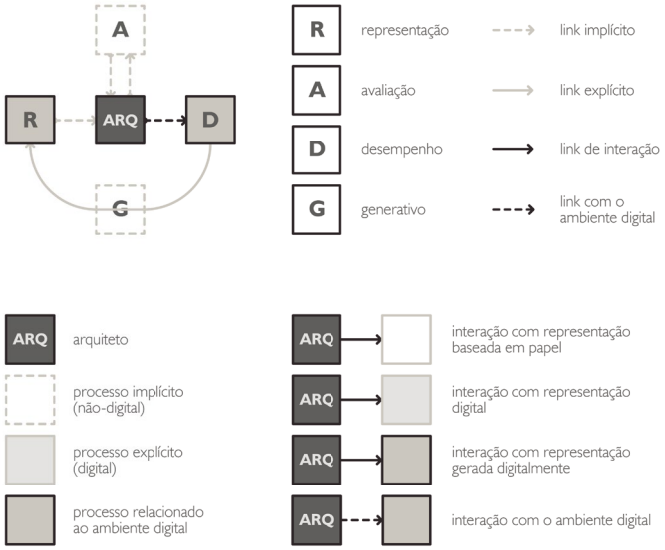


Figura 34 – Modelo de desempenho baseado em modelo de formação
Fonte: Autor, baseado em Oxman (2006, p.258

O modelo é composto por variáveis paramétricas exclusivas e definido pelas condições do problema,

implantação, terreno, programa de necessidades, entre outros (OXMAN, 2006).

Para alcançar técnicas de desempenho em modelos de formação (Performance-based formation models, Figura 34), deve-se aplicar parâmetros detalhados, baseados em simulações complexas e dinâmicas que podem incluir condições de conforto ambiental, acústica, eficiência energética, viabilidade e até aspectos sociais, culturais e tecnológicos. As influências externas calculadas e identificadas na simulação através dos parâmetros, transformam e deformam o resultado do projeto por análises e comparações até alcançar o melhor comportamento (OXMAN, 2006).

O desempenho impulsionado em modelo generativo (Performance-based generation models, Figura 35) se desenvolve em direção da condição final integrada, contexto fundamental para a concepção da forma. Nesse modelo o arquiteto interage com três módulos, definindo processos generativos, de desempenho e a representação digital. Um exemplo importante, demonstrando o potencial (Figura 36).

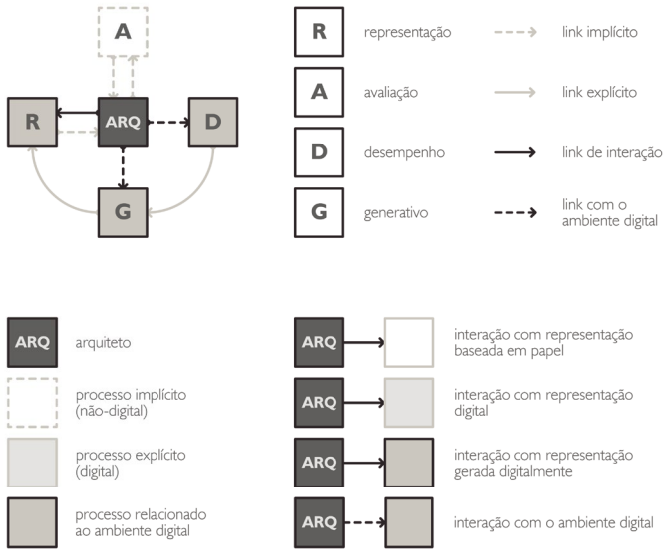


Figura 35 – Modelo de desempenho baseado em modelo generativo
Fonte: Oxman (2006, p.259)

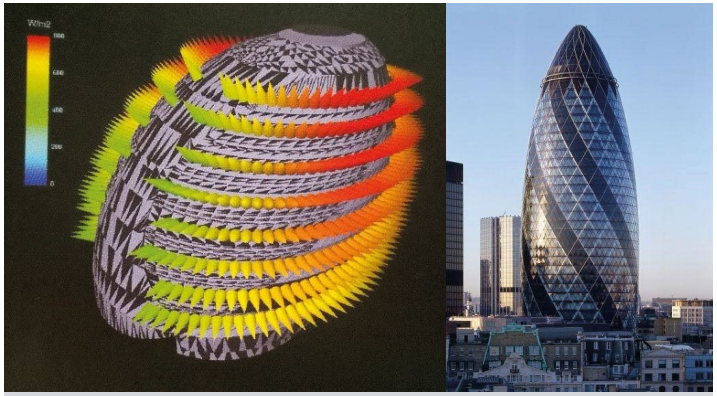


Figura 36 – a. Autoridade Grande Londres, Foster & Partners; **b.** Swiss RE, Foster & Partners.
a. Fonte: KOLAREVIC, B. (2003, p. 25)
b. Disponível em: <media.glassdoor.com/l/4716/swiss-re-office.jpg>. Acesso em: 18 de novembro de 2017

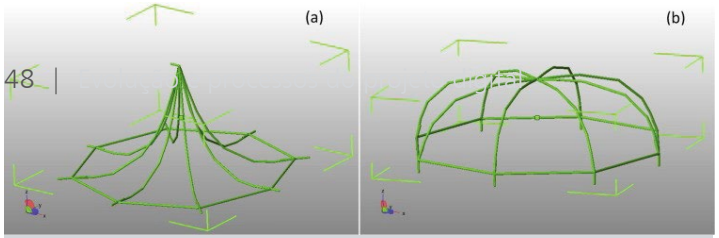


Figura 37 – Ensaio estrutural no EifForm, 2003, Shea
Disponível em <ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0045794915002692-gr40.jpg>. Acesso em: 28 de setembro de 2017.

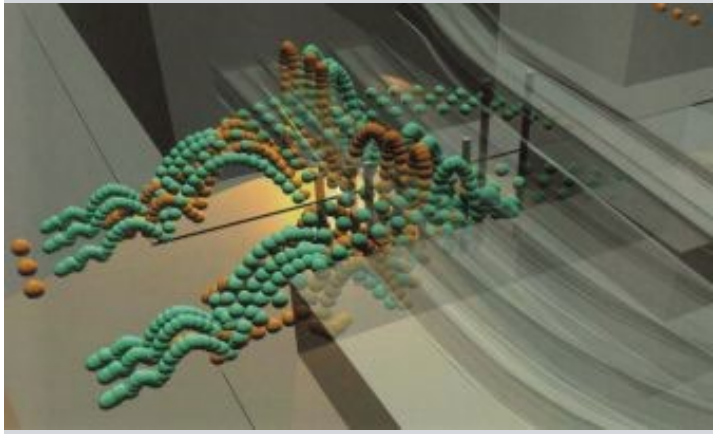


Figura 38 – Campos de força, 1999, Greg Lynn
Disponível em <www.publishedart.com.au/image/big_animateform0836_2.jpg?w=336&h=320>. Acesso em: 28 de setembro de 2017.

Conforme citado por Oxman (2006, p.259) Shea (2003, Figura 37) usa modelos generativos e desempenho para orientar estruturas de engenharia, se tornando um exemplo importante para demonstrar a importância em integrar modelos de desempenho com ferramentas generativas. Lynn (1999, Figura 38) usa esse modelo em um sistema de partículas, podendo visualizar campos de força e âncoras de movimento e fluxo.

O quinto modelo – modelo composto (Compound models, Figura 39) – representa um objetivo importante para futuras implicações, tendo uma comunicação integrada entre todos os componentes e modelos. Esse modelo poderá fornecer a interação com qualquer módulo de atividade e um fluxo de informações em direções múltiplas (OXMAN, 2006).

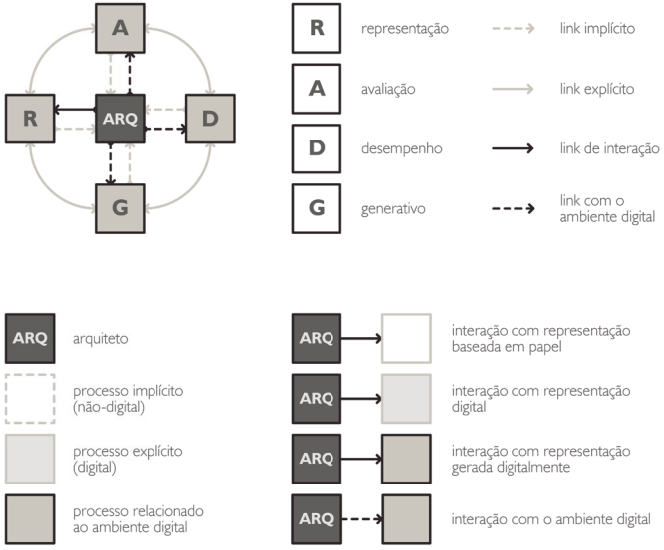


Figura 39 – Modelo composto
Fonte: Autor, baseado em Oxman (2006, p.261)

2.3 O papel do arquiteto

O projeto digital passou por um período de rápida absorção, motivando a alfabetização conceitual e metodológica dos arquitetos. Esses experimentos práticos e estudos teóricos baseavam-se em modelos de projeto digital ainda precoces e sem fundamentos explicativos – simbolicamente representados como um processo cíclico. – Gradualmente essa representação torna-se mais particular, definindo estágios e tarefas dentro do processo (OXMAN, 2006).

A interação com a representação digital levanta questões qualitativas e conceituais que precisam de uma explicação. Representado simbolicamente nos esquemas acima, o arquiteto se mantém com posição central, dando crescente importância a interface do usuário e a alfabetização digital, relacionado a projetos altamente avançados e complexos. Essa centralidade, se justifica pelo caráter de interatividade entre os componentes, modelos e links entre o arquiteto e os vários subprocessos – uma explicação qualitativa detalhada significativa (OXMAN, 2006).

O grau de interação e controle individual de processos geradores e performativos, cria um "novo material" através da informação. Essa evolução contribuiu para o surgimento de novos papéis para o arquiteto, inclusive como um construtor de ferramentas (OXMAN, 2006).

Os processos digitais abrem espaço para interações entre o arquiteto, o construtor e o fabricante e participação ativa em todas fases do desenvolvimento projetual estabelecendo uma colaboração constante entre projeto e construção. Ao mesmo tempo que surgem novas oportunidades sem precedentes para o setor construtivo, enfrenta-se uma série de desafios difíceis e multifacetados, que devem ser superados para que essa continuidade interdisciplinar se torne realidade (HENRIQUES, 2015).

O arquiteto enfrenta obstáculos decorrentes da prática social e jurídica estabelecidas há muito tempo na indústria da construção. Uma organização fragmentada, diferenciada, facilita a definição clara das responsabilidades, porém limita o surgimento de novas sinergias colaborativas no setor. Cultiva-se o medo em

relação ao compartilhamento de dados digitais, códigos de práticas legais e patentes entre as várias partes do processo projetual, pois dentro das definições atuais de responsabilidade profissional, se um arquiteto compartilha um modelo digital para um contratado ou fabricante, se torna responsável por qualquer resultado originado dos dados fornecidos (KOLAREVIC, 2003).

A consequência desse medo é que cada participante desse processo crie seus dados a partir do zero, ou transcreva a evolução dos dados documentados anteriormente. Esse processo ineficiente pode acarretar erros de interpretação e troca de informações no papel, que se soluciona ao adotar um novo funcionamento de responsabilidades compartilhadas e as repercussões legais entre partes distintas do setor da construção. Embora seja uma tarefa difícil, devido a inércia social e cultural, é tecnologicamente possível e se desenvolve lentamente ao longo dos séculos (KOLAREVIC, 2003). Um exemplo dessa situação ocorre no software Revit da Autodesk, através do sistema colaborativo no compartilhamento do modelo digital, chamado workset e no sistema hibrido do software CATIA da Dassault, usado por Frank Gehry, chamada C-cubed.

Essa evolução e revolução envolve todos os membros da equipe sem cruzar responsabilidades tradicionais. Cada membro acrescenta e extrai informações ao modelo compartilhado, conforme exigido por seus conhecimentos. Segundo Glymph, conforme citado por Kolarevic (2003, p.61, tradução nossa) “tanto o dinheiro quanto o tempo podem ser eliminados do processo de construção ao mudar a responsabilidade de projeto”. A reestruturação da indústria, portanto, exige uma reflexão de como vários membros da equipe são compensados, em resposta do benefício fornecido através das informações compartilhadas (KOLAREVIC, 2003).

A decisão da responsabilidade compartilhada, implica maior a hipótese do risco, nesse quadro, alguns arquitetos buscam oportunidades e desafios juntando-se com empreiteiros, criando empresas de construção, representado em uma única entidade jurídica e um único ponto de responsabilidade, chamados design-build. Os arquitetos se encontram cada vez mais trabalhando em ambientes de ideias compartilhadas e multidirecionais, uma fluidez dinâmica do processo em que cada membro

utiliza de forma distinta os mesmos softwares, dados e dispositivos de fabricação (KOLAREVIC, 2003).

A mudança de atenção dos arquitetos da produção do desenho para produção de informação digital dá importância à indústria de software, refletindo uma transição das práticas emergentes. A alfabetização digital, a participação ativa no desenvolvimento dessas ferramentas abre lugar a novos suportes na produção. Essa parceria deve superar barreiras sociais e culturais e promover um modelo de construção único (KOLAREVIC, 2003).

As instituições educacionais são responsáveis em preparar futuras gerações de profissionais e práticas da era digital. Precisa-se formar arquitetos para serem construtores principais novamente, para entender e reencontrar os processos da construção através de tecnologias digitais (KOLAREVIC, 2003).

3

3 DESIGN ARQUITETÔNICO GENERATIVO

A arquitetura digital é definida por processos computacionais com transformações complexas e formas dinâmicas. A morfogênese digital, o design paramétrico e generativo, algorítmicos e desempenho são assuntos que serão abordados e detalhados neste capítulo.

Os processos digitais permitem novas oportunidades para exploração conceitual e formal, articulando morfologia arquitetônica e propriedades adaptativas da forma. A ênfase passa de "criação da forma" para "busca da forma" – o estável substituído pela variável e a singularidade substituído pela variedade (KOLAREVIC, 2003).

Arquitetura generativa não é apenas a otimização da geometria topológica junto com seu banco de dados, mas avança além disso. Embora a otimização se centre na refinação de uma solução conhecida sem qualquer noção de fabricação, o design generativo ajuda o arquiteto a explorar um quadro como um todo de opções de design funcionais e de fabricação. O profissional não só pode descobrir uma nova solução, mas identificar e adaptar a solução ideal conforme desejado. Um processo que leva reduções de custo, tempo de desenvolvimento, consumo de material e peso do produto possibilitando uma capacidade de projetar e fabricar soluções eficientes e funcionais (FALLON, 2017).

3.1 Arquitetura Contemporânea: parâmetros e algorítmicos

Atualmente, a arquitetura contemporânea explora a complexidade e transformação da forma, um processo possível devido a utilização de novas mídias digitais, como ferramentas para análise de desempenho e mecanismos generativos, que excede funções apenas de representação e visualização convencional. O desenho arquitetônico e as formas geradas digitalmente em processos paramétricos e generativos, são calculados por algorítmicos, fórmulas e lógicas computacionais complexas internas, não gerados mais por uma modelagem externa e representação direta em si. Esse processo produz de forma automática uma gama de possibilidades e propostas, permitindo a

escolha apropriada para o projeto em desenvolvimento (KOLAREVIC, 2003; OXMAN, 2006).

O abandono de projetar apenas pela representação se justifica pelo favorecimento da complexidade. Esses novos modelos de projeto, capazes de uma transformação e dinâmica constante, substituem modelos de projeto estáticos dos processos convencionais. As formas complexas são geradas na mesma facilidade que formas planares, de modo que, a repetição, a modularidade e simetrias perdem importância no uso, pois a variabilidade infinita torna-se tão viável como a modularidade. Na Era da Informação, a relação entre projeto digital e fabricação digital permite a personalização e produção em massa (KOLAREVIC, 2003).

3.1.1 Morfogênese digital

A mudança de ênfase de formas específicas de expressão para relações entre o contexto existente e o programa proposto, cria uma interdependência que estrutura e organiza a geração e transformação da forma. A qualidade da topologia – uma definição matemática que estuda as propriedades de formas geométricas que não variam com a mudança de tamanho – está focada em sua estrutura relacional e não em sua geometria, ou seja, um quadrado pode ser deformado para um retângulo, porém ambos são topologicamente equivalentes, tendo a mesma quantidade de arestas e vértices. A transformação topológica, afetando a estrutura relacional, pode por exemplo, transformar um quadrado em um triângulo, excluindo um dos vértices através de uma única operação topológica (KOLAREVIC, 2003).

Figura 40 – Geometria topológica, Felix Candela
Disponível em: <images.adsttc.com/media/images/5346/1fad/c07a/80f9/4d00/009f/large_jpg/FlickrDuncanC.jpg?1397104531>. Acesso em: de 2017

Aplicando propriedades de unilateralidade e estruturas topológicas na arquitetura, pode-se difundir as distinções entre o interior e exterior (Figura 41). Mesmo que suas qualidades e conceitos sejam difíceis de se manifestarem, as formas complexas não são necessariamente o que tornam a topologia particularmente atraente, mas sim a primícias da estrutura relacional e a interação interna e externa do contexto do projeto arquitetônico (KOLAREVIC, 2003).

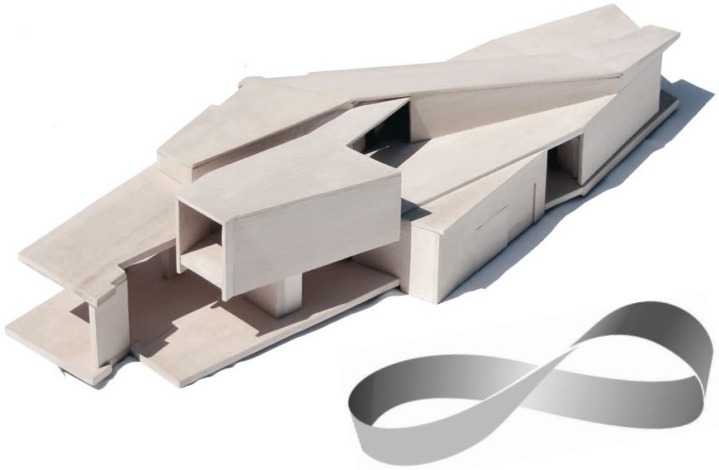


Figura 41 – Casa e tira de Möbius
Disponível em: <farm1.staticflickr.com/629/22479284193_d7f3d73e3c_o.jpg>. Acesso em: 07 de novembro de 2017
Disponível em: <pt.wikiarquitectura.com/wp-content/uploads/2017/01/Moebius_008.jpg>. Acesso em: 07 de novembro de 2017

A geometria não-euclidiana se torna importante no ponto de vista arquitetônico, pela possibilidade de mapear objetos, proporcionando uma conceituação radicalmente diferente do espaço (Figura 40). A interpretação da geometria não-euclidiana mostra que curvas podem parecer retas e que a geometria esférica ou um espaço curvo podem parecer plano. Essa flexibilidade se manifesta na transformação de uma caixa para uma bolha e vice-versa (Figura 42), numa escala deslizante de complexidade formal através de uma simples instância, variando parâmetros dentro dos quais são definidos (KOLAREVIC, 2003).

Figura 42 – Objeto Mid-hybrid "Smooth"
Fonte: TERZEDIS, K. (2009, p.104)

Na arquitetura pré-digital, a concepção de curvas mais complexas foi realizada através de arcos circulares, tangentes e segmentos de linha reta (Figura 43. O uso da geometria topológica, possibilitou uma evolução na representação de curvas e superfícies contínuas, uma característica forte na arquitetura contemporânea. Essa representação é denominada matematicamente como NURBS, sua adoção generalizada e seu uso está justificado na facilidade de construir e controlar uma ampla gama de formas altamente complexa. NURBS oferece uma representação eficiente através de uma quantidade mínima de dados (KOLAREVIC, 2003).

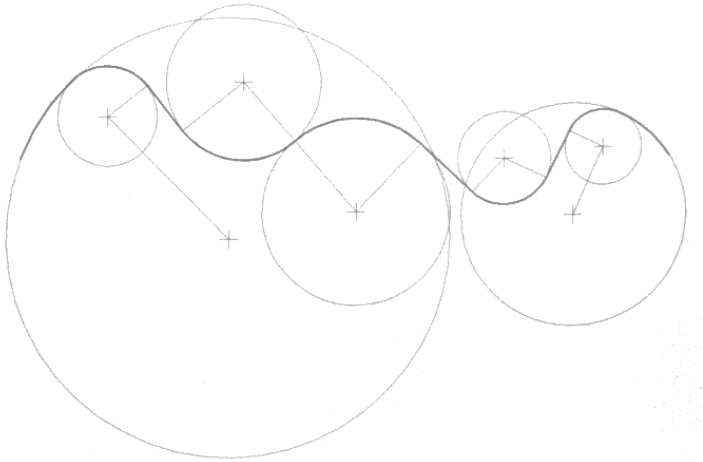


Figura 43 – Curva com arcos tangenciados
Fonte: KOLAREVIC, B. (2003, p.15)

Uma curva ou superfície NURBS pode ser alterada manipulando os pontos de controle, pesos e nós, bem como o grau da própria curva, exceto nas extremidades (Figura 44). A localização dos pontos de controle não precisa se encontrar na curva, podendo receber parâmetros que controlam a variação da curvatura através do peso e grau, além de poder se distinguir entre os eixos X, Y e Z. Essas curvas têm como propriedade a mudança contínua do raio da curva ao longo do seu comprimento, suficiente para níveis elevados de continuidade, implicações estéticas e de fabricação (KOLAREVIC, 2003).

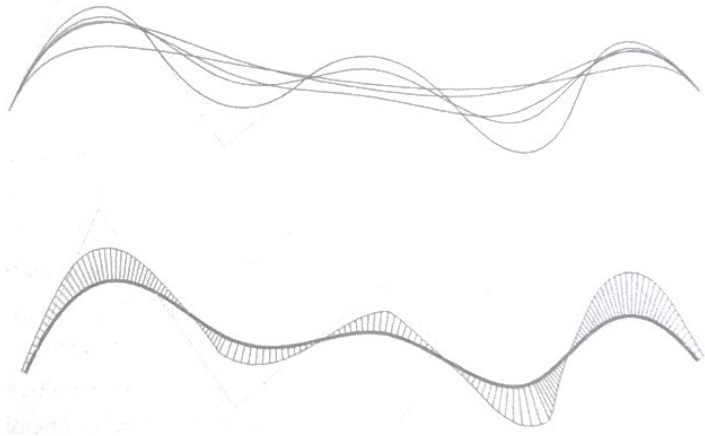


Figura 44 – Variação da curva NURBS relacionado aos pontos de controles
Fonte: KOLAREVIC, B. (2003, p. 16)

Descrevendo uma variedade de possibilidades, os parâmetros fornecem uma concepção poderosa na forma arquitetônica. Usando parâmetros, os arquitetos podem criar infinitos objetos semelhantes, um esquema previamente articulado de dependências dimensionais, relacionais ou operacionais variáveis (Figura 45) (KOLAREVIC, 2003).

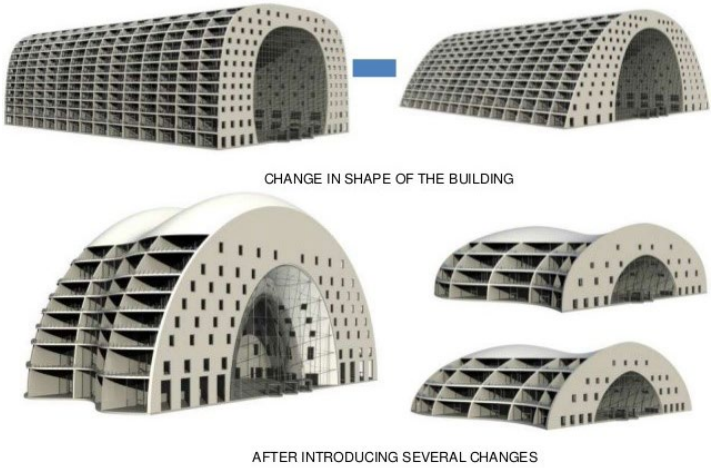


Figura 45 – Rotterdam Market Hall, por Riya Bagchi
Disponível em: <image.slidesharecdn.com/generativedesign-150825162101-lva1-app6891/95/generative-design-8-638.jpg?cb=1440519714>. Acesso em: 10 de agosto de 2017

A arquitetura paramétrica é definida por um conjunto de regras, lógicas e mecanismos matemáticos computacionais, transformando a forma indiretamente. Os valores, equações e configurações atribuídos a esses parâmetros são usados para descrever as relações com os objetos, as interdependências e o comportamento da transformação. Muitas vezes os projetos paramétricos exploram algorítmicos para descrever geometrias, podendo construir modelos e processos generativos variáveis sem nenhuma preocupação pragmática (KOLAREVIC, 2003).

No projeto do Terminal Internacional da Estação de Waterloo em Londres, 1993, feito por Nicholas Grimshaw (Figura 46 e Figura 47), percebe-se os benefícios conceituais e de desenvolvimento oferecidos pela abordagem paramétrica. Em vez de modelar cada treliça separadamente, criou-se um parâmetro genérico baseado nas regras do projeto relacionando o tamanho e curvatura individualmente. Atribuindo valores diferentes a dimensão, o modelo geométrico geral foi gerado automaticamente, ainda que sejam topologicamente idênticos (KOLAREVIC, 2003).

Percebe-se como os parâmetros são particularmente úteis para modelar uma geometria complexa. Essa hierarquia de interdependência, permite um detalhamento e refinamento interativo em todas etapas do projeto em desenvolvimento – da concepção

conceitual até sua construção – podendo até alterar o papel do arquiteto nos processos de construção, exigindo a rejeição de soluções fixas, voltado para exploração infinita de potencialidades variáveis. Para alcançar um resultado bem-sucedido, requer-se uma articulação cuidadosa e uma estratégia clara, de modo que a aplicação efetiva dos parâmetros seja suficiente e essencial (KOLAREVIC, 2003).

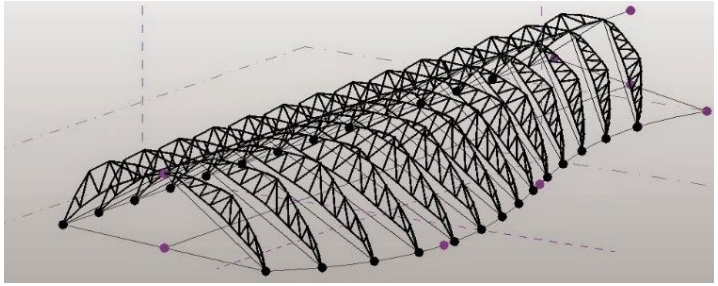
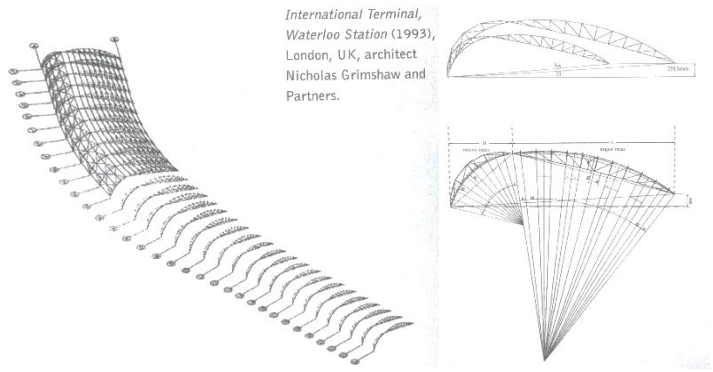


Figura 46 – Esquema estrutural no Dynamo, Terminal Waterloo

Disponível em: <1.bp.blogspot.com/-CXwH7wyw_5E/VH4G03tpCRI/AAAAAAAABZk/EgjcTqJLy0o/s1600/truss%2Bdynamo.JPG>. Acesso em: 28 de outubro de 2017



A manifestação da forma arquitetônica não se trata apenas de parâmetros com um mecanismo interno, mas trata-se também de um engajamento e respostas dinâmicas, através de campos de força externos. Essa manifestação leva em conta influências do entorno, fenômenos climáticos, questões socioeconômicas e impactos futuros, concebendo um produto altamente plástico e mutante, que evolui dinamicamente através de interações transformadoras (KOLAREVIC, 2003).

A cinemática e softwares de animação são explorados nesse caso, não para representação visual, mas para levantamento de forças (point clouds) e processos de generativos usando técnicas óticas. Segundo Lynn (Animate Form, 1999), conforme citado por Kolarevic (2003, p.19, tradução nossa) "enquanto a moção implica movimento e ação, a animação implica evolução sobre uma forma e isso modela suas forças", ou seja, as forças são atuantes desde o início da concepção do projeto, passando por sua evolução e movimento da forma.

Figura 47 – Figura Terminal Waterloo, 1993, Nicholas Grimshaw

Fonte: KOLAREVIC, B. (2003, p. 19)

O resultado consiste em um sistema esquemático comparado a um esqueleto – com "ossos" e "juntas" – podendo gerar uma variação da infraestrutura relacionado ao comportamento complexo do projeto. As variáveis desse processo vão desde a definição das propriedades físicas dos objetos, materiais, densidade de massa, elasticidade, inércia, rugosidade, passando pela especificação da força gravitacional, ventos, obstáculos e detecção de colisões até a simulação computacional dinâmica (KOLAREVIC, 2003).

Influências de campos gradientes são aplicados como analogias abstratas, implicando nos fenômenos ambientais e contextuais como o movimento de pedestres e veículos, vistas urbanas, configurações, padrões e intensidade de uso (Figura 48). No Terminal de Ônibus da Autoridade Portuária – projeto de Greg Lynn para um concurso de Nova Iorque em 1994 – foram geradas uma estrutura e uma cobertura para uma boa eficiência energética e criadas relações entre o pedestre, veículos e ônibus (Figura 50). Além do sistema "esquelético" esquemático, os processos dinâmicos exploram um universo formal de variações através de superfícies múltiplas isomórficas, onde os objetos interagem um com os outros em vez de apenas ocupar o espaço. O projeto como um todo estará sempre aberto a variações à medida em que campos de influência e relações novas são inseridas. As superfícies múltiplas isomórficas se relacionam com as influências movidos pela localidade (Figura 49), o que permite um mapeamento da evolução, intensidades e condições temporárias dinâmicas – diálogo entre espaço e informação – considerado um universo formal para novas possibilidades de interação geométrica e qualidade arquitetônica (KOLAREVIC, 2003).

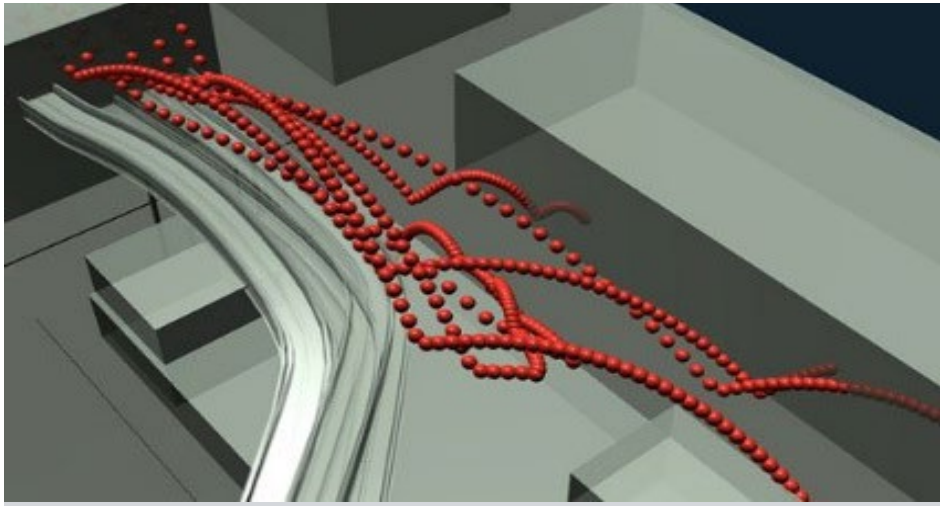


Figura 48 – Campos de força e dinamismo "Point clouds", Terminal de ônibus, 1994. Nova Iorque, Greg Lynn
Disponível em: <http://glform.com/wp-content/uploads/2012/02/PortAuthority_C1.jpg>. Acesso em: de 2017

Figura 49 – Simulação de atração como gotas d'água, 1999 Bubble BMW Pavilion
Fonte: KOLAREVIC, B. (2003, p.21)

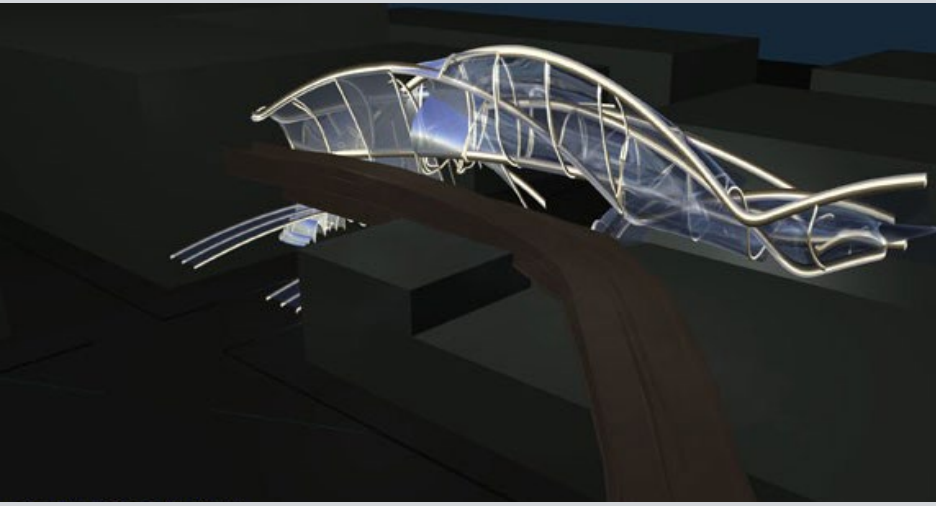


Figura 50 – Estrutura e superfície, Terminal de ônibus, 1994. Nova Iorque, Greg Lynn
Disponível em: <www.basilisk.com/P/portimajj/board3.jpeg>. Acesso em: de 2017

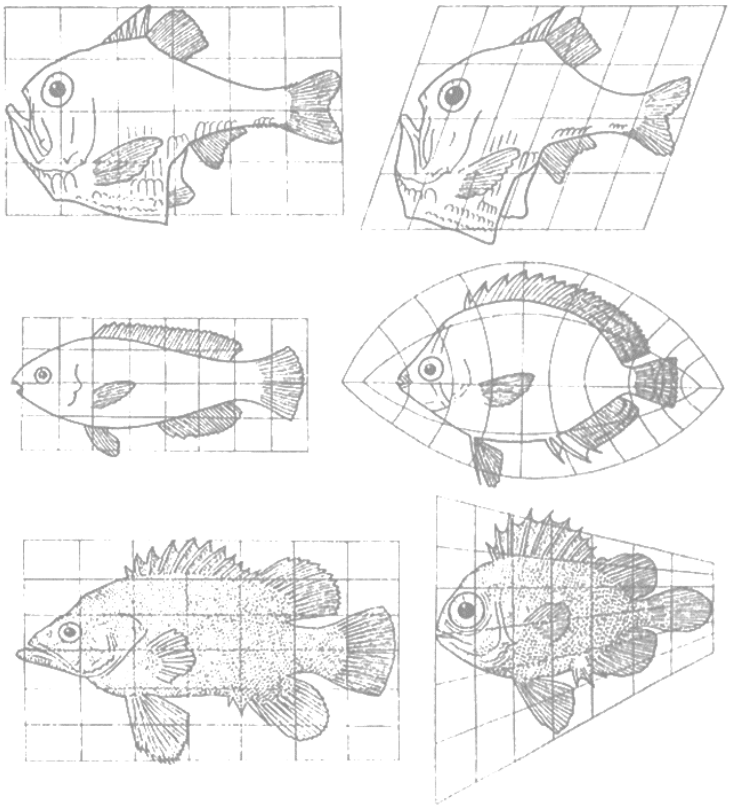


Figura 51 – Variações topológicas na natureza
Fonte: TERDIZIS, K. (2003, p. 23)

O repertório rico de modelagem digital a partir de softwares, permite explorar potencialidades formais de transformação geométrica. A transformação simples, topologicamente invariável como a torção e flexão são meios para criação de morfologias alternativas e geração de mutação genética (Figura 51 e Figura 52). O Üstra

Office Building projetado por Frank Gehry em 2001 e o Turning Torso projetado por Santiago Calatrava em 2005 (Figura 53) demonstram a variação morfológica de uma forma prismática simples (KOLAREVIC, 2003).

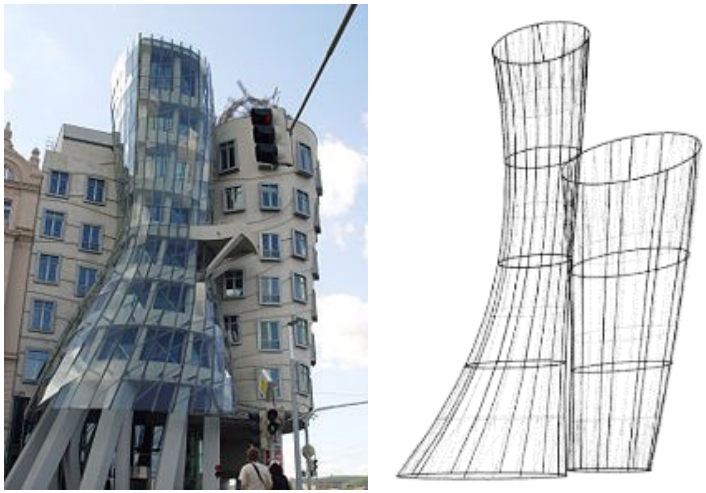


Figura 52 – Variação topológica do cilindro, Casa Dançante, 1996, Frank Gehry
Fonte: TERZIDIS, K. (2003, p.28)

A simplicidade da morfogênese se torna interessante para a arquitetura generativa, quando uma quarta dimensão temporal é adicionada aos processos de deformação. Os softwares calculam diferentes estados de um objeto e essa transformação, através da interpolação animada é codificada pelo tempo entre eles. A modelagem temporal, conhecida como morphing, onde formas dissimilares são mescladas para produzir formas híbridas, combinando atributos formais na transformação geométrica. Usando processos generativos em função de morfogênese, pode-se obter intencionalmente resultados imprevisíveis, caracterizados pela não-linearidade de mecanismos (MENGES, 2015).

Figura 53 – a. Üstra Office Building, 2001, Frank Gehry; **b.** Turning Torso, 2005, Santiago Calatrava
a. Disponível em: <www.uestra.de/fileadmin/_processed_/csm_Gehry-Tower_bearbeitet_01_509e050d5a.jpg>. Acesso em: de 2017; **b.** Disponível em: <images.adsttc.com/media/images/55c3/a0a8/e58e/ceb7/df00/00bd/large_jpg/5707450339_7729f6d21c_b.jpg?1438884001>. Acesso em: de 2017

Na arquitetura generativa a tarefa do arquiteto é definir a origem comum da forma e sua transformação, essa codificação genética conduz a família de objetos

similares, alcançando uma variedade através de diferentes processos de reprodução, dando ênfase na articulação lógica interna do projeto e da forma. A codificação pode ser usada para garantir melhor desempenho e eficiência energética em projetos com escala urbana, edifícios, paisagismo e infraestrutura. A simulação constante baseia-se nos desempenhos quantitativos e qualitativos orientados para levantar informações definidas acima da formulação lógica (KOLAREVIC, 2003; WEINSTOCK, 2004).

3.1.2 Arquitetura generativa

O novo contexto de projeto digital serve como um paradigma, abrangendo e compreendendo uma área ampla de múltiplos domínios, como a perspectiva da viabilidade, visando beneficiar os proprietários, empreendedores e incorporadores, as técnicas estruturais, térmicas, acústicas, contexto socioeconômico, espacial, cultural e ecológico. A contribuição digital para projetos arquitetônicos redefine expectativas da construção, seus processos e práticas. Na arquitetura generativa o papel do arquiteto extrapola função de "projetar a forma" mudando a ênfase para "projetar a transformação da forma", operando simultaneamente a interpretação e manipulação construtiva computacional (superfícies topológicas, geometrias não-euclidianas, modelos paramétricos, campos de força, morfogênese e mutação genética, datascapes, algorítmicos, etc.) (KOLAREVIC, 2003).

Uma característica que diferencia os modelos generativos dos outros modelos digitais é a utilização mínima de informações para executar uma geometria completa. Escrevendo alguns algorítmicos ou inserindo procedimentos paramétricos se pode gerar vários padrões de formas geométricas, uma cadeia proporcional de códigos articulados por diferentes parâmetros, algorítmicos, instancias, planos de proporção e dimensões geram circunstâncias diferentes. Criar códigos e parâmetros, são esforços para investimento intelectual, tempo e dinheiro na expectativa de uma futura recompensa (KOLAREVIC, 2003).

No passado, arquitetos eram limitados a derivações projetuais complexas relativamente baixas, as formas complexas demandavam muito tempo e dedicação, se tornariam caras em dias de CAD. Agora, com softwares sofisticados, computação de fácil acesso e barata, é possível gerar derivações de grande complexidade. A qualidade das derivações é feita por estudos e análises que têm efeito profundo na metodologia e cada vez mais se tornam importantes na concepção projetual (KOLAREVIC, 2003).

Atualmente o design generativo não se limita ao grandes escritórios e construtores (digital master builders). O avanço da tecnologia computacional permite um acesso facilitado a novas práticas digitais. O interesse não está em começar um projeto e sua construção, mas sobre como esse processo digital gera novas ideias e desenvolve reflexões sobre a geometria e sua materialidade. Esse processo trabalha a novas responsabilidades do arquiteto – que foi deixada muitas vezes de lado ao se tratar da construção – para um comportamento mais participativo e competente (KOLAREVIC, 2003).

Gerenciar riscos, se envolver na busca de informações, colaborar na reflexão educacional são qualidades fundamentais do arquiteto, pois para determinar algorítmicos e parâmetros no mecanismo complexo de processos generativos, é preciso saber trabalhar a inovação social. Embora o estilo estético se configure por geometrias expressivamente plásticas, precisa-se voltar para funcionalidade – arquitetura para as pessoas – e compartilhar responsabilidades e interpretar o processo completo das práticas digitais (KOLAREVIC, 2003).

Se começa com pessoas. As articulações, novas teorias e práticas só fazem sentido quando a produção e processos generativos tem como princípio o benefício e mudanças positivas em relação as pessoas. A aceitação, a sinergia colaborativa da indústria, a superação do receio em compartilhar responsabilidades está diretamente ligada a inovação social, educacional e tecnológica. Assim como o World Wide Web – ou conhecido como "WWW" (rede mundial de computadores) – conecta as pessoas na Era da Informação, assim também os processos generativos devem conectar as pessoas a uma boa arquitetura (KOLAREVIC, 2003).

3.2 Estratégias e desafios

Os conteúdos teóricos e discussões complexas sobre o pensamento processual do arquiteto se reconstituem continuamente, tornando-se uma discussão auto reflexiva. O ponto de vista do arquiteto sobre a forma não é mais a representação direta convencional, mas sim um resultado de reações e ações criados implicitamente, não se tratando de criação e geração automática para determinação projetual. A capacidade e habilidade da "busca da forma" nesse processo é um cuidado essencial pois não se trata somente de gerar formas estéticas e expressivamente complexas, curvilíneas e bolhas, mas entender em termos formais quais os objetivos podem ser alcançados digitalmente, novas fundamentações de produção, fabricação e tecnologias, evitando frustrações e surpresas desagradáveis (KOLAREVIC, 2003).

3.2.1 Fabricação digital: do digital ao físico

A geometria euclidiana era representada graficamente com auxílio de instrumentos, como um compasso, necessário para desenhar um círculo no papel. Hoje a geometria não euclidiana e decisões projetuais complexas precisam de instrumentos que auxiliam a produção e fabricação da mesma forma. A larga disponibilidade de softwares e processos de transformação e geração da forma levou a uma evolução tecnológica digital através de máquinas para escaneamento e fabricação digital, uma ligação direta do modelo digital com o objeto físico trabalhados numa interação "bi-direcional" (KOLAREVIC, 2003).

A máquina com corte a laser, ou corte por jato de água (water-jet) é usada para técnicas de fabricação em duas dimensões, incluindo estratégias de cortes contornados, triangulação ou malha poligonal. Apesar do alcance profundo do corte – podendo ultrapassar 38cm em materiais rígidos como titânio – há desafios em escolher e interpretar a geometria tridimensional de modo planificado sem perder as qualidades originais do modelo (KOLAREVIC, 2003).

Os cortes contornados são conceitualmente idênticos a modelagem lofting e uso de curvas NURBS no qual o resultado da forma é definido por uma sequência de seções transversais e longitudinais planas – sequência

"UV", gerando uma teia de perfis estruturais como "costelas" ligadas a uma "coluna vertebral" (Figura 54). As sequências das seções são muitas vezes paralelas entre si, por isso montados em intervalos equidistantes. Esses perfis são gerados automaticamente pelo software de modelagem e articulados diretamente com componentes estruturais, na qual são manipulados em uma abstração para análise de desempenho e gerando definições precisas de todos os membros. A produção das superfícies e painéis que fazem o papel da vedação, usa-se a triangulação ou malha poligonal, que por meio da interpolação de curvas NURBS – superfície regrada (ruled surface) – podem ser planificadas em uma prancha, gerando peças e cortadas por máquinas CNC no material que for adequado (KOLAREVIC, 2003).

A fabricação tridimensional se divide em duas categorias: a subtração e a adição. A fabricação por subtração usa máquinas como a CNC (comando numérico computadorizado) que oferece um sistema computadorizado de alto controle e instruções para o mapeamento dos recortes, taxa de alimentação, unidade de fuso, fornecimento de refrigeração e outros parâmetros, possibilitando o uso de materiais frágeis como o vidro. A fabricação aditiva usa máquinas como as impressoras 3D e processos de adição material em camadas, possibilitando estudos e prototipagem rápida. Por serem máquinas de menor porte, há uma limitação no tamanho da forma (KOLAREVIC, 2003).

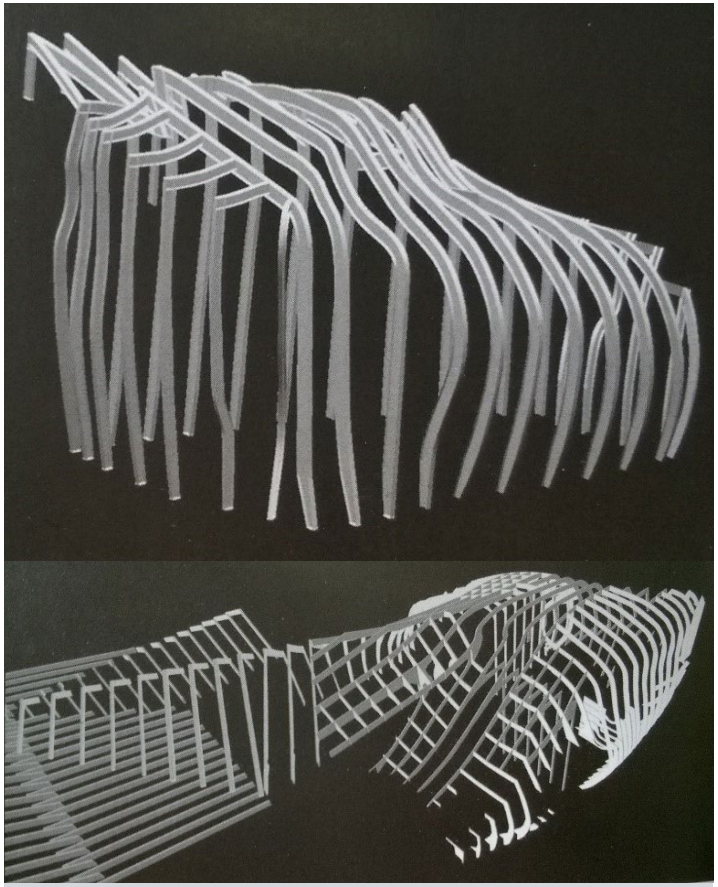


Figura 54 – Perfis estruturais preparadas para produção digital, Experience Music Project, 2000, Frank Gehry
Fonte: KOLAREVIC, B. (2003, p. 42)

A fabricação formativa, usa materiais que comportam alta elasticidade e envergadura (dobra), principalmente materiais metálicos como o aço, sendo manipulados pela CNC do tipo máquina rolante, justificando a aproximação de perfis arredondados. A mescla de todos esses tipos de fabricação digital e uso de materiais distintos, consiste em máquinas específicas e "robôs" que são criados para fazer a montagem final usando o banco de dados extraídos do modelo geométrico tridimensional (KOLAREVIC, 2003).

No caso de peças e painéis fabricados digitalmente, porém montadas e construídas com técnicas convencionais: opta-se pelo uso de superfícies regradas (ruled surface), gerando uma geometria de fácil manipulação e foi uma estratégia na arquitetura contemporânea antes da fabricação digital em massa. A construção convencional se baseia no uso de materiais rígidos e pesados como pedras, tijolos e concreto, logo sua estrutura apresenta elementos robustos para dar sustentação adequada (Figura 56). A análise técnica é feita por um gráfico de calor – análise gaussiana (gaussian analisys) onde cor azul indica curvatura mínima, verde indica curvatura média e vermelho indica curvatura máxima (Figura 55). Essa análise determina e controla a curvatura da superfície em função do custo e a facilidade de fabricação particularmente complexa (KOLAREVIC, 2003).

Figura 55 – Análise de superfície, 1999 Bubble BMW Pavilion.
Disponível em: <www.franken-architekten.de/templates/cache/043f0e449ca4f87407ac56ceadb30cbc_156_117.jpg>. Acesso em: 05 de novembro de 2017

Figura 56 – Geometria não-euclidiana, Igreja de Atlanta, 1958, Uruguai, Eladio Dieste
Disponível em: <www.bravepraxis.com/images/3480.jpg>. Acesso em: 05 de novembro de 2017

Figura 57 – Sistemas generativo usados para gerar desenho urbano
Disponível em: <images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/61yis9iE62L.jpg>. Acesso em: 20 de novembro de 2017

3.2.2 Estrutura, superfície e a nova materialidade

O objetivo da arquitetura desenvolvida digitalmente, principalmente por processos generativos não se resume em expressar novas qualidades estéticas e geometrias complexas, mas em desenvolver novas técnicas construtivas e técnicas de materialidade. A ideia no processo generativo é explorar formas geométricas que mesclem estrutura e superfície em um único elemento – estrutura monocoque – criando geometrias autoportantes, absorvendo toda ou a maioria da tensão, diferente da lógica modernista, onde a fachada e planta era livre da estrutura. (BECHTHOLD 2008; KOLAREVIC, 2003)

A reflexão sobre o papel da superfície extrapola a relação entre vedação e estrutura, pois envolve sistemas como tetos, forros, pisos e esquadrias. Essa justaposição dos sistemas provoca um potencial efeito visual recíproco, repercussões distintas relacionadas a viabilidade e da qualidade espacial. A articulação das técnicas exige uma estratégia em dirigir geometrias baseadas em curvas NURBS, possibilitando atribuições como a intenção material – composição e resistência – considerações estruturais e análise técnica complexa, interferindo diretamente no custo total do projeto. Esse controle ordena (do menor para o maior) a racionalização da geometria e seus componentes de acordo com o custo, formas retilíneas, curvas duplas ou dobras radiais e outras complexidades de modelagem e informação (BECHTHOLD 2008; KOLAREVIC, 2003).

A produção está diretamente ligada por um relacionamento recíproco entre a geometria e a materialidade. Geometrias novas e complexas requerem

novos materiais e novos materiais possibilitam novas geometrias. Essa relação entre estrutura e superfície por exemplo, possibilita estudos de composições e resistências, propriedades dinâmicas e um repertório de efeitos visuais. Materiais fluidos que podem ser manipulados em diversos estados físicos, são usados há mais tempo na indústria automobilística, construção naval e fuselagem aeroespacial para detalhes precisos e desempenhos específicos, são experimentados em aplicações arquitetônicas por processos digitais paramétricos e generativos (KOLAREVIC, 2003).

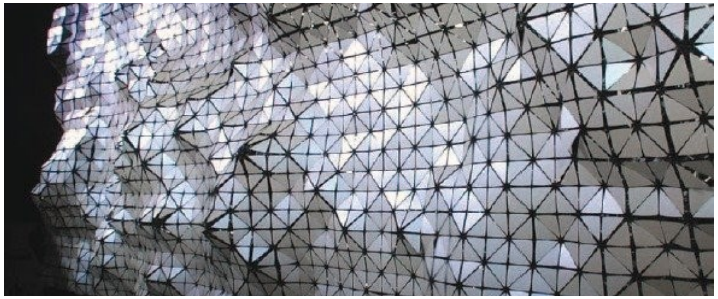


Figura 58 – Material inteligente, "Smart Material" Aegis Hyposurface, 1999, Mark Goulthorpe
Disponível em: < fractalesyarquitectura.files.wordpress.com/2013/04/mark-goulthorpe-aegis-hyposurface.jpg?w=599&h=478>. Acesso em: 20 de novembro de 2017

Combinações químicas e ligas entre materiais distintos resultam no aumento de performance e propriedades se comparado a componentes e materiais originais isolados. Espumas, borrachas, plásticos e compósitos, que até recentemente eram usados raras vezes na construção, começam a aparecer com mais frequência. Esses materiais são desenvolvidos para aceitarem formas autoportantes e ao mesmo tempo são flexíveis para serem usados na fabricação digital e estabelecer uma boa relação com o projeto digital (corte a laser, water jet, CNC ou na impressora 3D). Materiais como plásticos que se reconstituem ao serem tensionados, vidros inteligentes que correspondem a iluminação natural e fenômenos climáticos, fibra de vidro antibacteriano, reforçado para uso estrutural são alguns exemplos que surgiram com e exploração e experimentos (KOLAREVIC, 2003).

A tecnologia da automação cria vários ambientes de interação entre usuário e a dinâmica da superfície. Através de sensores, dispositivos eletromecânicos e estruturas hibridas não se cria apenas materiais "inteligentes", mas materiais que podem ser programados, propriedades como volume, opacidade, cor, textura, etc (Figura 58). Os materiais ativos carregam um banco de dados, abrindo espaço para o arquiteto articular essas informações ao mesmo

tempo em que gera os mecanismos para conceber a forma geométrica, seja internamente ou externamente (FOX, 2016; KOLAREVIC, 2003).

Geometrias usadas anteriormente na arquitetura modernista, a pré-fabricação, modulação e ritmo têm sido paradigma dedicado a reduzir custo e aumentar o rendimento, mas hoje, através dos processos digitais a personalização e produção em massa não são mais necessários. (JABI, 2013) Segundo Bernard Cache, conforme citado por Kolarevic (2003, p.53, tradução nossa) "os objetos não são mais projetados, mas calculados", a variedade não compromete a eficiência e economia da produção (o custo para produzir 1.000 peças distintas na CNC é o mesmo que produzir 1.000 semelhantes) podendo corresponder a diferentes condições locais, climas, estilos, culturas e programa de necessidades (BECHTHOLD 2008; KOLAREVIC, 2003).

3.2.3 Estudos de caso

A realização de pesquisas sobre projetos públicos usando parametrização e algoritmos, tem objetivo agregar conhecimento e oferecer referências, seja para métodos construtivos, funcionais, de materialidade ou modo de programar a forma. Esse estudo busca prever aspectos positivos e negativos na realização do projeto proposto (Capítulo 5).

O Lincoln Park Zoo South Pond é um projeto de um pavilhão compondo um calçadão público (Figura 59), com intuito de oferecer melhoras na hidrografia dos lagos nas proximidades, compor melhor a paisagem, além de garantir melhor acessibilidade e abrigo. A instalação permite usos flexíveis por trabalhar uma implantação livre criando uma coexistência entre a natureza e ambientes urbanos.

Figura 59 – Aula ao ar livre sendo realizado no pavilhão, por Studiogang, 2010
Disponível em: <archdaily.com/83676/lincoln-park-zoo-south-pond-studio-gang-architects> Acesso em: 26 de maio de 2018

Sua metodologia construtiva é baseado no casco de tartaruga, elaborando uma modelagem paramétrica permitindo uma estrutura laminada pré-fabricada e painéis de fibra de vidro criando uma superfície geral única (Figura 60).

Figura 60 – Montagem da estrutura pré-fabricada e instalação de painéis, por Studiogang, 2010
Disponível em: <studiogang.com/project/nature-boardwalk-at-lincoln-park-zoo> Acesso em: 26 de maio de 2018

Mesmo sem sistemas generativos o projeto usa meios digitais para projetar e fabricar, chamando atenção a versatilidade e qualidades do espaço: acomodando casamentos, seções de fotos e apresentações artísticas.

Em contra partida, podemos citar como exemplo o projeto do pavilhão ArboSkin (Figura 61) que busca a forma em sistemas generativos, logo compõe uma equipe multidisciplinar que envolve profissionais da área de ciência, arquitetura, design de produto, engenheiros e especialistas em meio ambiente. Fazem utilização de métodos e processos digitais tanto para concepção do projeto como para fabricação dos materiais renováveis e montagem do projeto (Figura 62 e Figura 63).

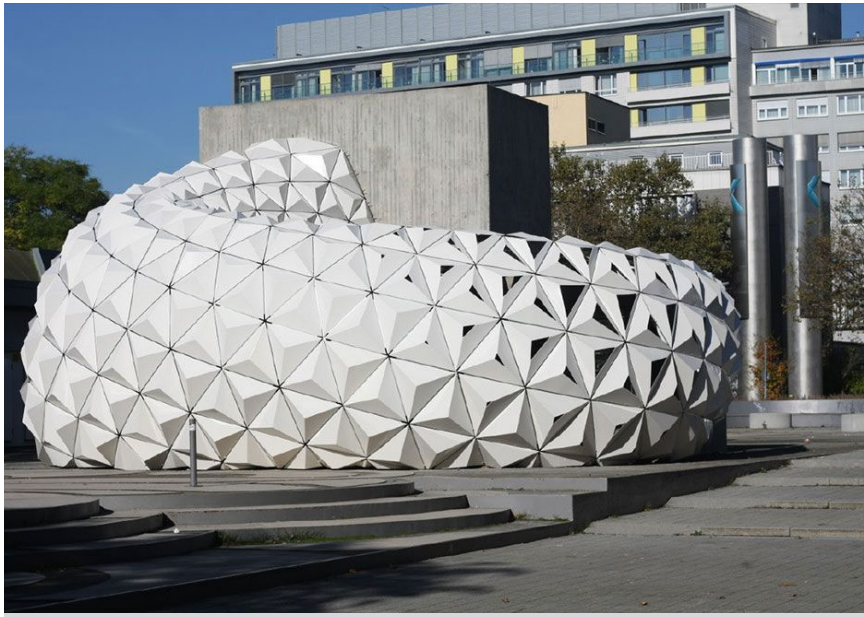


Figura 61 – Fachada do pavilhão ArboSkin, por ITKE, 2013
Disponível em: <rch2o.com/arboskin-pavilion-institute-of-building-structures-and-structural-design-itke> Acesso em: 26 de maio de 2018

Os princípios para programar a forma considerou a criação de módulos básicos para fabricação e montagem, onde o material em excesso cortado pudesse retornar ao processo; embora possibilitar aberturas, a geometria dos módulos operam como estrutura monocoque – fachada de carga – e uma curvatura deixando o pavilhão impermeável.

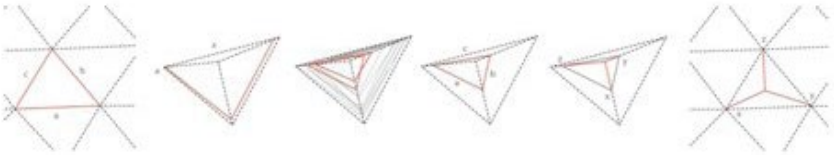


Figura 62 – Diagrama do processo de fabricação dos módulos Disponível em: <rch2o com/arboskin-pavilion-institute-ofbuilding-structures-and-structural-design-itke> Acesso em: 26 de maio de 2018

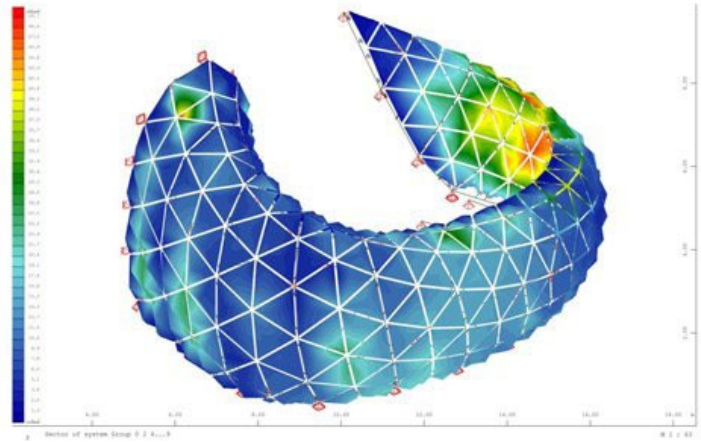


Figura 63 – Montagem da estrutura pré-fabricada e instalação de painéis, por Studiogang, 2010

Disponível em: <studiogang.com/project/nature-boardwalk-at-lincoln-park-zoo> Acesso em: 26 de maio de 2018

4

4 ESTUDO EMPÍRICO SOBRE DESIGN PARAMÉTRICO E GENERATIVO

Paralelo a fundamentação teórica, houve a participação do curso de extensão "Sistema Generativo e Modelagem Paramétrica", administrada pelo professor Jarryer de Martino, na UFES. O curso durou 5 semanas, entre outubro e novembro de 2017, totalizando uma carga horária de 20 horas.

4.1 Objetivo

O curso teve como objetivo apresentar a teoria e conteúdos relacionados a sistemas generativo, o uso de parâmetros e algorítmicos, além da relação com a fabricação digital. Para realização prática e experimentos projetuais foi utilizado o Rhinoceros 3D , desenvolvido e distribuído por Robert McNeel & Associates – software de modelagem tridimensional baseado em NURBS – os mecanismos paramétricos e modelagem algorítmica foi usado o plugin Grasshopper , desenvolvido por David Rutten, para a fabricação digital foi utilizado impressora 3D Sethi3d AiP A3.

4.2 Processo

A divisão dos conteúdos foi administrada da seguinte forma: na primeira semana se apresentou a base teórica relacionada a sistemas generativos, explicando os processos desde a criação até o desenvolvimento do projeto. Investigou-se a fronteira entre a teoria e prática no projeto computacional na arquitetura, urbanismo e design, além da influência das tecnologias digitais na representação física, a fabricação digital e a prototipagem rápida. Ainda foram abordadas questões sobre como a utilização computacional na criação de elementos arquitetônicos e espaços interativos, responsivos e sobre recursos como a realidade virtual.

Durante a segunda e terceira semana, se apresentou a interface do software e a integração com o plugin, foram realizados exercícios variados para praticar o mecanismo paramétrico e generativo usando algorítmicos e ferramentas de modelagem como NURBS. Finalizando os exercícios foi estipulado um trabalho final, onde seria desenvolvido um projeto aplicando os conhecimentos ensinados.

Na quarta semana teve orientação e esclarecimento de dúvidas sobre o trabalho, além de ajustar os modelos para possível impressão 3D (Figura

65). A quinta e última semana se finalizaram os trabalhos e em seguida foram apresentados. Os trabalhos são divulgados no site do professor Jarryer, disponível em: jarryerwksp.wixsite.com/wksp/galeria

4.3 Resultados

Os exercícios começaram com a implantação de operações matemáticas, domínio e segmento, mapeamento gráfico e o uso de condicionantes e fórmulas (lógicas matemáticas).

Para realização do trabalho final, partiu-se de uma forma conceitual fazendo referência a anêmona-do-mar carpete (Stichodactyla haddoni) e resultando numa geometria circular ondulada, similar ao "círculo unitário" (unit circle), contemplado na trigonometria (Figura 64). Dessa circunferência trigonométrica, podem ser extraídos informações como uma onda senoidal obedecendo a função seno e cosseno.

Essa geometria permite trabalhar ao mesmo tempo a estrutura, vedação e cobertura usando poucos parâmetros, proporcionando infinitas possibilidades e variações da forma.

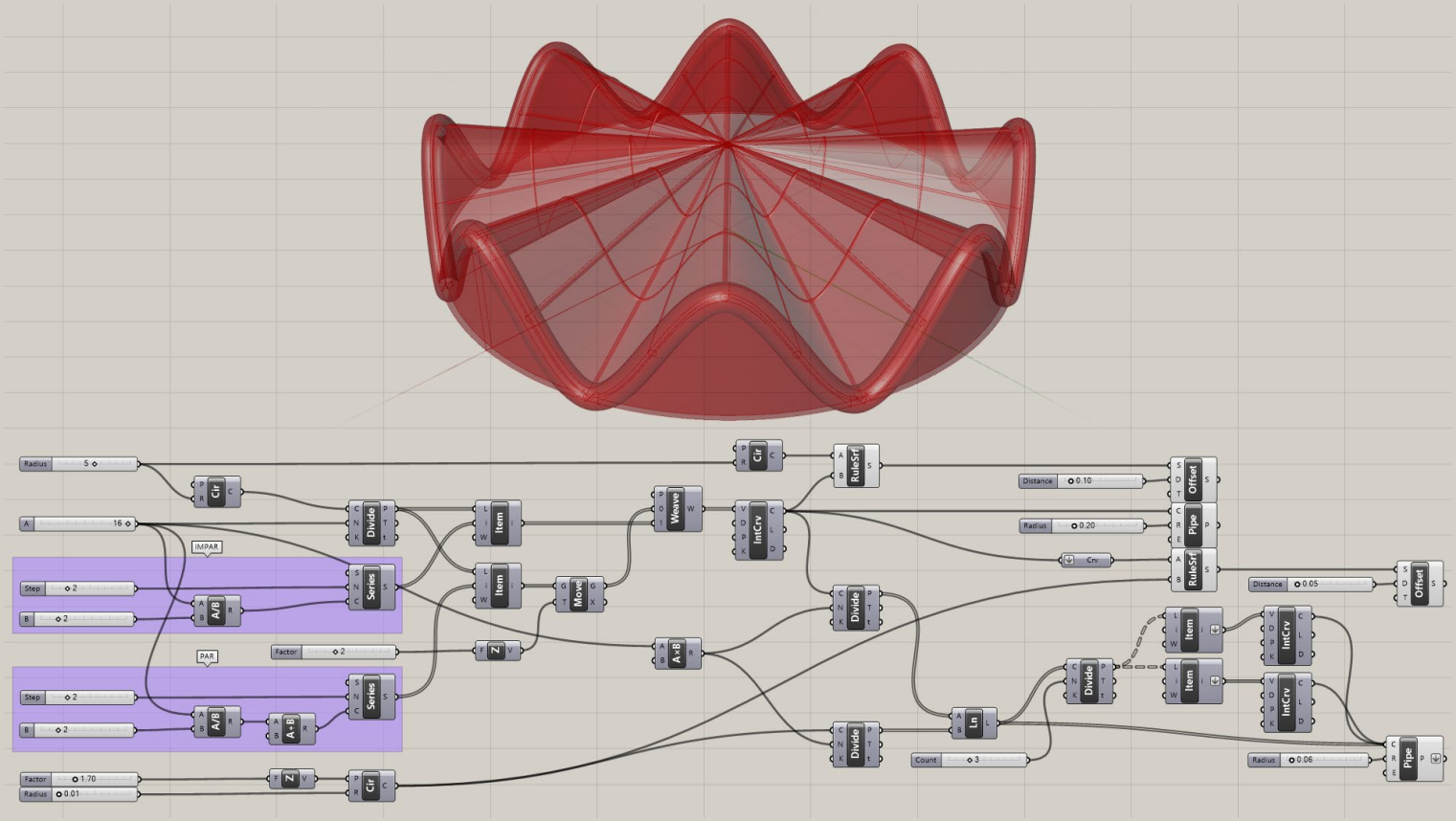


Figura 64 – Código criado no Grasshopper para a parametrização projetual e prepara para receber algoritmos genéticos

Fonte: Autor

Figura 65 – Prototipagem e impressão 3D do modelo, combinando parâmetros distintos

Foto: Jarryer Andrade de Martino, 18 de novembro de 2017. DAU|UFES, adaptado pelo autor

Figura 66 – Perspectiva renderizada do projeto
Fonte: Acervo pessoal

5

5 PROPOSIÇÃO PROJETUAL

A investigação empírica, tem como objetivo desenvolver os conceitos e fundamentos teóricos explorados anteriormente, buscando extrair as potencialidades e se houver, as incompetências. O ensaio projetual envolverá algoritmos e sistemas generativos na arquitetura com intuito de desenvolver estruturas e envoltórias para pavilhões e espaços públicos, podendo ampliar-se na aplicação em fachadas de edifícios.

Compreende-se o projeto como elemento formador do conhecimento, estimulando processos de "reflexão-em-ação" (SCHON, 2000). Será elaborada uma reflexão crítica sobre o processo realizado, estabelecendo algoritmos e parâmetros partindo de variáveis relacionados a luz, sombreamento, integração x privacidade, visibilidade, flexibilidade e estrutura. Esse capítulo integra informações e condicionantes que determinam aspectos metodológicos para o desenvolvimento do estudo preliminar e análise dos resultados.

Figura 67 – Vista aérea de Vila Velha, aos fundos Vitória e Monte Mestre Álvaro. Autor: Desconhecido.
Disponível em: <janeladohorizonte.com.br/2015/08/5-motivos-para-visitar-o-espirito-santo.html>. Acesso em: 19 de maio de 2018

Para atender as intenções das variáveis almejadas no projeto, optou-se por uma área de estudo onde o levantamento de dados fosse suficiente para realizar todas as análises dos sistemas generativos. O terreno escolhido fica localizado no bairro Ilha dos Ayres em Vila Velha, encontrando-se em um contexto flexível apto a novas diretrizes, seja para mobilidade, usos e abrigar novas qualidades de espaço. A decisão também dá-se pela crítica de espaços públicos e amplos mal aproveitados, em meio a vias importantes para o fluxo do município, que conecta a descida da Terceira Ponte (Ponte Deputado Darcy Castello de Mendonça) ao Polo de Moda da Glória. Insere-se em um contexto onde o uso do solo é principalmente residencial e abriga em suas proximidades instituições e projetos de assistência social, encontra-se brechas para insegurança, espaços ociosos e deficiência na atenção ao pedestre dentro da cidade.

5.1 O contexto da área de estudo

O município de Vila Velha – escolhido para desenvolvimento do projeto – faz parte da Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV) fazendo limites com os municípios de Cariacica, Guarapari, Viana e Vitória, através da Baía de Vitória (Figura 68). Com uma população de 486.388, é o segundo maior da RMGV no quesito população, ficando atrás somente do município da Serra com 502.618. Com área territorial de 209,965km² (IBGE, 2017) comporta cinco Regiões Administrativas de acordo com a Lei Municipal nº 4707/2008.

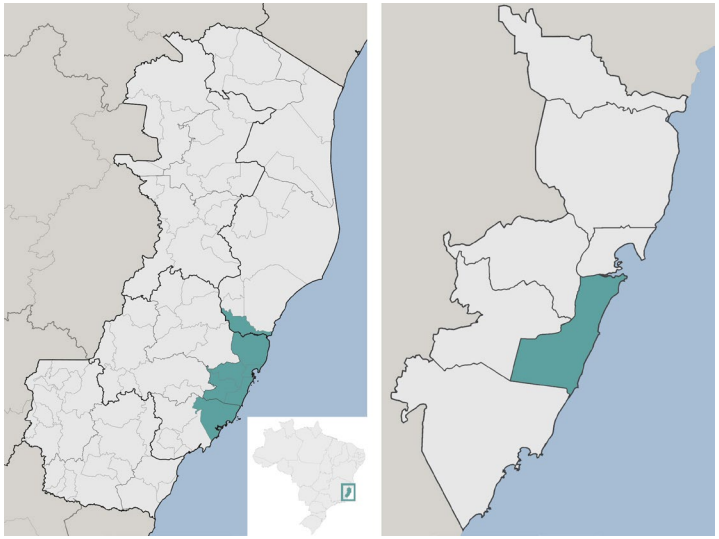


Figura 68 – Mapa da Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV)
Disponível em: <web.fflch.usp.br/centrodametropole/257>
Fonte: Autor, adaptado

Figura 69 – Mapa da localização do terreno e contexto urbano
Fonte: Autor, adaptado de Google Earth Pro, imagens de 2017

A área de estudo, situa-se na Região I (Figura 69), no bairro de Ilha dos Ayres e Cristóvão Colombo. Trata-se de um canteiro central ocioso, amplo e largo, formado entre a Avenida Gonçalves Lêdo que se estende até o bairro Divino Espírito Santo. Tem dimensões consideráveis para comportar implantações arquitetônicas, possuindo aproximadamente 8.279m² com 350m de extensão e uma largura cerca de 42m.

O canteiro é resultado das obras de pavimentação das novas vias previstas do Projeto Corredor Bigossi (Figura 70), inaugurado pela Prefeitura Municipal de Vila Velha em parceria com o Governo do Estado (DER-ES). O Projeto Corredor Bigossi tem como premissa otimizar a mobilidade urbana por possuir grande proximidade entre a Avenida Carlos Lindemberg e a Terceira Ponte, desafogando o trânsito na região do Centro e melhorar a qualidade de vida da população que utiliza o terreno, investindo com infraestrutura para fechamento do canal e mecanismos para drenagem de águas pluviais e fluviais em suas galerias subterrâneas (PREFEITURA DE VILA VELHA, 2013 e IJSN, 2010).

Apesar da proximidade e conexão entre vias de hierarquia viária elevada, shoppings, instituições, terminal rodoviário e hospitais, o Projeto Corredor Bigossi operou com grande número de desapropriações, acarretando em complexidades de alto nível e dificuldades no processo devido imóveis de tipologias baixas e sem regularização. As obras ainda não estão completamente finalizadas de acordo com o projeto original, as vias teriam um corredor exclusivo de BRT com estação de embarque e desembarque (Figura 71) além de um novo ponto para o Bike GV (MARTINS; OLIVEIRA E THOMAZ, 2009).

Figura 70 – Proposta para o Porjeto Corredor Bigossi
Disponível em: <vilavelha.es.gov.br/paginas/desenvolvimento-urbano-centro-e-canal-bigossi>

Figura 71 – Via com pista exclusiva de BRT com estação de embarque e desembarque.
Disponível em: <vilavelha.es.gov.br/paginas/desenvolvimento-urbano-centro-e-canal-bigossi>

O contexto no qual o terreno se encontra, instiga o desafio em criar novos espaços públicos, funcionais e ambientalmente confortáveis. Os pontos nodais, as vias de fluxo intenso, a travessia e permanência de pedestres são itens a serem considerados para assimilar as variáveis expostas anteriormente dentro de sistemas generativos e algoritmos, além de buscar um partido que permita instalação temporária do projeto (montável e desmontável) mantendo a flexibilidade das intenções do projeto original.

O levantamento de dados do terreno se obteve através de mapeamentos, imagens, fotografias e visitas locais, observando fluxos e usos em dias da semana e horários distintos. Notou-se que o local é utilizado de forma mista pela população abrangendo todas as faixas etárias: Nos dias úteis da semana, percebe-se um fluxo intenso de veículos, próprios moradores locais, pais levando filhos às escolas próximas e ciclistas (Figura 72 - Figura 74), principalmente nos horários de pico; de manhã se aproveita também para atividades como caminhadas e passeio com animal de estimação (Figura 75); ao final da tarde e finais de semana normalmente, utiliza-se por jovens para jogar futebol (Figura 76 - Figura 78), às vezes até depois de escurecer; nas manhãs dos finais de semanas é comum ver passeio de famílias, crianças e jovens soltando pipas (Figura 79). Com essas observações, pode-se fazer uma breve comparação entre pedestre e veículos onde, a quantidade de pedestres é bem inferior aos de veículos, apesar de fazer parte do cenário frequentemente. O terreno se distribui em dois trechos, dividido pela Rua Termiminos, determinando as distinções de usos e fluxos.

Figura 72 – Ciclistas e pais levando seu filhos à escola de manhã, ao fundo pessoas usufruem do terreno para caminhadas

Foto: Autor, 01 de março de 2018

Figura 73 – Movimentação de ciclistas e pedestres, ao fundo alunos vindo em direção da escola

Foto: Autor, 01 de março de 2018

Figura 74 – Movimentação na rua em frente a escola UMEF Irma Feliciana Garcia de manhã

Foto: Autor, 01 de março de 2018

Figura 75 – Movimentação de ciclistas e pedestres, ao fundo homem passeando com cachorro (ampliação)

Foto: Autor, 01 de março de 2018

Figura 76 – Guias de calçada e tijolo de cimento usado para demarcar a "trave" do gol para jogar futebol, sem barreiras para proteção

Foto: Autor, 28 de abril de 2018

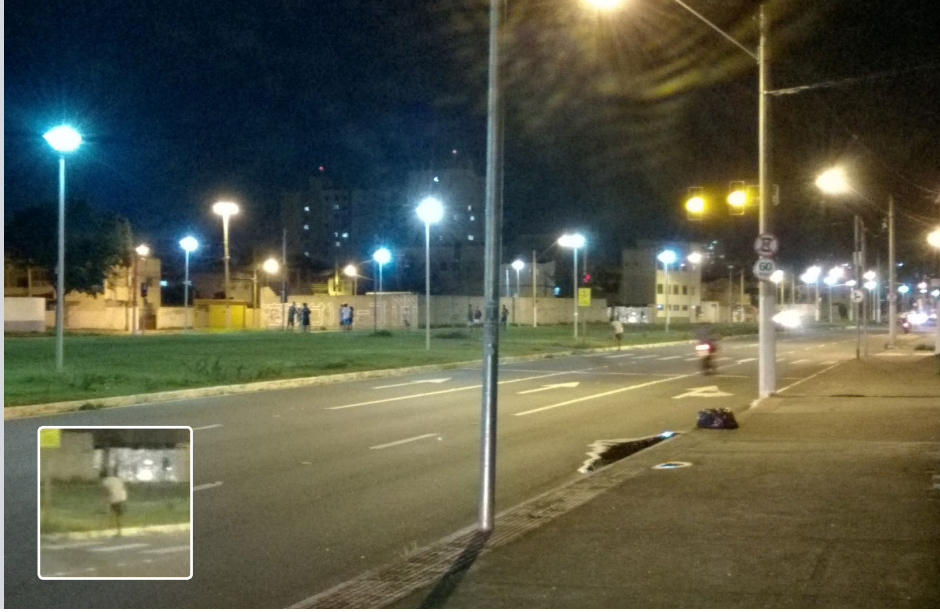


Figura 77 – Adolescentes e jovens jogando bola no terreno, cerca de 21:00 da noite, menino busca bola no meio da rua com sinal aberto (ampliação)

Foto: Autor, 28 de abril de 2018

Figura 78 – Adolescentes e jovens jogando bola no terreno a noite em meio ao fluxo de veículos constante

Foto: Autor: 28 de abril de 2018

Figura 79 – Adolescentes soltando pipa, bicicleta jogada sem disponibilidade de bicicletário

Foto: Lays Santos Merscher, 06 de maio de 2018

Como as vias são recentes, o comercio ainda não se desenvolveu apesar de expor muitas fachadas para a via com fluxo elevado – um fator estimulante para o crescimento de uso comercial devido a facilidade de divulgação – o uso do solo se define principalmente com edificações residenciais, que possuem entre 3 e 4 pavimentos em média. A abertura das vias também possibilitou visuais para o Convento da Penha que pretende ser explorado na proposta projetual.

5.1.1 Análise do entorno

Os mapeamentos e diagramas a seguir, são representações gráficas das análises com intuito de identificar os elementos que definem o contexto da área de estudo compreendendo suas vantagens e desvantagens. O exercício de análise é presente no início da elaboração do conceito – principalmente em projeto convencionais – com objetivo em apresentar ao arquiteto uma breve noção das condicionantes e viabilidade. No caso de sistemas generativos, serve também para verificação final sobre o resultado, evitando erros nos parâmetros e algoritmos.

O mapa a seguir (Figura 80) representa a análise de hierarquia viária e sentido do fluxo de veículos, destacando como a conexão das novas vias entre os bairros interfere na mobilidade local mesmo sem finalizar totalmente as obras do projeto. Nas extremidades dessa conexão, percebe-se cruzamento de várias modalidades acarretando em pontos nodais (Figura 81).

Figura 80 – Mapa de hierarquia viária, sentido das vias e pontos nodais
Fonte: Autor, baseado nas análises locais

Figura 81 – Pontos nodais, demarcados no mapa anterior
Fonte: Google Street View

O modal de mobilidade cicloviário adere a mesma intenção de conexão, se estendendo desde proximidades da descida da Terceira Ponte até a Avenida Carlos Lindemberg (Figura 82).

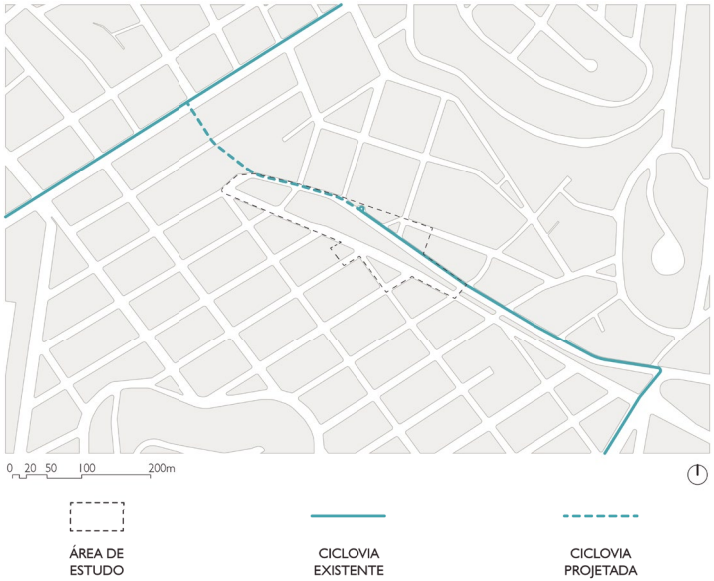


Figura 82 – Mapa de ciclovias
Fonte: Autor, baseado em <vilavelha.es.gov.br/paginas/desenvolvimento-urbano-centro-e-canal-bigossi>

Figura 83 – Mapa de uso do solo e pontos âncoras e de apoios
Fonte: Autor, baseado nas análises locais

A intensidade do fluxo não só se justifica pelo motivo simples de passagem, mas também devido aos empreendimentos âncoras e de apoio do local, no mapa temos os seguintes pontos (Figura 83): 1 - Polo de Moda da Glória; 2 - Pronto Atendimento da Glória; 3 - Bancos; 4 - Dadalto; 5 - Comarella Gourmet; 6 - APADD (Associação de Prevenção e Assistência aos Dependentes de Drogas); 7 - Unidade Municipal de Educação Fundamental; 8 - Unidade Municipal de Educação Infantil Maria Cristina; 9 - Centro POP Vila Velha (População em situação de Rua); 10 - Centro Educacional Charles Darwin e Universidade Estácio de Sá; 11 - Shopping Praia da Costa e Hospital Vila Velha; 12 - Shopping Vila Velha e Universidade de Vila Velha.

Os pontos mapeados justificam e interferem na forma em que os pedestres e ciclistas usam o terreno e como buscam se justapor no contexto onde os veículos dominam a maior porcentagem de espaço público (Figura 84). No mapa a atividade 1 está relacionada à uso esportivo; 2 à passagem; 3 à uso de crianças para brincar, por ser um espaço mais seguro; 4 à passeio com animais; e 5 ao uso de atividades físicas como a caminhada.

O mapeamento das alturas das edificações normalmente está vinculado ao desenvolvimento do local, preço do terreno e índices urbanísticos. Esse diagrama (Figura 85) auxilia na forma de como programar o estudo da volumetria, evitando gerar formas fora do contexto do entorno, pois o terreno não tem restrições de quantidade de gabarito máximo de acordo com o último PDM aprovado de Vila Velha.

Buscando um implantação mais dinâmica, com intenções de envolver outros terrenos vazios ao canteiro central, foram mapeados lotes vazios auxiliando a demarcação da área de estudo e juntamente com as massas de vegetações, pode-se elaborar melhor um projeto paisagístico (Figura 85).

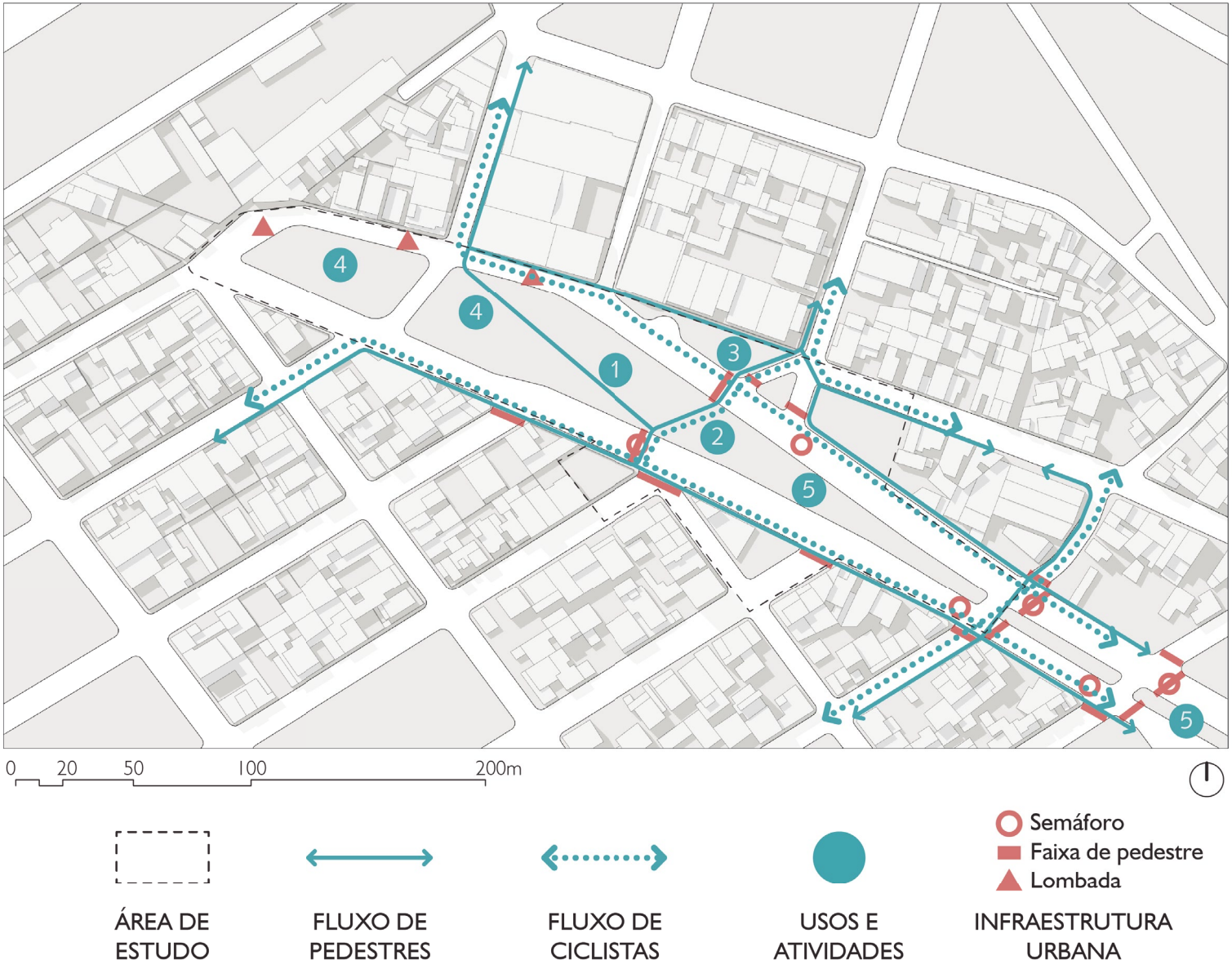


Figura 84 – Mapa de fluxos e usos relacionados ao pedestre e ciclista e breve relação com infraestrutura urbana
Fonte: Autos, baseado nas análises locais

Figura 85 – Mapa de vazios e massas verdes
Fonte: Autor, baseado nas análises locais e imagens aéreas do Google Earth Pro

Figura 86 – Mapa de gabarito
Fonte: Autor, baseado nas análises locais

5.1.2 Análise das condicionantes ambientais

A carta solar e a rosa dos ventos são usados em várias decisões como, implantação aberturas em fachadas para iluminação e ventilação, escolha de materiais e técnicas construtivas. No caso de sistemas generativos, os dados e informações são vinculados aos parâmetros e algoritmos e analisados computacionalmente em tempo real – não pelas decisões do arquiteto – otimizando as instâncias para o melhor resultado. Cabe ao arquiteto a atenção em criar e vincular os códigos . Dito isso, esse diagrama (Figura 87) serve apenas para noções para programação e conferência final dos dados.

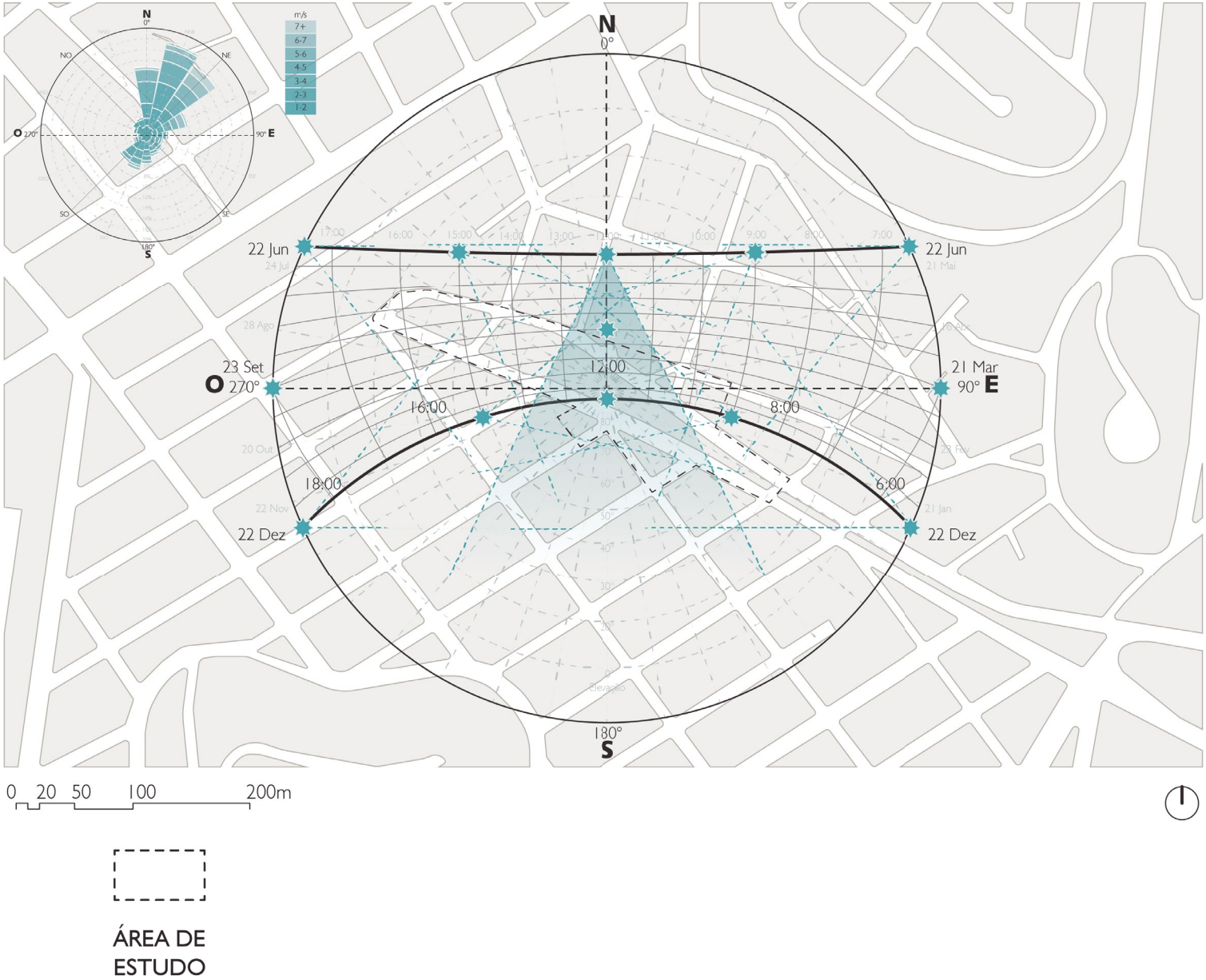


Figura 87 – Carta solar e rosa dos ventos de Vila Velha
Fonte: SOL-AR, adaptado pelo autor

5.1.3 Análise das condicionantes legais

De acordo com o PDM de Vila Velha – Lei N°4.575/07 – O terreno está inserido na Zona Especial de Interesse Urbanístico – ZEIU, na subcategoria Estruturação e Integração I – que recebe a projeção do corredor prioritário denominado Corredor Bigossi (Figura 88).

As Zonas de Especial Interesse Urbanístico, são classificadas pelo PDM de Vila Velha como regiões de domínio público ou privado tendo prioridades para intervenções ordenadas promovendo requalificação urbanística, desenvolvimento sustentável, implantação de equipamentos públicos urbanos, melhorando a mobilidade e acessibilidade.

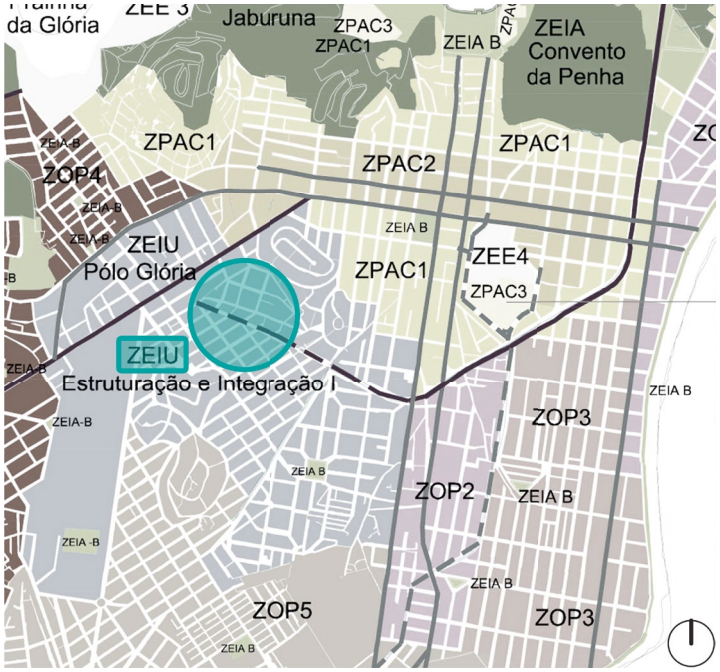


Figura 88 – Mapa de zoneamento demarcando a localização do terreno

Fonte: Lei Nº 5.441/07 - PDM de Vila Velha, adaptado pelo autor

ZONA	Coeficiente de Aproveitamento (CA)			Afastamento Frontal Mínimo (m)	Altura Máxima das Edificações (m)	Gabarito Máximo	Taxa de Ocupação (%)	Taxa de Permeabilidade (%)
	Mínimo	Básico	Máximo					
ZEIU Zona Especial de Interesse Urbanístico I	0,2	2,5	4,0	3,00	–	–	60	10
Utilizado	0,52			4,00	–	–	52	14

Tabela 1 – Índices urbanísticos relativos a zoneamento do terreno

Fonte: Lei Nº 5.441 - PDM de Vila Velha, adaptado pelo autor

5.2 Proposta arquitetônica

Tendo como base todas as análises do terreno escolhido, este subcapítulo ponderará as intenções das diretrizes, a setorização e o partido arquitetônico, alcançando um estudo volumétrico otimizado com sistemas generativos. Vale notar que esses processos e metodologias, se fazem presente já no início da concepção, sendo apresentados na íntegra, explicando as atuações de cada parâmetro e algoritmo.

A volumetria será analisada constantemente pelos algoritmos, forçando locais afetados pelas variáveis – descritas no início deste capítulo – tratar as deficiências numa interação bidirecional, auxiliando também a melhor aplicação de materiais, equilíbrio estrutural e planejamento paisagístico.

5.2.1 Diretrizes projetuais e metodologia

Correspondendo a situação atual do terreno, a primeira diretriz definida é atender às prioridades do pedestre e ao mesmo tempo considerar os índices urbanísticos. Partindo dessas exigências, se busca atender três principais grupos de fatores para levantamento do estudo volumétrico: fluxos e usos, conforto ambiental e espacialidade; estrutura e materialidade.

Os fluxos e usos são definidos de acordo com a análise do terreno, através da importação das representações gráficas e vetoriais para um software de modelagem tridimensional, nesse caso o Rhinoceros 3D. Esses elementos são assimilados a algum grau de força ou interferência, no âmbito de implicar de modo responsivo a volumetria da forma.

O conforto ambiental se insere como instância que comporta um banco de dados sobre o clima – insolação, ventos, precipitação, entre outros. Dados encontrados gratuitamente em arquivos no formato EWP, desenvolvido por Ewisoft Website Buider e distribuído por EnergyPlus – permitindo atrelar parâmetros e algoritmos da volumetria em controles responsivos em relação a luz e sombreamento, utilizando o plugin DIVA 4, desenvolvido e distribuído por Solemma LLC.

A simulação da estrutura e o padrão dos painéis ocorre por meio do plugin Kangaroo2, desenvolvido por Daniel Piker. Esse plugin utiliza as informações dos fluxos

e usos, interferindo na formação do partido operando em duas situações distintas usando como referência a mesma geometria base. A primeira operação cria a superfície principal e determina o padrão dos painéis; a segunda operação, gera a estrutura, que compartilha os mesmos princípios da primeira operação, porém se limita a volumetria principal, para não gerar incompatibilidade.

Para definição final dos resultados, o plugin Galapagos, incorporado no Grasshopper – gera genomas evolutivos de acordo com a intenção de maximizar ou minimizar os resultados – combina diferentes possibilidades dos algoritmos e parâmetros para alcançar os melhores resultados e filtrá-los.

Nesse ponto inicial do projeto, tem-se o entendimento claro do conceito form finding "em busca da forma", onde os elementos que o arquiteto define, não corresponde a forma final, que é imprevisível. Há importância na metodologia em vincular os parâmetros e algoritmos, retornando a reflexão do arquiteto como construtor de ferramentas.

5.2.2 Partido arquitetônico

É fácil hoje em dia, decifrar como vazios urbanos, e sobras de quadras se tornam praças, a qualidade dos espaços raras vezes é explorada ao máximo: falta investimento em mobiliário urbano, em serviços públicos e nem sempre se faz um planejamento paisagístico. Para combater esse cenário, é preciso dar importância ao pedestre primeiramente e de modo crítico, o incluir satisfatoriamente em meio às análises locais, dos fluxos e usos. Nessa etapa é formada a primeira diagramação definindo os setores, permitindo comportar de forma melhorada as atividades que já acontecem na localidade além de estimular novos usos com espaços públicos de qualidade, elevando proporcionalmente a segurança do local.

A setorização (Figura 89), define espaços como abrigo para quiosques e carros de feira de menor porte, estrutura para apropriações de eventos abertos e comunitários, quadra poliesportiva e espaços de passagem e permanência. Para driblar o fluxo de carros e evitar novos pontos nodais, propõe-se uma passarela para travessia de pedestres, que contará com sistemas

generativos e otimização ambiental e uma faixa elevada ao longo de trecho da Rua Termiminos, ampliando as conexões entre o terreno.

Figura 89 – Setorização dos espaços e usos
Fonte: Autor, baseado nas análises locais

As vantagens dos sistemas generativos está na possibilidade de usar várias fontes de informações distintas para chegar ao melhor resultado, porém quanto mais informação é gerenciada pelo computador, mais demorada e pesada ficará o processamento. Pelas limitações de hardware, equipe e tempo, a concepção dos códigos foi dividida em fazes, dando atenção para elaboração de uma boa sequência para gerar as formas e volumetrias. A seguir, confere-se a ordem em que foram realizados os procedimentos, as ferramentas envolvidas e a lógica utilizada.

Os diagramas anteriores são importados para o Rhinoceros 3D apresentando elementos bases para programar a forma. Como mostra na Figura 90, é criado uma geometria sintética dos limites dos afastamentos, localização de atividades esportivas e o fluxo de travessia principal.

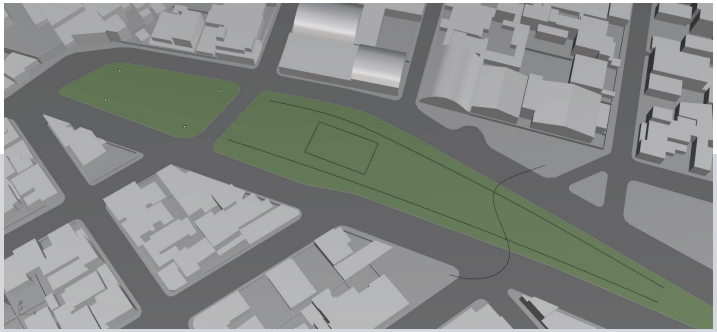


Figura 90 – Captura de tela do Rhinoceros 3D
Fonte: Autor

Partindo dos elementos base, se iniciam as criações dos códigos de cada composição construtiva (Figura 91), dividido entre: o pavilhão principal, o pavilhão anexo, a passarela e a paginação de piso. O primeiro código é voltado para o pavilhão principal, devido ao tamanho e por ter maior influencia sobre o projeto com um todo; o segundo código gerencia a volumetria e estrutura da passarela; o terceiro código, faz análise de insolação sobre a volumetria do pavilhão, considerando a passarela, auxiliando na escolha dos materiais otimizando o UDI (Useful Daylight Iluminance); o quarto código gerencia a volumetria do pavilhão anexo; o quinto e último código é usado para definir a paginação da pavimentação.

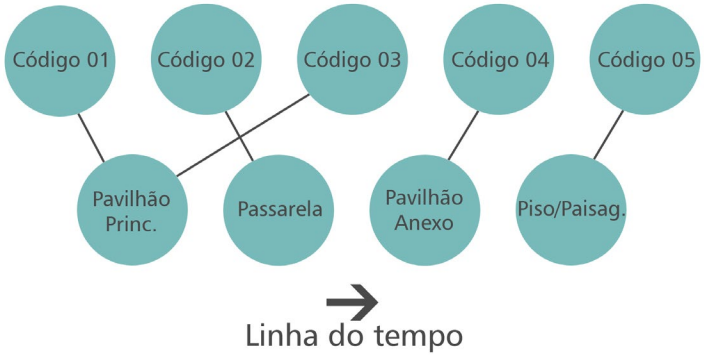


Figura 91 – Diagrama explicativo do fluxo de trabalho utilizado para programação dos códigos em relação às partes do projeto
Fonte: Autor

5.2.3 Programação do projeto

Essa seção irá apresentar na íntegra o fluxo de trabalho de cada código e seus respectivos componentes do projeto. O código é montado e representado graficamente pelo Grasshopper de modo mais intuitivo, didático e fácil, mas por trás dessa interface do usuário, são executados vários scripts, linguagem computacional e operações matemáticas (Figura 92). Esse benefício possibilitou a criação de códigos sem necessariamente precisar ter domínio sobre programação computacional.

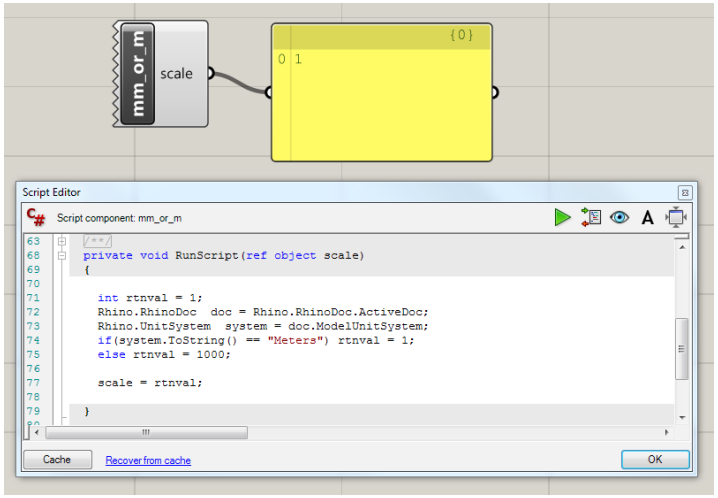


Figura 92 – Relação entre a interface do Grasshopper e o script de uma mesma ferramenta
Disponível em: <james-ramsden.com/wp-content/uploads/2014/ 08/mm_or_m.png> Acesso em: 30 de maio de 2018

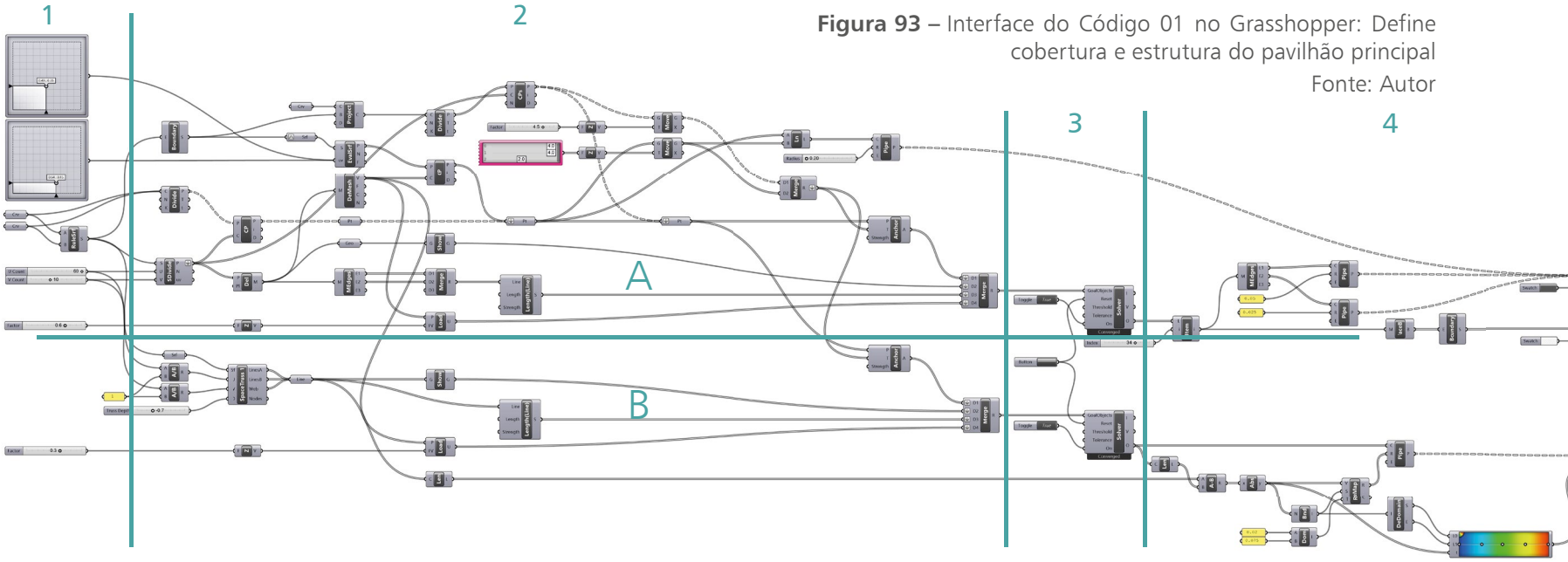


Figura 93 – Interface do Código 01 no Grasshopper: Define cobertura e estrutura do pavilhão principal
Fonte: Autor

O código acima, é o primeiro código criado e define a volumetria do pavilhão principal se dividindo em 4 etapas e gerenciando dois resultados (Figura 93). A primeira etapa do código é formada pela seleção dos elementos bases para definição de uma forma bidimensional projetada (Figura 95), da qual são retiradas informações que alimentam os parâmetros e as dinâmicas para criação da superfície da cobertura; A segunda etapa do código é formada pelos parâmetros e dinâmicas como os pontos âncoras – pontos com forças dinâmicas para fixar a geometria em uma determinada coordenada – a força da gravidade e restrições de tamanho, assegurando maior controle no momento da deformação, evitando perda de otimização; A terceira etapa contém as ferramentas – Kangaroo2 – que calculam e gerenciam os dados e informações coletadas nas etapas anteriores; A quarta etapa apresenta os resultados obtidos pelo gerenciamento e otimização. O código foi elaborado para gerar dois resultados, que se justificam devido as diferenças de modulação entre os painéis da superfície (Figura 94) e a modulação da treliça espacial (Figura 96 - Figura 99), não permitindo ocorrer incompatibilidades entre ambos componentes.

Figura 94 – Cobertura com o padrão dos painéis: visualização no Rhinoceros 3D
Fonte: Autor

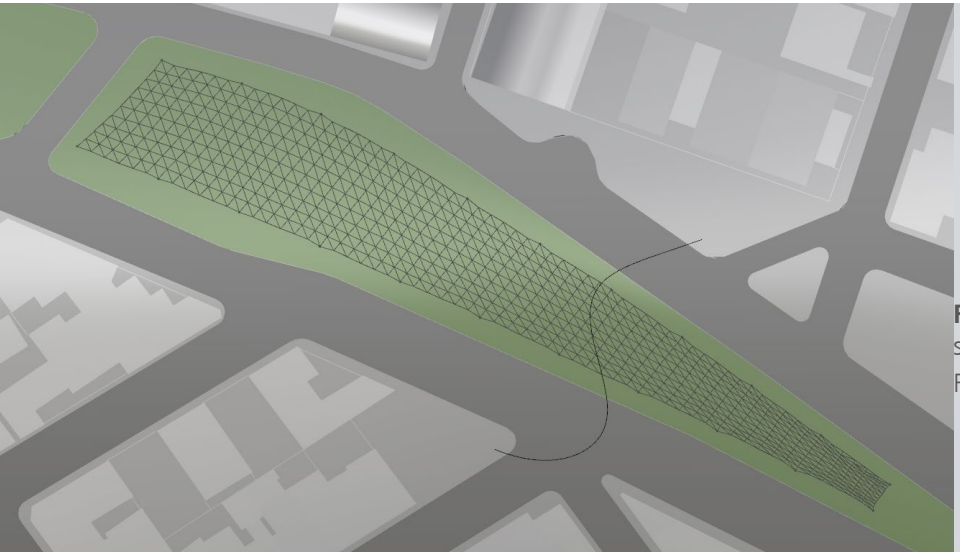


Figura 95 – Vista superior da cobertura – uma referência da superfície 2D projetada: visualização no Rhinoceros 3D
Fonte: Autor

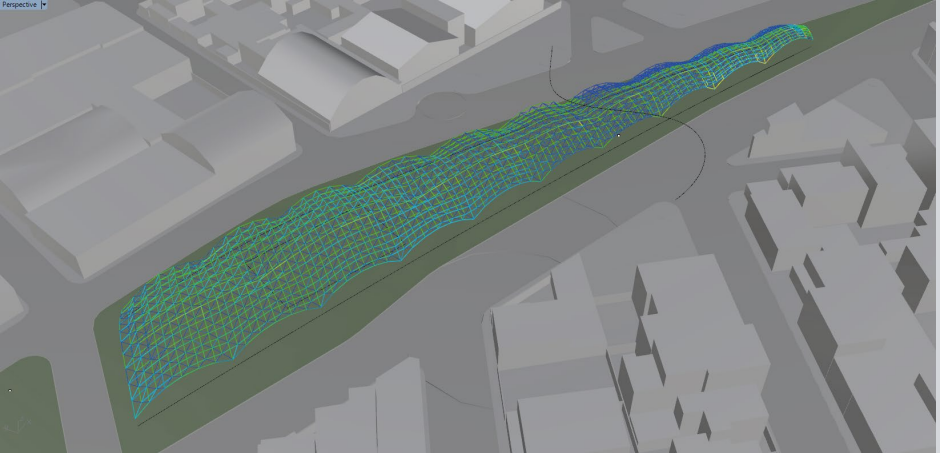


Figura 96 – Vista da treliça com análise de tensão: visualização no Rhinoceros 3D
Fonte: Autor

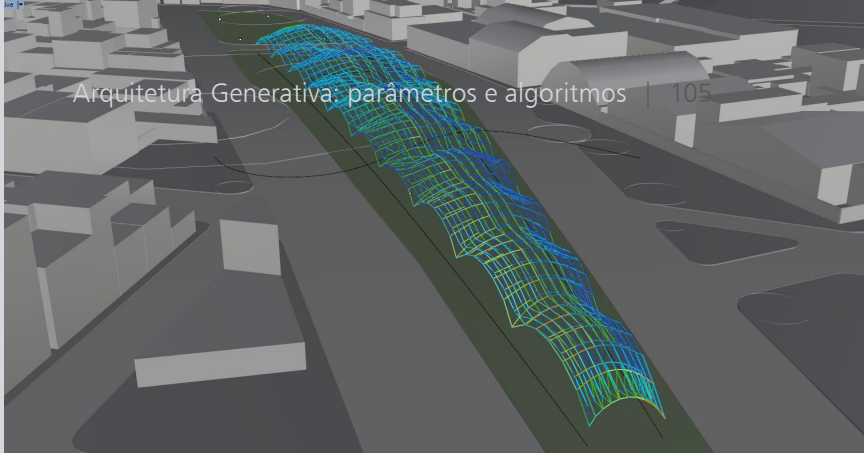


Figura 97 – Vista da treliça com análise de tensão: visualização no Rhinoceros 3D
Fonte: Autor

Figura 98 – Detalhe da treliça - o dimensionamento das seção dos perfis está vinculada à análise de tensão: visualização no Rhinoceros 3D
Fonte: Autor

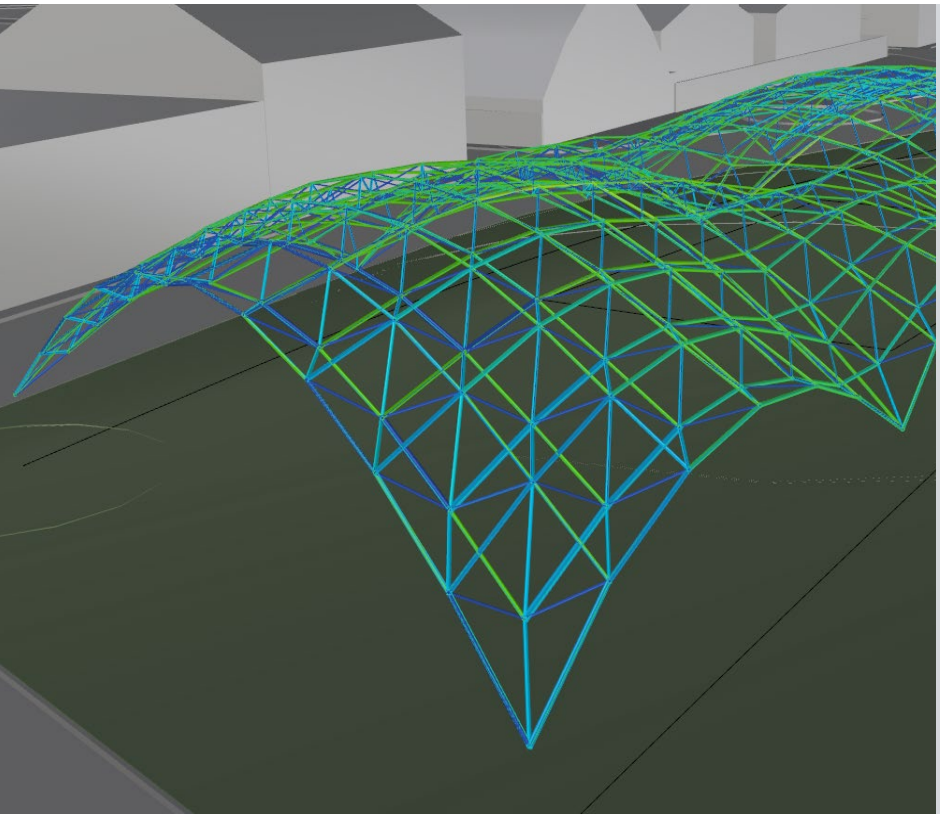
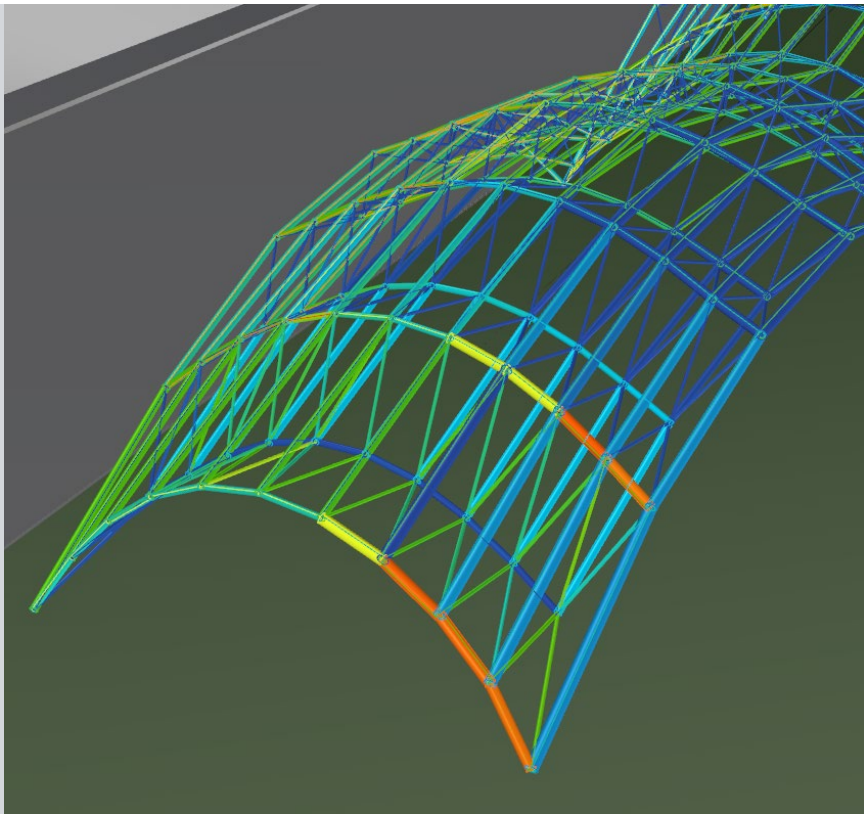


Figura 99 – Detalhe da treliça - o dimensionamento das seção dos perfis está vinculada à análise de tensão: visualização no Rhinoceros 3D
Fonte: Autor



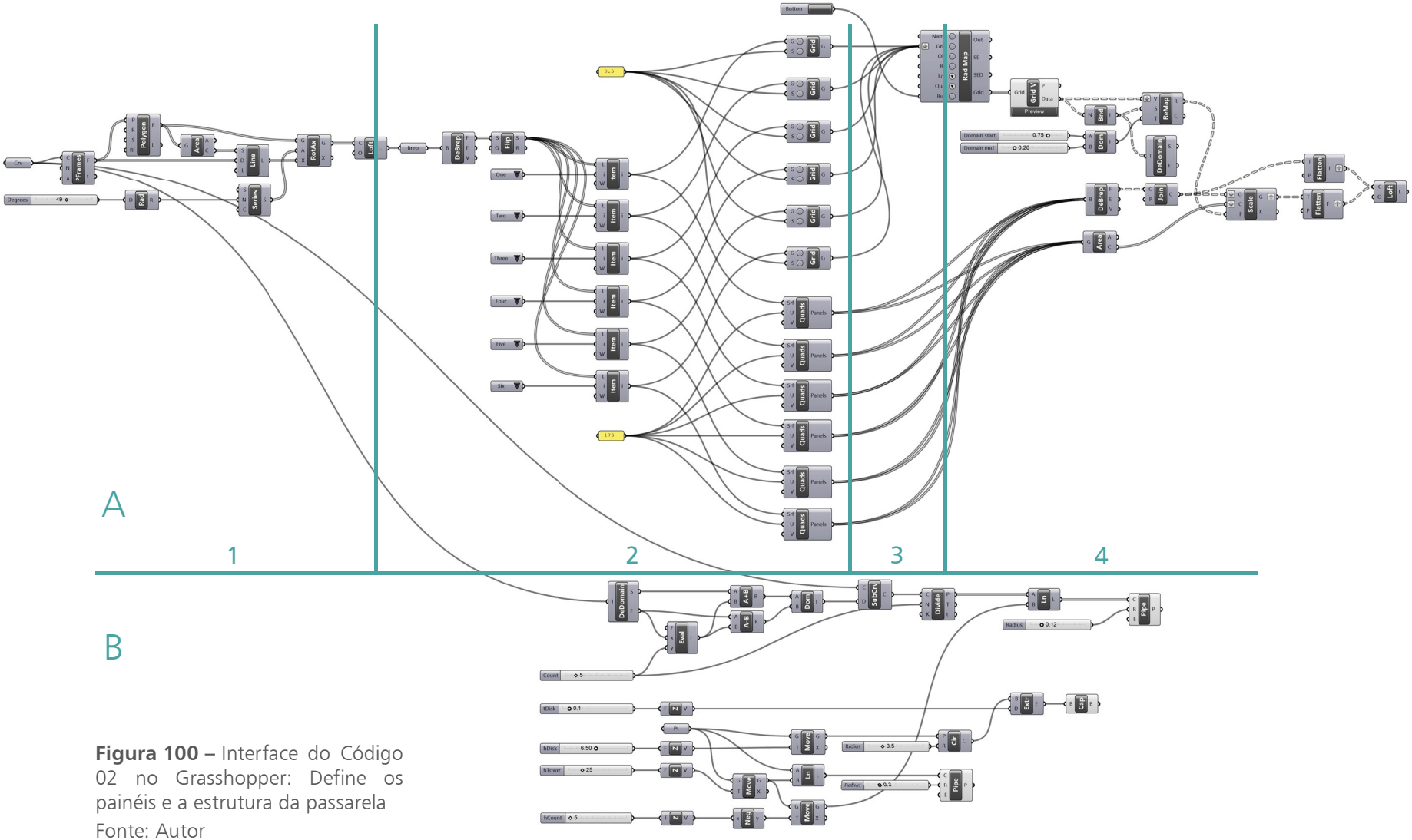


Figura 100 – Interface do Código 02 no Grasshopper: Define os painéis e a estrutura da passarela
Fonte: Autor

O fluxo do código acima (Figura 100) é elaborado com a mesma estrutura de etapas como no código anterior (Figura 93) – definição da geometria; parâmetros e dinâmicas; ferramentas gerenciadoras; e resultados – a diferença está na terceira etapa, onde nesse caso é utilizado o DIVA 4, servindo para definir a melhor geometria dos painéis, otimizado para menor insolação (Figura 101 e Figura 102).

Figura 101 – Vista da geometria com análise de insolação: visualização no Rhinoceros 3D
Fone: Autor

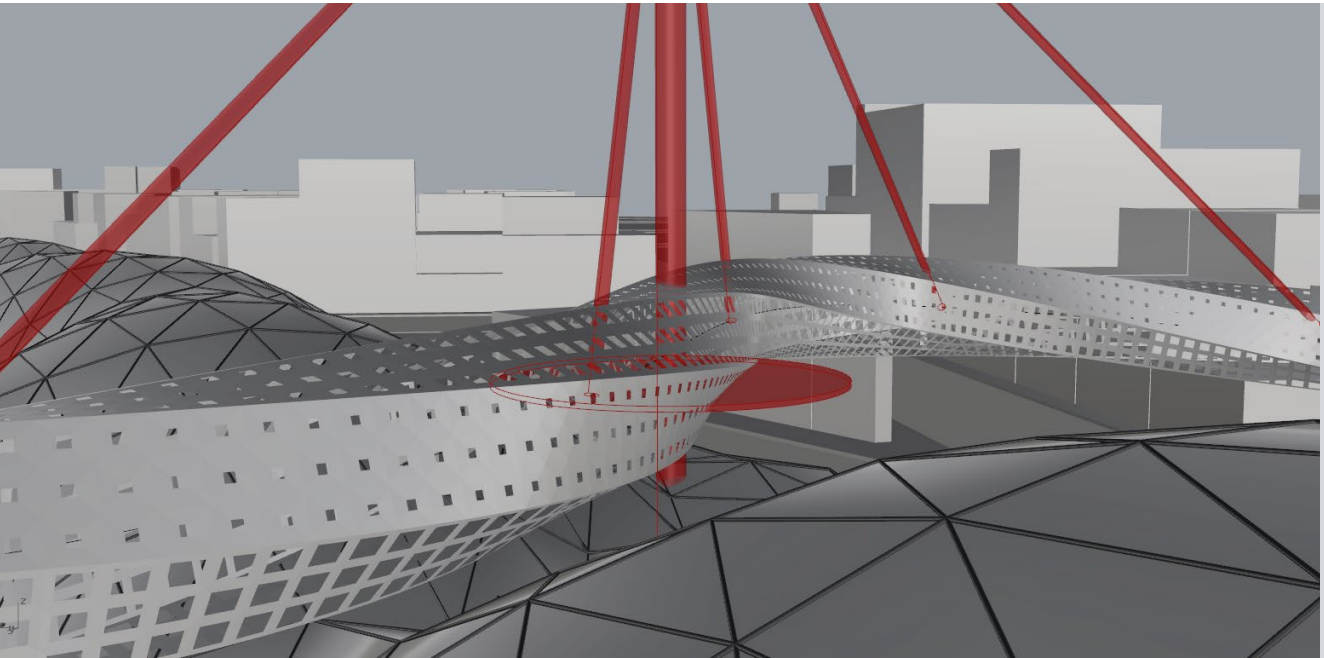
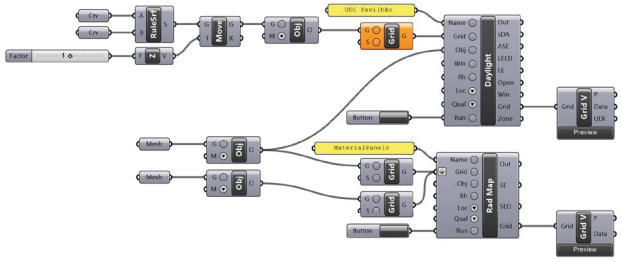


Figura 102 – Detalhe dos painéis - o dimensionamento das aberturas está vinculada à análise de insolação: visualização no Rhinoceros 3D
Fone: Autor

Figura 103 – Vista da geometria com análise de insolação e UDI: visualização no Rhinoceros 3D
Fone: Autor

Figura 104 – Interface do Código 03 no Grasshopper: Faz análise de insolação na cobertura e UDI de acordo com material aplicados
Fonte: Autor



O código ao lado (Figura 104) opera apenas como método de análise de resultados (Figura 103) – insolação e UDI, usando DIVA 4 – auxiliando quais os tipos e as formas de aplicação dos materiais. Nesse caso não se aplica o conceito de "busca da forma", mas tem como princípio o exercício de avaliação e gerenciamento de resultados por meio da programação.

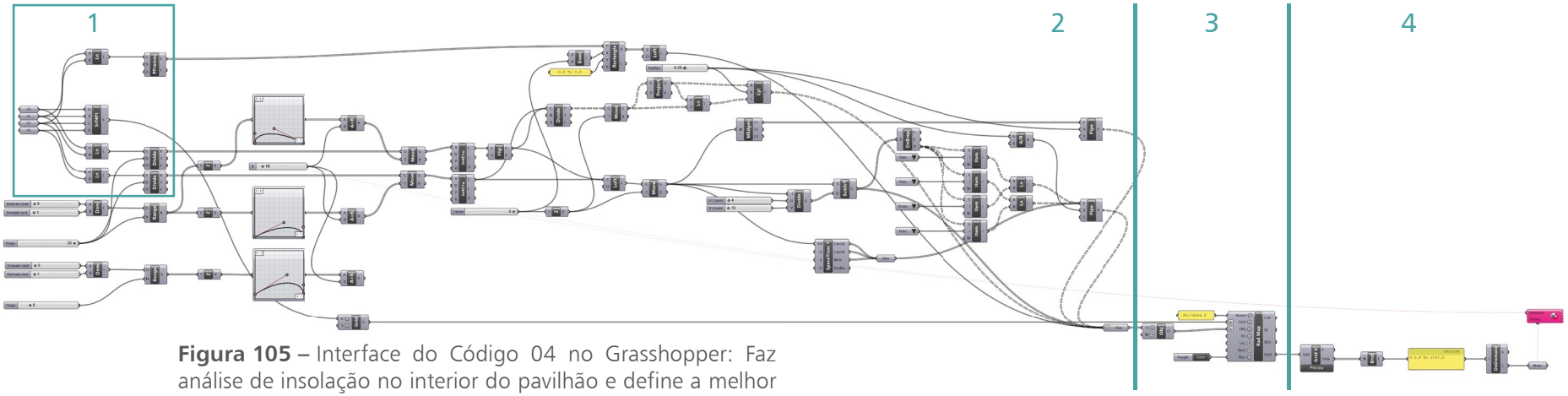


Figura 105 – Interface do Código 04 no Grasshopper: Faz análise de insolação no interior do pavilhão e define a melhor volumetria
Fonte: Autor

O código acima (Figura 105) define uma volumetria paramétrica para sofrer evoluções genéticas, diminuindo a quantidade de insolação no interior do pavilhão. Esse processo se divide nas seguintes etapas: A primeira etapa seleciona os elementos bases e define inicialmente uma geometria bidimensional; A segunda etapa é formada pela parametrização da volumetria – dados que devem ser definidos pelo arquiteto com muito cuidado, pois esses dados são usados no processo do gene evolutivo – A terceira etapa conta com as ferramentas de análise de insolação, usando o DIVA 4; A quarta etapa coleta os resultados; e a quinta etapa é responsável por combinar os parâmetros distintamente achando a melhor combinação (Figura 106 e Figura 108).

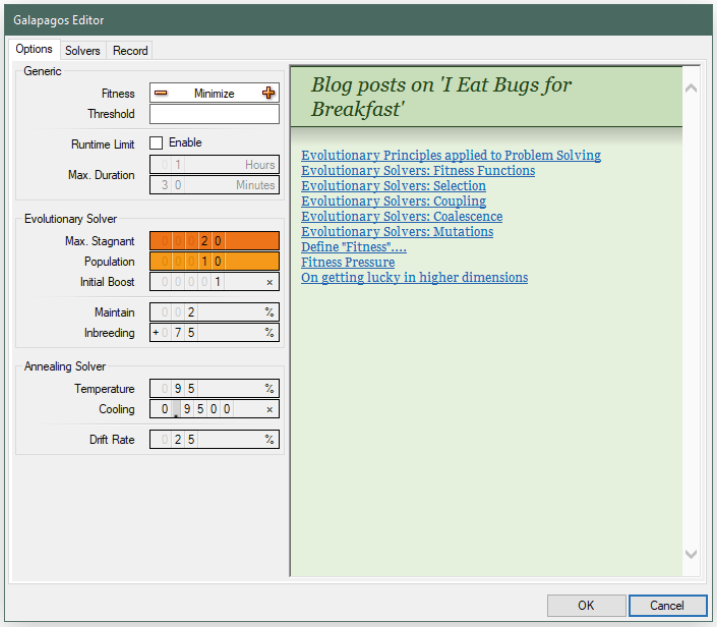
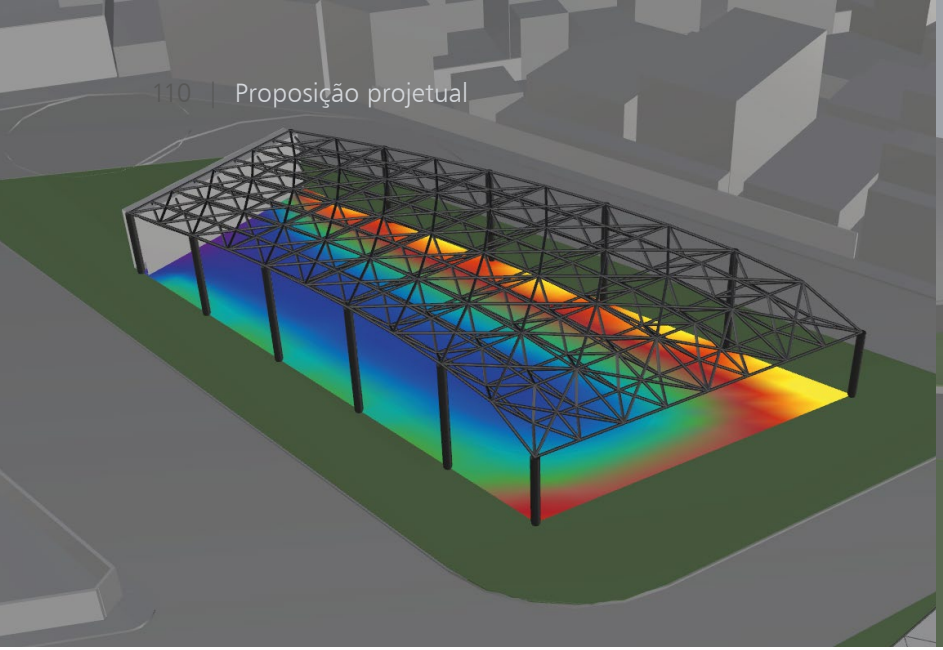


Figura 106 – Captura de tela apresentando a configuração e o gerenciamento do genoma evolutivo, baseado nos parâmetros definidos no código: Caixa de diálogo do Galapagos
Fonte: Autor



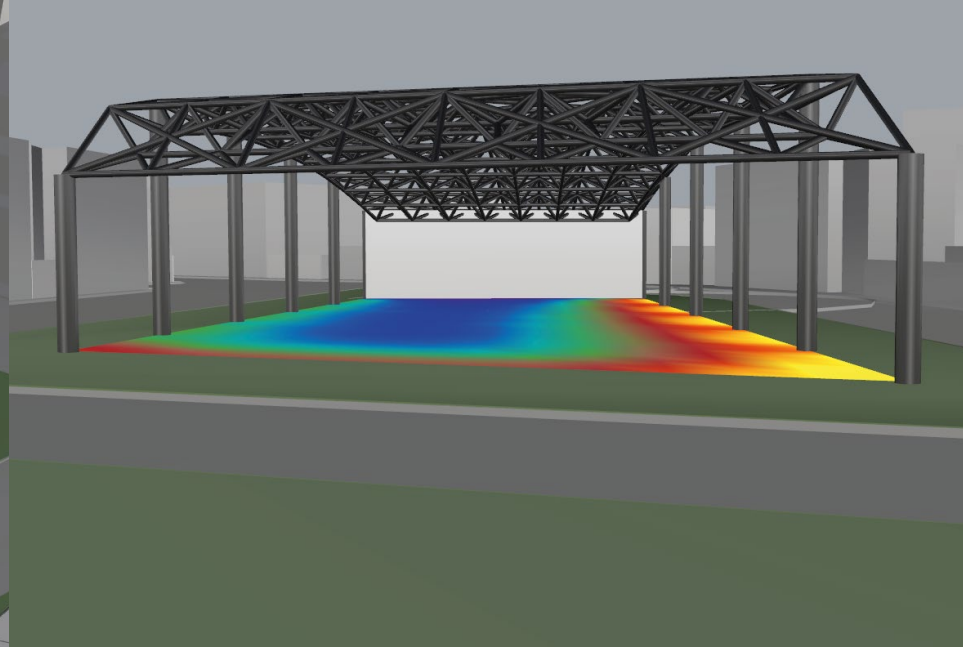


Figura 107 – Vista da geometria resultante, apresentada juntamente com a análise de insolação: visualização no Rhinoceros 3D

Fonte: Autor

A caxa de diálogo do Galapagos (Figura 108), apresenta gráficos relativos aos valores obtidos e organiza os valores nas prioridades definidas nas configurações. De acordo com a Figura 108, nota-se os dados de radiação analisados pelo DIVA 4 em ordem crescente, a partir desses dados, podemos selecionar qual combinação de parâmetros será mantida para definir o projeto, caso ainda precise uma seleção através do arquiteto verificando se a estética gerada através das combinações realmente agradam.

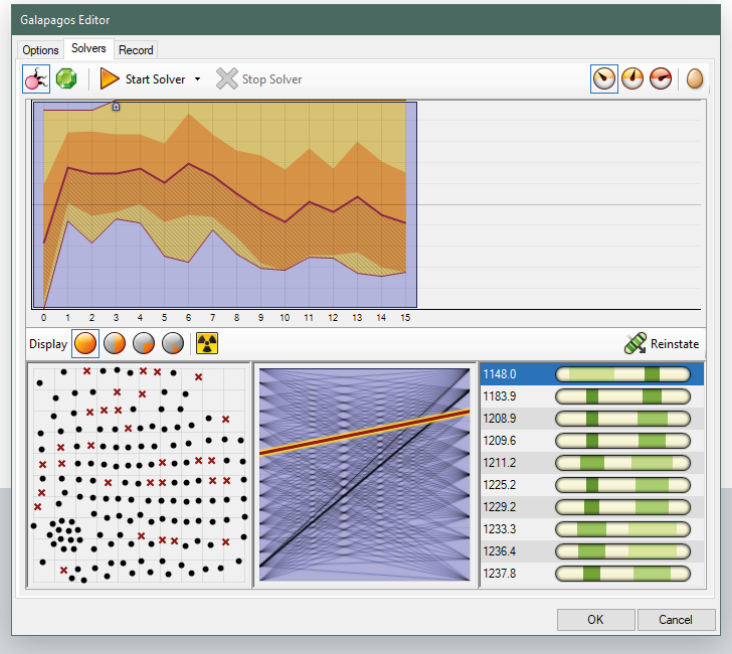


Figura 108 – Captura de tela apresentando processo e resultado do genoma evolutivo, baseado nos parâmetros definidos no código: Caixa de diálogo do Galapagos

Fonte: Autor

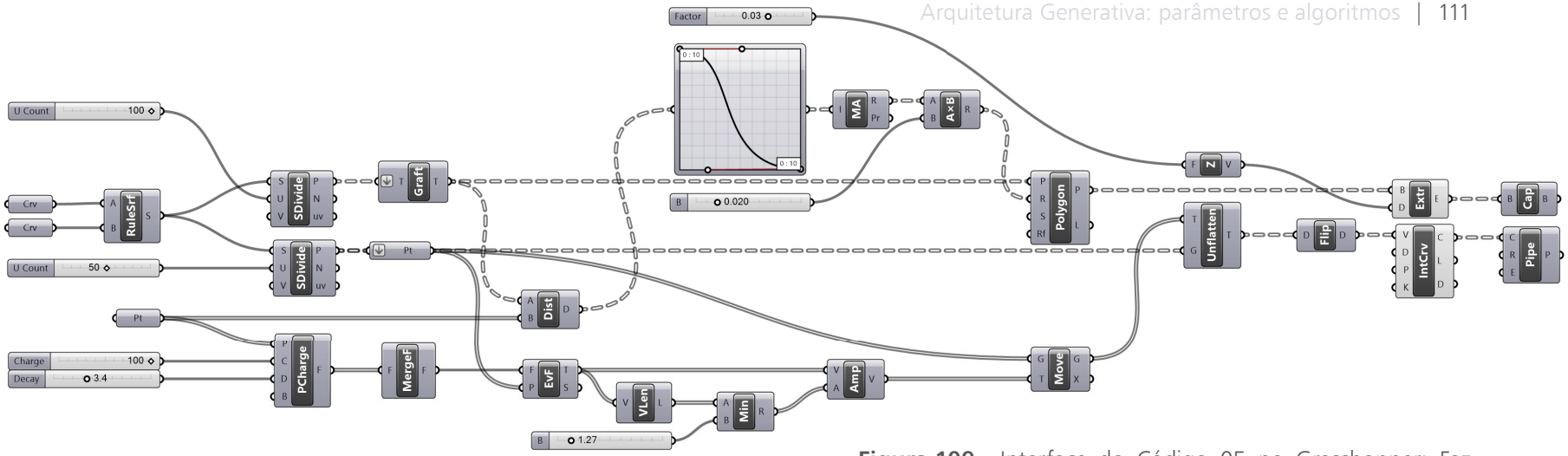


Figura 109 – Interface do Código 05 no Grasshopper: Faz parametrização da paginação do piso no interior do pavilhão
Fonte: Autor

O código acima (Figura 109) se trata de uma parametrização onde é considerado pontos específicos – determinados a partir do fluxo de pessoas e usos do pavilhão – que carregam um determinado campo de força para atuar sobre o desenho projetado no piso, gerando um desenho dinâmico que auxilia a visualização dos eixos de passagem no projeto e os espaços de permanência (Figura 110).

Os campos de força definidos pelos pontos, orientam ao mesmo tempo pequenas aberturas para o contato com o solo, auxiliando o escoamento da água da chuva, principalmente onde terão cortes na cobertura.

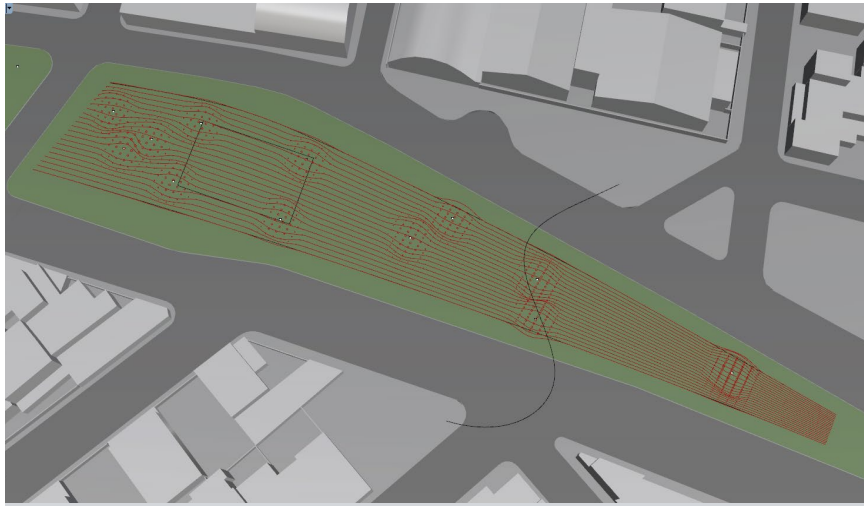


Figura 110 – Vista da paginação de piso resultante dos campos de força: visualização no Rhinoceros 3D
Fonte: Autor

Figura 111 – Vista superior da implantação do projeto: renderização 3D do Lumion
Fonte: Autor

5.2.4 Representação do projeto

Diante dos resultados volumétricos gerados através dos códigos, elaborou-se uma série de conteúdos gráficos para representação do projeto (Figura 111). Esse conteúdo busca por meio da humanização expor as espacialidades, os usos, as vistas do observador, a estética e escala analisando as sensações obtidas e de forma crítica, observar como o uso de sistemas generativos implica na definição arquitetônica, podendo identificar pontos positivos e negativos.

Figura 112 – Vista aérea da implantação do projeto: renderização 3D do Lumion
Fonte: Autor

A vegetação considerada no projeto leva em considerações as espécies já existentes, porém foram relocadas. Os postes de iluminação pública seguiram a disposição existente.

Ao longo da cobertura (Figura 112 e Figura 113) percebe-se a aplicação de dois materiais distintos, que foram escolhidos para melhor aproveitamento da luz natural e ao mesmo tempo não causar desconforto com a insolação. Os materiais dos painéis sólidos e opacos considera o uso de ACM (Aluminum Composite Material) e nos painéis translúcidos é considerado o uso de policarbonato fosco.

Figura 113 – Vista aérea da implantação do projeto: renderização 3D do Lumion
Fonte: Autor

O projeto considera terrenos e lotes vazios do entrono para melhor integração dos componentes e melhorias no fluxo de pessoas (Figura 113). Estes vazios abrigaram as rampas que dão acesso à passarela, a pista de skate (bowl), permitindo ainda ampliações para hortas comunitárias, playground para crianças e academia para idosos.

O parâmetros para limitação da altura da cobertura foi programada para não exceder a altura média do entorno, gerando uma nova paisagem com volumetrias uniformes (Figura 114 - Figura 117).

Figura 114 – Vista do observador, exibindo o contexto da implantação em relação ao entorno: renderização 3D do Lumion

Fonte: Autor

Figura 115 – Vista do observador, exibindo uma das extremidades da edificação: renderização 3D do Lumion

Fonte: Autor

Figura 116 – Vista do observador, exibindo a quadra, à esquerda ao fundo, bicicletários e pontos de ônibus: renderização 3D do Lumion

Fonte: Autor

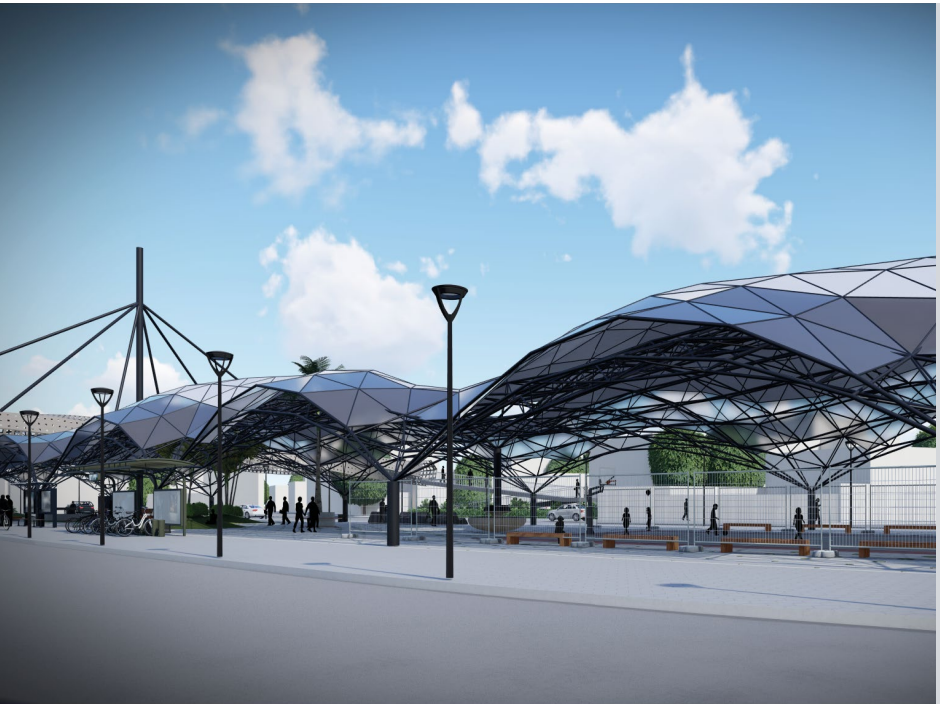


Figura 117 – Vista do observador, exibindo uma das extremidades do pavilhão principal: renderização 3D do Lumion

Fonte: Autor

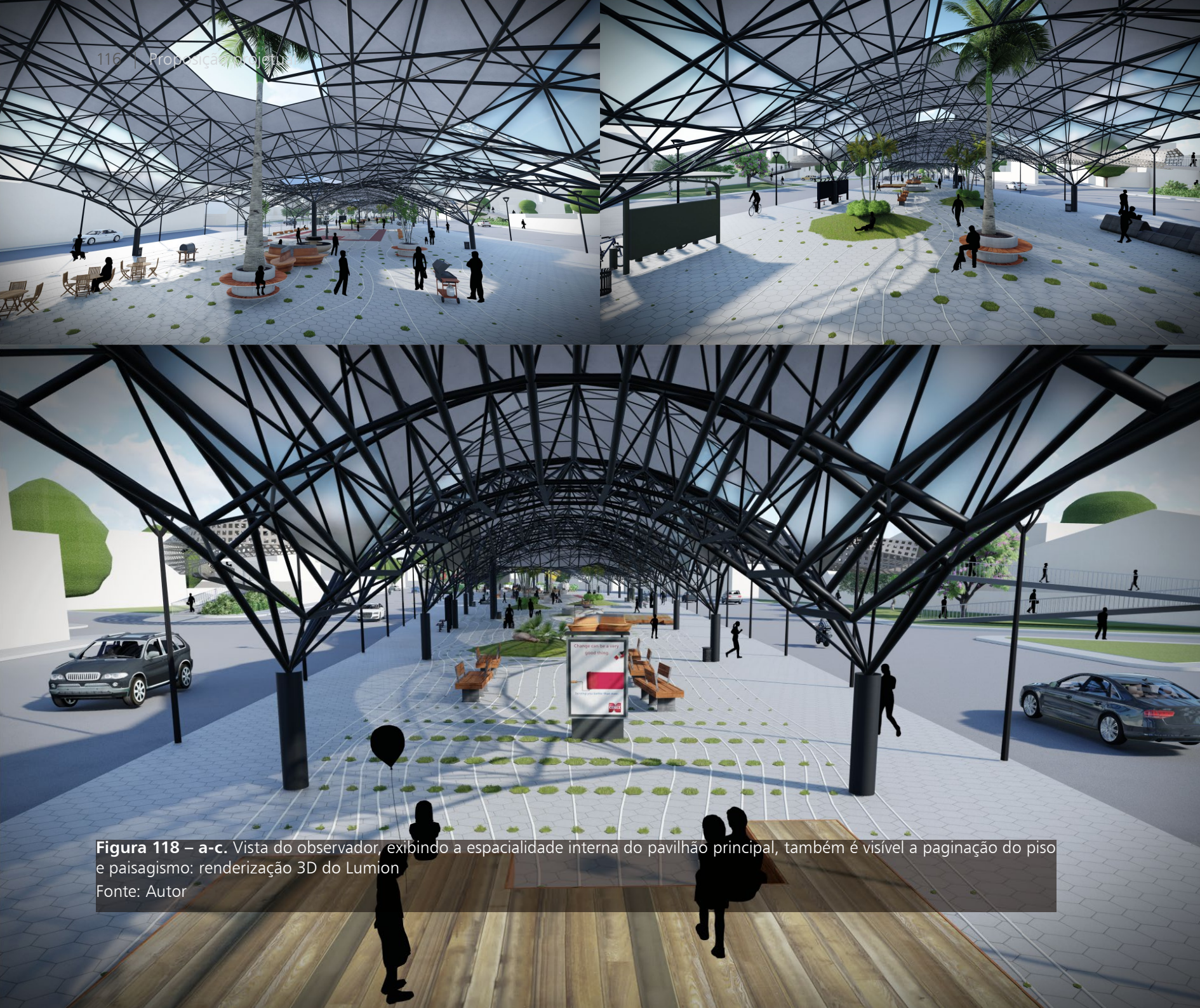


Figura 118 – a-c. Vista do observador, exibindo a espacialidade interna do pavilhão principal, também é visível a paginação do piso e paisagismo: renderização 3D do Lumion
Fonte: Autor

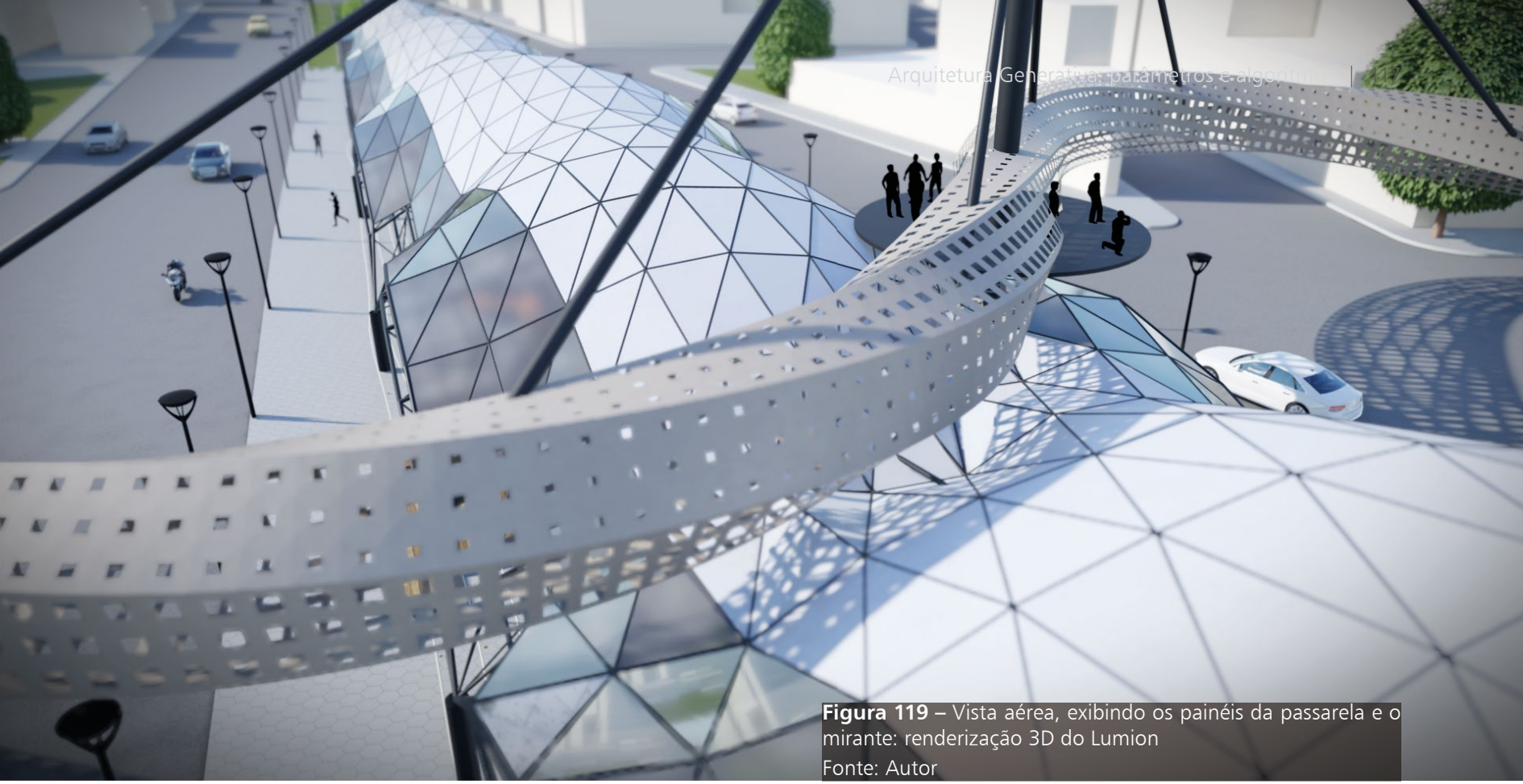


Figura 119 – Vista aérea, exibindo os painéis da passarela e o mirante: renderização 3D do Lumion
Fonte: Autor

As perspectivas expõem a flexibilidade dos componentes gerados, com instalações de pequenos quiosques, foodtrucks, quadra esportiva, espaços de permanência com mobiliários diversos e eixos para passagem (Figura 118). O trabalho paisagístico busca inserir elementos naturais de forma dinâmica, servindo como um tipo de "mobiliário natural" além de propiciar melhor conforto visual e térmico.

Na imagem acima (Figura 119) é possível perceber a disposição da abertura dos painéis, gerada responsivamente de acordo com a insolação. Nota-se a limitação da cobertura abaixo da passarela, proveniente do campo de força atribuído a geometria base para criação da passarela, impedindo incompatibilidade dos componentes.

Figura 120 – Vista do observador, exibindo a rua elevada e o pavilhão anexo: renderização 3D do Lumion
Fonte: Autor

Figura 121 – Vista do observador, exibindo a estrutura e cobertura do pavilhão: renderização 3D do Lumion
Fonte: Autor

O pavilhão auxiliar é voltado para receber eventos comunitários, pequenas apresentações e shows (Figura 120). O uso destinado exige uma estrutura que suporta um fechamento lateral quando for necessário. Nos fundos do pavilhão foi projetado uma parede estrutural que serve como plano para o palco além de deixar previsto esperas para ampliações como banheiros e espaços de apoio para os bastidores. A cobertura curva é pensada no intuito de melhorar a acústica (Figura 121).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tema deste trabalho – arquitetura generativa – foi importante no exercício de explorar novas formas de projeto, que é pouco apresentado em salas de aula e ainda em expansão no mercado. Entender os métodos e processos e conseguir aplicar o aprendizado na prática é gratificante.

Como proposta principal, é válida uma análise crítica sobre os experimentos, saber justificar se essa nova tendência que o mercado de projetos está caminhando é benéfico. Durante os procedimentos a percepção da buscar a forma através da programação foi possível perceber que tudo depende do arquiteto, se a arquitetura resultante é boa ou ruim, não está ligado ao método, mas sim das decisões do arquiteto.

Os sistemas generativos são excelentes opções para melhor otimização, que pode estar atrelado à conforto ambiental, estrutura, materialidade, funcionalidade, forma, viabilidade, entre vários outros pontos de performance. A utilização da programação na geração de formas colabora para redução do tempo de modelagem, comparativamente ao processo convencional quando voltado para detalhamentos complexos, como também facilitando alterações, testes e a visualiação rápida dos resultados simultaneamente.

Deve existir uma justaposição entre o arquiteto e o computador – os parâmetros e algoritmos generativos não devem preencher a sensibilidade arquiteto por processos automatizados, mas se completarem numa boa relação harmônica entre funcionalidade, forma e estética.

A programação é uma ferramenta excelente para gerenciar partidos arquitetônicos com grande número de elementos, qualquer alteração pode ser feita editando poucos parâmetros. O fluxo de trabalho rápido permite a realização de vários testes e com as tecnologia digitais de fabricação e prototipagem, o risco é menor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BECHTHOLD, Martin. **Innovative Surface Structures: Technologies and Applications**. 1ª Edição. Taylor & Francis, 2008.

BEORKREM, Christopher. **Material Strategies in Digital Fabrication**. 1ª Edição. Routledge, 2012.

BOHNACKER, Hartmut. et. al. **Generative Design: Visualize, Program, and Create with Processing**. 1ª Edição. Princeton Architectural Press, 2012.

BURRY, Jane. **The New Mathematics of Architecture**. 1ª Edição. Thames & Hudson, 2012.

BURRY, Mark. **Architecture and Practical Design Computation, em Computational Design Thinking**. MENGES, Achim e AHLQUIST, Sean. 1ª Edição. Wiley, 2011.

CARPO, Mario. **The Alphabet and the Algorithm**. 1ª Edição. The MIT Press, 2011.

DER-ES. **Obras do projeto Corredor Bigossi: Mobilidade Urbana**. Disponível em: <der.es.gov.br/Notícia/mobilidade-governo-do-es-obras-corredor-bigossi>. Acesso em: 25 de março de 2018.

DUNN, Nick. **Digital Fabrication in Architecture**. 1ª Edição. Laurence King Publishing, 2012.

FALLON, Greg. **The Power of Generative Design: Autodesk Netfabb 2018**. Disponível em: <blogs.autodesk.com/inthefold/generative-design-netfabb-2018>. Acesso em: 14 de outubro de 2017.

FORTMEYER, Russell. LINN, Charles. **Kinetic Architecture: Designs for Active Envelopes**. 1ª Edição. Images Publishing Dist Ac, 2014

FOX, Michael. **Interactive Architecture: Adaptive World (Architecture Briefs)**. 2ª Edição. Princeton Architectural Press, 2016.

HENRIQUES, Gonçalo Castro. **Tetra Script: Sistema de aberturas responsivo para controlar a luz, de acordo com fatores externos e internos. 2013**. Tese de Doutorado Europeu. FAUL, Lisboa, 24 junho 2013. Orientação José Duarte (FAUL) e Vítor Leal (FEUP).

HENRIQUES, Gonçalo Castro. BUENO, Ernesto. **Geometrias Complexas e Desenho Paramétrico**. Vitruvius/Drops. Disponível em: <www.vitruvius.com.br/revistas/read/drops/10.030/2109>. Acesso em: 25 de agosto de 2017.

HENRIQUES, Gonçalo Castro. **Sistemas responsivos: relevância, estado da arte e desenvolvimentos**. 2015. Artigo Sigradi 2015. UFRJ.

IBGE 2017. **Brasil em Síntese: Espírito Santo, Cidades**. Disponível em: <cidades.ibge.gov.br> Acesso em: 29 de abril de 2018.

IJSN. **Obra do Canal Bigossi vai começar: Biblioteca Online**. Disponível em: <ijsn.es.gov.br/bibliotecaonline/Record/338666>. Acesso em: 21 de janeiro de 2018.

INGELS, Bjarke. **BIG, HOT TO COLD: An Odyssey of Architectural Adaptation**. 1ª Edição. TASCHEN, 2015

IWAMOTO, Lisa. **Digital Fabrications: Architectural and Material Techniques**. Edição 144p. Princeton Architectural Press, 2009.

JABI, Wassim. P**arametric Design for Architecture**. 1ª Edição. Laurence King Publishing, 2013.

JACKSON, Paul. F**olding Techniques for Designers: From Sheet to Form**. Edição Mac Win Pa. Laurence King Publishing, 2011.

KESTELIER, Xavier de; PETERS Brady. **Computation Works: The Building of Algorithmic Thought**. 1ª Edição. Academy Press, 2013.

KOLAREVIC, Branko. **Building Dynamics: Exploring Architecture of Change**. 1ª Edição. Routledge, 2015.

KOLAREVIC, Branko. **Manufacturing Material Effects: Rethinking Design and Making in Architecture**. 1ª Edição. Routledge, 2008.

KOLAREVIC, Branko; MALKAWI, Ali. **Performative Architecture: Beyond Instrumentality**. 1ª Edição. Routledge, 2005.

KOLAREVIC, Branko. **Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing**. 1ª Edição. Taylor & Francis Group, 2003.

MARTINS, Juliana Emanuele Prado. **Implantação do Corredor Bigossi: Um Caso de Sucesso em Desapropriações Urbanas**. II Congresso CONSAD. Painel 53, 2009.

MENGES, Achim. **Material Computation: Higher Integration in Morphogenetic Design**. 1ª Edição. Academy Press, 2015.

MENGES, Achim. **Material Synthesis: Fusing the Physical and the Computational**. 1ª Edição. Academy Press, 2015.

NEVES, Luiz Eduardo. **Trânsito muda na região do Canal Bigossi: Prefeitura de Vila Velha**. Disponível em: <vilavelha.es.gov.br/noticias/transito-muda-na-regiao-do-canal-bigossi-neste-sabado-4386>. Acesso em: 21 de janeiro de 2018.

OXMAN, Rivka; OXMAN, Robert. **Theories of the Digital in Architecture**. 1ª Edição. Routledge, 2014

OXMAN, Rivka. **Theory and Design in the First Digital Age**, em Design Studies, Vol. 27 No. 3, 2006.

PREFEITURA DE VILA VELHA. **Centro e Canal Bigossi**: Desenvolvimento Urbano. Disponível em: <vilavelha.es.gov.br/paginas/desenvolvimento-urbano-centro-e-canal-bigossi>. Acesso em: 20 de janeiro de 2018.

SAKAMOTO, Tomoko. **From Control to Design: Paramectric and Algorithmic Architecture**, 1ª Edição. Actar, 2008.

SHIFFMAN, Daniel. **The Nature of Code: Simulating Natural Systems with Processing**. 1ª Edição. The Nature of Code, 2012.

TEDESCHI, Arturo, **AAD Algorithms-Aided Design. Parametric strategies using Grasshopper**. 1ª Edição. Le Penseur, 2014.

TERZIDIS, Kostas. **Expressive Form: A Conceptual Approach to Computational Design**. 1ª Edição. Taylor & Francis Group, 2003.

TERZIDIS, Kostas. **Algorithms for Visual Design Using the Processing Language**. 1ª Edição. Wiley, 2009.

TERZIDIS, Kostas. **Algorithmic Architecture**, 1ª Edição. Routledge, 2006.

VYZOVITI, Sophia. **Folding Architecture**. 9ª Edição. BIS Publishers, 2008.

WOODBURY, Robert. **Elements of Parametric Design**. 1ª Edição. Routledge, 2010.

MITCHELL, William J. **A Lógica da Arquitetura: Projeto, computação e cognição. Tradução de Gabriela Celani**. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas, 2008.

SOLÀ-MORALES, Ignasi de. WHITING, Sarah. **Differences: Topographies of Contemporary Architecture (Writing Architecture)**. Tradução em inglês de Graham Thompson. The MIT Press, 1996.

SOLÀ-MORALES, Ignasi de. **Territorios**. 1ª Edição. Gustavo Gili, 2002.

SCHUMAKER, **Parametricism as Style - Parametricist Manifesto**. Apresentado e discutido no Dark Side Club1, 11ª Bienal de Arquitetura, Veneza 2008. Disponível em: <www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism%20as%20Style.htm>. Acesso em: 12 de agosto de 2017

WEINSTOCK, Michael, MENGES, Achim. HENSEL, Michael. **Morphogenesis and the Mathematics of Emergence. Emergence: Morphogenetic Design Strategies**, Vol. 74 n° 3. Willey Sons LTD, 2004.