PROCESSO DE DESIGN_EM_ARQUITETURA

complexidade e meios digitais

Dissertação de Mestrado

Pesquisador Arquiteto João Paulo Soares

Orientador Professor Associado Doutor Marcelo Tramontano

nomads.usp – Núcleo de Estudos de Habitares Interativos

Programa de pós-graduação do Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos | IAU | Universidades de São Paulo | USP

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

S676p Soares, João Paulo
Processo de Design em Arquitetura: complexidade e
meios digitais / João Paulo Soares; orientador Marcelo
Tramontano. São Carlos, 2013.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
em Arquitetura e Urbanismo e Área de Concentração em
Teoria e História da Arquitetura e do Urbanismo --
Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de
São Paulo, 2013.

1. Processo de design. 2. Complexidade. 3. Meios
digitais. 4. Design paramétrico. 5. Fabricação digital.
I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Arquiteto e Urbanista João Paulo Marquesini Soares

Título da dissertação: "Processo de Design em Arquitetura: complexidade e meios digitais".

Data da defesa: 10/02/2014.

Comissão Julgadora:

Prof. Assoc. **Marcelo Claudio Tramontano (orientador)**
(Instituto de Arquitetura e Urbanismo - USP)

Prof. Assoc. **Márcio Minto Fabrício**
(Instituto de Arquitetura e Urbanismo - USP)

Profa. Dra. **Regiane Trevisan Pupo**
(Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC)

Resultado:

Aprovado

APROVADO

Aprovado

APROVADO

Aprovado

Presidente e Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura Urbanismo - Professor Assoc. **Márcio Minto Fabrício**

Dedico a meus pais;

Dedico a minha família, que é mais que sangue;

E dedico a aqueles que passaram para longe.

Agradeço primeiramente aqueles que são únicos;
Aos meus pais, fonte de inspiração diária, exemplo em tudo e orgulho. A meus irmãos mais velhos, com quem aprendi muito observando e que tenho laços eternos.

Agradeço aquela família que não é sangue, mas é escolha;
Aos amigos, que por mais que passem anos sem contato sempre serão presentes. À pessoa especial, aquela que passa pela vida e muda algo na gente.

Agradeço aqueles que me mostraram o caminho na formação;
Ao nomads.usp, que é o que é, e somente assim nos forma como forma, não único, mas essencial. Ao Marcelo, que inspira aqueles que estão a sua volta e que prova que uma gota no oceano faz a diferença.

E agradeço aqueles com quem falo sozinho;
Que me ajudam, que respeitam e agradeço sempre.

SOARES, João Paulo. **Processo de *design***: Complexidade e meios digitais. Dissertação de mestrado. Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2013

PALAVRAS CHAVE: Processo de *design*; Complexidade; Meios digitais; *Design* Paramétrico; Fabricação digital.

RESUMO

Esse trabalho visa entender o processo de *design* a partir da complexidade e estabelecer princípios claros para o processo específico que utiliza de procedimentos advindos do *design* paramétrico e da fabricação digital para o desenvolvimento de objetos arquitetônicos que possuem superfícies complexas. Entendemos que o pensamento complexo, que considera a rede em contraponto a lógica linear, integra, aproxima e possibilita entender o uno composto por múltiplos e a leitura do processo de *design* a partir da lente da complexidade é um caminho para seu entendimento.

SOARES, João Paulo. *Design Process*: Complexity and digital media. Master Thesis. Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2013

KEYWORDS: *Design* process; Complexity; Digital media; Parametric *design*; Digital fabrication

ABSTRACT

This work aim to understand the *design* process from the complexity and establish clear principles for the *design* process that uses procedures arising from parametric *design* and digital fabrication for the development of architectural objects that have complex surfaces. We understand that complex thinking, which considers the network as opposed to linear logic, integrates approaches and enables understand one composed of multiple and the reading of the design process as from the complexity is a way for your understanding.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
1.1 Processo de <i>design</i>	15
1.1.1 Meios digitais e processo de <i>design</i>	16
1.1.2 Complexidade, meios digitais e processo de <i>design</i>	18
1.1.3 Design paramétrico e fabricação digital	19
1.2 Histórico de pesquisas e práticas	20
1.3 Objetivo	23
1.4 Dissertação	24
CAPÍTULO I – Complexidade, meios digitais e processo de <i>design</i>	27
2.1 Complexidade	29
2.1.1 Sistemas, organização, controle, comunicação	35
2.1.2 Fenômeno da emergência	47
2.2 <i>Design</i> paramétrico e fabricação digital na arquitetura	54
2.2.1 <i>Design</i> paramétrico e fabricação digital	54
2.2.2 Arquitetura contemporânea, <i>design</i> paramétrico e fabricação digital	64
CAPÍTULO II – Leitura de processos de <i>design</i>	71
3.1 A organização do processo de <i>design</i>	74
3.2 Objetos e categorias	78
3.3 Objetos arquitetônicos	86
3.3.1 <i>Dragonfly</i>	89
3.3.2 <i>[C]Space</i>	97
3.3.3 <i>Fab Lab House</i>	104
3.3.4 <i>Mercedes-benz Museum</i>	111
3.3.5 <i>Water Cube</i>	118

3.4 Breves considerações sobre os cinco exemplos	121
CAPÍTULO III – <i>Slice</i>	123
4.1 Designers envolvidos, seus sistemas e especialidades	125
4.1.1 Moradores	127
4.1.2 Pesquisadores	128
4.1.3 Arquitetos externos	129
4.1.4 Estudantes de graduação	129
4.1.5 Engraver	130
4.1.6 Dalmak	131
4.2 Momentos do processo de design e a alteração da unidade complexa	131
4.2.1 Da definição da meta ao evento OCUPA!	134
4.2.2 O <i>Workshop</i> Fabricação Digital	136
4.2.3 <i>Slice02</i>	138
4.3 Análise do processo de design do pavilhão <i>Slice</i>	140
4.3.1 Meios digitais	140
4.3.1 Gestão	148
4.3.1 Princípios geradores	156
4.3.1 Materialização	158
4.3.1 Objeto final	161
4.4 Alguns pontos importantes	162
CONCLUSÕES	167
5.1 Princípios para esse processo de <i>design</i>	170
5.1.1 Informação	170
5.1.2 Organização	173
5.1.3 Emergência	175
5.1.4 Procedimentos	176
5.2 Perspectivas de pesquisa	177
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	179

Protótipos apresentados no *Workshop* Fabricação Digital. Fonte: NOMADS.USP, 2012

Introdução

Na arquitetura encontramos diversos exemplos de pesquisas desenvolvidas observando o objeto arquitetônico e realizando sua leitura ou olhando para o arquiteto autor. Porém, parece instigante entender as questões que geram determinadas arquiteturas, ao invés de aceitar a criação a partir do gesto do gênio arquiteto. "Nós somos atraídos à imagem do gênio solitário que em um momento místico de introspecção muda o mundo, mas o gênio solitário é um mito; em vez disso, é a genialidade do grupo que gera inovação revolucionária" (MABLE, 2012. p.91) Assim, mais do que entender o uno parece ser interessante como o múltiplo realiza uma sequência de passos que apresentam certa unidade, para propor objetos arquitetônicos. Além disso, ainda, no contexto atual de utilização dos meios digitais integrados cada vez mais às atividades cotidianas, parece interessante observar a importância desses meios e como eles alteraram os passos que levam ao desenvolvimento de objetos arquitetônicos.

1.1 Processo de *design*

No âmbito da arquitetura, a concepção de objetos arquitetônicos envolve desenho, forma e plástica, correlacionados a outros fatores como, por exemplo,

funcionalidade, técnicas de produção e montagem. Essas ações multifacetadas do arquiteto configuram aquilo que entendemos como *design*. No sentido da raiz da palavra que tem referência ao termo *desígnio*, *design* significa desenvolver uma série de ações que visam estabelecer algo, no geral, um objeto, com suas características próprias. Ainda que o processo, que envolve ações de concepção, produção e montagem de objetos arquitetônicos, tenda a se organizar de maneira singular para cada profissional, reconhece-se um conjunto sistematizado de procedimentos e operações que comporiam o que chamamos de processo de *design*. Definimos o termo segundo alguns autores anglófonos (CUFF, 1991; EMMITT, 2008), cuja origem está atrelada a expressão *design process*. Dana Cuff sugere que se trata de um processo fortemente colaborativo, que envolve profissionais de diferentes áreas:

(...) imagine que cada indivíduo com uma voz no processo de *design* é uma espécie de *designer* – o cliente, o engenheiro, o contratante, os habitantes (...), o financiador e assim por diante. O *design* se dá quando qualquer um desses atores faz planos em relação ao futuro ambiente. (CUFF, 1991).

Stephen Emmitt menciona um campo de ação,

no qual a palavra *design*, é interpretada de forma ampla para abranger a contribuição de todos os *designers*, i. e., arquitetos, engenheiros, tecnólogos, técnicos, fabricantes de componentes, contratantes, artesãos e fornecedores especializados. (EMMITT, 2007)

A partir disso, entende-se a expressão processo de *design* referindo-se ao conjunto de ações que resulta da interação entre atores como os mencionados por Cuff e Emmitt, ao *co-laborar* (ou trabalhar conjuntamente) para a elaboração de objetos arquitetônicos, fazendo “planos em relação ao futuro” desses objetos.

Pode-se falar de diversos conjuntos sistematizados de ações que configuram processos de *design* com características específicas. Existem processos de *design* mais difundidos dentro da prática profissional, devido, em certos aspectos, a formação recorrente no ensino de arquitetura. Esses processos de *design* recorrentes são aqueles que apresentam características *top down* para a definição do objeto arquitetônico, com a hierarquização de escolhas e estruturas rígidas e lineares do conjunto de ações para desenvolvimento do objeto arquitetônico. Esses processos, no geral, são pouco colaborativos, com a

impossibilidade da conversa e a discussão propositiva entre os atores envolvidos.

Por outro lado, existem processos de *design* com características *bottom up*, com ações mescladas para o desenvolvimento do objeto arquitetônico, não relacionadas a uma sequência de passos linear e que possuem fortes características colaborativas, em que as ações para o *design* surgem a partir da troca. São ações de concepção, produção e montagem entendidas como conjuntos entrelaçados de atitudes dos *designers*, que direcionam o desenvolvimento de cada objeto específico. Essa pesquisa presa pelo estudo desses processos de *design* e tem foco, ainda, naqueles que utilizam meios digitais estruturando essas ações.

1.1.1 Meios digitais e o processo de *design*

Na arquitetura cada vez mais percebemos a utilização de meios digitais integrados ao processo de *design*, seja através de programas computacionais ou máquinas digitais de produção. Para visualizar o caminho que levou a essa integração, Helio Piñón (2009) aponta questões sobre o processo de *design* em arquitetura antes e depois do advento dos meios digitais, colocando a importância, inicial,

da discussão sobre a problemática da representação visual nesses processos e como os meios digitais auxiliam essa visualização, dizendo que:

procedimentos de simulação tridimensional, utilizados com sensibilidade e inteligência, facilitam uma aproximação ao objeto do projeto (...) permite ter consciência visual do que se propõe... (PIÑÓN, H. 2009).

O autor aponta também, um *déficit* existente na capacidade de representação visual de alunos nas disciplinas de arquitetura que, porém, parece ser superado com a utilização de meios digitais integrados as ações de *design*. Sobre a utilização de meios digitais no ensino e aprendizado de arquitetura, Celso Scaletsky, discorre que,

o ensino a partir de uma postura que concilie teoria do projeto e prática computacional exige dos professores uma mudança radical na sua maneira de agir na escola (SCALETSKY, 2006).

A necessidade da mudança é fruto do entendimento que os meios digitais não são ferramentas de representação apenas, mas sim podem ser elementos enriquecedores do processo de *design* no sentido de ampliar possibilidades e qualidades, por exemplo, técnicas do projeto. Isso deve ser

entendido por professores para ser passado aos alunos. Segundo Scaletsky, dois aspectos são muito importantes no ensino da arquitetura em ambiente computacional: o primeiro diz respeito a “aliar o ensino de projeto ao ensino dos meios para a sua realização” (SCALETSKY, 2006), não ensinando apenas como usar o programa, mas como através dele enriquecer o projeto; o segundo refere-se ao uso amplo de outros programas computacionais, não se limitando aos programas gráficos. Coloca-se a ideia de ensino não compartimentado, que integra formações como, por exemplo, informática e arquitetura, ou ainda discorre sobre a integração em um nível da utilização de diversos programas.

As mudanças acarretadas na formação do arquiteto devem, por consequência, acarretar alterações na prática profissional. Porém, o entendimento da integração entre meios digitais e processo de *design* toma o caminho inverso e é mais clara na produção prática do que propriamente na pesquisa e no ensino. Atualmente, no âmbito internacional temos exemplos como, Ben Van Berkel do UNStudio, Lars Spuybroek, do escritório NOX, Tom Wiscombe, do escritório *Tom Wiscombe Design* e muito outros que exploram o *design* baseado em procedimentos advindos dos meios

digitais integrados ao processo de *design*. Esses arquitetos tem entendido o processo de *design* a partir da lógica dos próprios meios digitais, que potencializam a comunicação, suscitam situações de interação e organizam as ações de concepção, produção e montagem no desenvolvimento de objetos arquitetônicos. Essa lógica estimula ainda que o processo seja múltiplo, explorando procedimentos recorrentes e novos de maneira mesclada dentro de um único *continuum* (SPUYBROEK, 2008).

A partir dos autores citados, afirmamos que utilização dos meios digitais acarretam alterações aos processos aos quais eles foram inseridos. Na arquitetura essas alterações se estabelecem de maneira gradativa, primeiramente através da utilização dos meios digitais como ferramentas de representação, que levaram arquitetos a perceberem que mais que ferramentas, os meios digitais podem potencializar seus próprios processos de *design*. Porém para potencialização a um nível de processo, mais do que apenas entender as funções, ou limites que, por exemplo, um determinado programa computacional pode alcançar, é necessário entender o próprio funcionamento dos programas, resultante da lógica presente nos fundamentos que dão origem aos meios digitais como máquinas

construídas pelos homens. Esses fundamentos dizem respeito a ideia de rede, “um modelo de organização abstrato, em seu sentido mais amplo preocupado apenas com a estrutura da relação entre as coisas, sejam objetos ou informações.”¹ (BURKE, 2007, p.25) Essa definição de rede está presente na raiz de todos os meios digitais e pressupõe ligação entre partes, trocas de informações e organização, todas as questões essas de ordem sistêmica e complexa. Assim, os fundamentos de origem dos meios digitais como máquina criada pelo homem tem raiz no pensamento complexo.

1.1.2 Complexidade, meios digitais e processo de *design*

Para que o processo de *design* tenha os meios digitais integrados ao seu desenvolvimento é preciso que *designers* entendam esses fundamentos. O domínio sobre esses fundamentos pode ser alcançado por duas vias: a primeira, com um domínio extensivo do funcionamento e das lógicas dos meios digitais, que são baseados na programação computacional numérica, adquirido principalmente através

¹ Do original em inglês: “A network is an abstract organizational model, in its broadest sense concerned only with the structure of relationship between things, be they objects or information.”

da prática, e; a segunda através do entendimento do arcabouço teórico que fundamenta os meios digitais que advém do pensamento complexo, com a leitura de autores que estabelecem os conceitos sobre o tema. O caminho para esse entendimento que conjuga essas duas vias é de novo interesse. Diversos autores expõem questões sobre o pensamento complexo, porém nessa pesquisa utilizaremos principalmente as definições do filósofo Edgar Morin para entender esse pensamento. Como colocado pelo autor, trata-se de uma visão ampla sobre todas as coisas vivas e construídas, entendendo como *complexus* aquilo que é tecido junto (MORIN, 2005). Assim, essa pesquisa busca na teoria um caminho para entender o processo de *design* com a utilização de meios digitais, mas, além disso, conciliará leituras práticas à aproximações teóricas também, considerando que meios digitais pressupõe o pensamento complexo e para sua integração no processo de *design*, *designers* devem agregar características complexas ao próprio processo através de suas atitudes.

1.1.3 Design paramétrico e fabricação digital

Nosso entendimento sobre processo de *design* recai sobre um processo muito específico. Nosso recorte visa entender

o processo de *design* que utiliza os procedimentos advindos do *design* paramétrico e da fabricação digital para o desenvolvimento de objetos arquitetônicos que apresentem formas complexas.

Esse recorte é necessário para entendermos as especificidades de um processo de *design* que apresenta fortes características da colaboração entre *designers* e que tem por pressuposto a utilização de meios digitais, como programas computacionais paramétricos e tecnologias de produção digital, além de meios digitais amplos como, interfaces online para troca de arquivos e comunicação entre os *designers* e etc.. Ainda que muito específico e recente dentro da grande área da arquitetura, os procedimentos do *design* paramétrico e da fabricação digital se difundem muito rápidos na prática profissional e já se ramificam caminhos na utilização deles. Assim, dentro do *design* paramétrico e da fabricação digital, temos como foco o desenvolvimento de objetos arquitetônicos que apresentam superfícies complexas. Essa escolha se deve ao fato desses procedimentos automatizarem a possibilidade tanto de concepção dessas formas, através de programas computacionais, quando de produção, através das tecnologias da fabricação digital. Essa possibilidade abriu os

campos de exploração em arquitetura a níveis anteriormente somente imagináveis e pouco factíveis. O caráter de exploração nos interessa para entender os limites da aplicação desses procedimentos dentro de uma arquitetura implantada no mundo concreto, carregado de interesses.

1.2 Histórico de pesquisas e práticas

O interesse pelo estudo de processo de *design*, complexidade e meios digitais é fruto do desejo em entender questões teóricas e práticas de maneira vinculada, resultado de um histórico criado ao longo de nove anos de formação na área da arquitetura. Grande parte desse histórico foi desenvolvido no Núcleo de Pesquisa Nomads.usp e no curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo em São Carlos.

A introdução à pesquisa em processo de *design*, relacionando teoria e prática, teve início no estágio desenvolvido dentro do núcleo, trabalhando com a concepção e modelagem de um edifício para a sede de uma empresa de automação residencial, localizada na cidade de Franca-SP. O programa funcional dos espaços elaborado

para esse projeto possibilitava a ampla utilização de meios digitais pelo edifício, proporcionando a ele características híbridas – dotado de instâncias concretas e virtuais. Assim, a equipe de *designers* trabalhou de uma maneira exploratória em questões voltadas à utilização de meios digitais inseridos e pensados conjuntamente com o edifício projetado. Além disso, os *designers* valeram-se da utilização de equipamentos como, projetores e mesas digitalizadoras durante as sessões de projeto coletivo. Essa experiência gerou discussões sobre como aqueles equipamentos, em paralelo com a utilização de programas computacionais de representação gráfica, poderiam enriquecer a concepção do edifício ou ainda o quanto o objeto arquitetônico era influenciado pelos meios digitais.

Após a conclusão do estágio começa uma pesquisa científica, financiada por uma bolsa de treinamento técnico, oferecida pelo projeto D.O.S. - *Designers On Spot*, financiado pela FAPESP (Proc. FAPESP 05/60724-6) e vinculado ao Programa Tidia-AE, ainda dentro do Nomads.usp. O projeto *Designers On Spot*, teve como objetivo, colocar o *designer* e seu o processo de *design* no foco de estudo. No decorrer do seu primeiro ano, um dos objetivos do projeto foi entender como ocorrem os

processos de *design* em arquitetura ao acrescentarem-se instâncias virtuais dentro de um trabalho colaborativo desenvolvido a distância, utilizando-se a Internet Avançada² e as ferramentas disponíveis e em desenvolvimento da plataforma Sakai³ (site: www.sakaiproject.org. Acessado em: 04/05/2011).

Dentro das atividades desse projeto, foi elaborado e implantado no Nomads.usp o *Design Lab* (http://www.nomads.usp.br/pesquisas/design/dos/design_lab. Acessado em: 06/10/2012), um laboratório dotado de características imersivas em meios digitais e equipado com equipamentos que permitam a concepção, modelagem e prototipagens em escalas reduzidas de objetos, possibilitando o desenvolvimento de processos de *design* exploratórios auxiliados por meios digitais.

Na elaboração do *Design Lab* as atividades de concepção desse espaço físico, nos levaram a entrar em contato com levantamentos e compra dos equipamentos a serem instalados. Esta atividade ampliou entendimentos sobre

² Rede pública de pesquisa acadêmica em desenvolvimento com velocidade nominal de 10 Gbps.

³ Plataforma internacional de programas computacionais de linguagem aberta (open source), para colaboração entre indivíduos ou equipes via internet.

processos de *design* a partir das práticas que se desenvolveriam nesse espaço, além de possibilitar o contato com as possibilidades e limitações de equipamentos como, telas de projeção, *scanners* 3D, *mouse* 3D e fresadoras. Pesquisas do Núcleo se utilizaram desse ambiente para verificar processos de *design*, auxiliados por meios digitais, através de sessões de projeto monitoradas possibilitando o levantamento de diversas questões voltadas ao tema.

Após o término da bolsa de treinamento técnico, as explorações sobre processos de *design* tiveram continuidade com a pesquisa “Processos de *Design*: descrição e entendimento do processo de criação de objetos interativos”, também financiada pela FAPESP (proc. FAPESP 08/55773-6). A pesquisa se vinculou ao projeto D.O.S., especificamente com o desenvolvimento de um objeto interativo em uma das três escalas trabalhadas a partir do segundo ano do projeto – escala do edifício, do objeto e do corpo –, entendendo as questões envolvidas no processo de *design* específico desses objetos.

A pesquisa do autor desenvolveu-se na escala do objeto, com o projeto ÉOS, visando entender o processo de *design*

da concepção à montagem do objeto. Nesse processo, explorou-se a colaboração entre os diferentes atores através da utilização dos meios digitais. Além disso, utilizou o conceito de sistemas, baseado nas teorias de Bertalanffy (1978), para a organização dos atores envolvidos, a fim de trabalhar métodos no processo de *design*. Teve ainda a possibilidade de utilizar, também, o espaço do *Design Lab* para algumas sessões de projeto e explorar questões voltadas às atividades dos *designers*, em um ambiente dotado de meios digitais.

As diversas atividades de pesquisa de caráter teórico e prático, desenvolvidas dentro do Nomads.usp, levaram a aprofundar o entendimento sobre processos de *design* em arquitetura, fora da esfera de pesquisa no desenvolvimento de um trabalho final de graduação que abriu os caminhos ao conhecimento das tecnologias de fabricação digital e posteriormente o *design* paramétrico integradas ao processo. Nesse trabalho final de graduação, foi desenvolvido o projeto arquitetônico de um espaço industrial de uma empresa especializada em processos produtivos *file-to-factory*. O espaço industrial abrigaria máquinas de controle numérico de diferentes proporções visando atender diferentes mercados. Além disso, o

programa funcional desse projeto arquitetônico tinha reservado uma área voltada a montagem de laboratórios de pesquisa sobre a utilização dessas tecnologias nas mais diversas áreas de aplicação – arte, *design*, arquitetura, engenharia, formação, etc.. Todo esse contexto funcional do trabalho final de graduação foi, ainda, sustentado conceitualmente por questões trazidas da teoria de geral sistêmico de Bertalanffy (1978) e aprofundado por questões do pensamento complexo de Morin (2011; 2005).

Esse histórico de pesquisas científicas e práticas de projeto levou ao desejo pelo aprofundamento na pesquisa em nível de mestrado sob esse tema, porém, ainda, outros fatores também justificam a busca por um trabalho abarcando tais questões. Dentro do saber próprio à arquitetura, a atividade projetual mostra-se de grande importância na gama de possibilidades que o profissional arquiteto pode exercer. Entender o processo de *design* pode ajudar a melhor qualificar essa atividade, possibilitar experimentações quanto à produção, construção e, inclusive, administração da arquitetura. Verificar a inserção dos meios digitais nesse contexto pode vir a nos mostrar quais são os caminhos que a presença marcante das tecnologias pode ter nas atividades do arquiteto.

Assim, além dos anseios pessoais colocados, essa pesquisa deseja fornecer insumos ao ensino de projeto em arquitetura, principalmente nas questões que envolvem os processos de *design* pautados em meios digitais. Ampliar entendimentos do processo de *design*, visando fornecer elementos para o ensino de projeto arquitetônico é um dos resultados esperados, o que pode tornar essa pesquisa exploratória uma rica fonte de discussões para debates posteriores, indicados principalmente, às disciplinas de criação, representação e linguagens.

1.3 Objetivo

O objetivo desta pesquisa é entender o processo de *design*, que se utiliza de procedimentos advindos do *design* paramétrico e da fabricação digital para o desenvolvimento de objetos arquitetônicos que possuem superfícies complexas, a partir do arcabouço teórico do pensamento complexo e, ao final, estabelecer princípios para o processo de *design* estudado.

Para alcançar esse objetivo, utilizamos metodologias já a muito estabelecidas na área acadêmica, que são:

1. Consulta a fontes secundárias e primárias;

2. Sistematização dos dados e análises;
3. Experimentação prática;
4. Sistematização e análise do experimento;
5. Análise e síntese do conjunto da pesquisa.

Buscou-se em fontes secundárias através de levantamento bibliográfico, consulta de *site de internet*, acesso a periódicos, entre outros, primeiro, embasar a esfera conceitual de observação de processos de *design* e, segundo, mapear possíveis fontes primárias, como profissionais, equipes e pesquisadores em âmbito nacional e internacional de áreas relacionadas, as quais seriam consultadas para a compreensão do processo de *design* e as ferramentas empregadas por elas. Tendo realizado esse primeiro levantamento através da consulta a fontes primárias e secundárias, sistematiza-se os dados referentes aos processos mapeados. Analisou-se esses dados, comparando, diferenciando e qualificando aspectos da utilização de instâncias informatizadas no processo de *design*, através de discussões e trocas com outros pesquisadores de áreas correlatas, visando ao amadurecimento e a uma maior consistência das primeiras conclusões.

A partir disso foi possível a realização de um experimento envolvendo pesquisadores e profissionais das áreas relacionadas, para verificação de questões levantadas nas avaliações realizadas anteriormente. Todas as suas atividades, assim como seus produtos e as avaliações dos participantes, foram observadas, tendo seus registros organizados e sistematizados em bases de dados de acordo com categorias estabelecidas, capazes de balizar sua análise. O experimento ocorreu ao longo de seis meses nos quais verificamos o processo de *design*, das ações iniciais de concepção à montagem final, desenvolvendo um objeto arquitetônico com superfícies complexas.

Tendo coletado e sistematizado dados obtidos em fontes, primárias e secundárias, e através de um experimento prático, foi possível a leitura e análise em conjunta com os pesquisadores do Nomads.usp envolvidos no tema trabalhado, no intuito de enriquecer a pesquisa e expandir as questões colocadas dentro do seu desenvolvimento. Esse desenvolvimento coletivo das análises orientou as sínteses da pesquisa, possibilitando o fechamento das conclusões finais do trabalho.

1.4 Dissertação

A estrutura dessa dissertação é composta por três capítulos com diferentes abordagens que se complementam e possibilitam, ao final da dissertação, a elaboração das conclusões da pesquisa que estabelecem princípios para o processo de *design* que utiliza procedimentos advindos do *design* paramétrico e da fabricação digital para o desenvolvimento de objetos arquitetônicos que possuem superfícies complexas.

O capítulo I revisa os conceitos que formam as bases para a análise dos processos de *design* estudados nessa pesquisa, sendo esses conceitos advindos da complexidade, que tem como principal autor o filósofo Edgar Morin. O estudo sobre esses conceitos servem de arcabouço teóricos e visa aplicar um olhar sobre os processos de *design* entendendo a relação entre meios digitais, integrados ao processo, e a complexidade. Além disso, apresentam-se os conceitos do *design* paramétrico e da fabricação digital e ainda se dá início à discussão sobre os processos de *design* de alguns exemplos de arquitetos atuais.

Na sequência, o capítulo II realiza leituras de processos de *design* que utilizam procedimentos do *design* paramétrico e da fabricação digital, explorando os conjuntos de ações nas

instâncias de concepção, produção e montagem no desenvolvimento do objeto arquitetônico. A leitura desses processos toma como base os conceitos apresentados no primeiro capítulo.

Os casos selecionados são organizados em dois grupos de objetos arquitetônicos, com suas características específicas: pavilhões e edifícios. Todos os casos, independente de seu grupo, são analisados seguindo cinco categorias que abordam questões específicas às instâncias de concepção, produção e montagem do desenvolvimento dos objetos arquitetônicos.

Por fim, o capítulo III realiza a análise crítica do processo de *design* sob a luz das reflexões teóricas esboçadas no capítulo I e das categorias de análise determinadas e leituras realizadas e no capítulo II, apresentando o experimento realizado dentro da pesquisa que teve como foco estudar o processo de *design*, abarcando as ações desenvolvidas nas instâncias de concepção, produção e montagem de um pavilhão.

O experimento teve como resultado a construção do pavilhão *Slice*, desenvolvido utilizando procedimentos do *design* paramétrico e da fabricação digital. O foco do

experimento está na relação entre os *designers* envolvidos no processo e na observação de como o uso de meios digitais diversos potencializam relações de várias ordens.

As diferentes aproximações ao tema, em diferentes esferas, realizadas nos três capítulos nos possibilitou entender o processo de *design* estudado e, ainda, estruturar princípios para esse processo de *design* que utiliza procedimentos advindos do *design* paramétrico e da fabricação digital no desenvolvimento de objetos arquitetônicos que possuam superfícies complexas. Nas conclusões apresentaremos esses princípios estruturados durante a pesquisa, com embasamento em aspectos referenciados tanto na teoria, quanto em casos e experiências voltadas a prática.

As conclusões pretendem, ainda, criar insumos para outras pesquisas sobre o tema e mostrar possibilidades de caminhos para o desenvolvimento das questões trabalhadas tanto em relação à esfera teórica quanto à prática. É esperado que esse trabalho incite profissionais e acadêmicos a explorar processos de *design* em arquitetura com a incorporação de meios digitais, como os utilizados no *design* paramétrico e na fabricação digital, estimulando a

construção e a pesquisa da arquitetura resultante desse processo.

Material de divulgação do *Workshop* Fabricação Digital e partes de um modelo físico. Fonte: NOMADS.USP, 2012

Capítulo I

Esse capítulo estabelece o arcabouço teórico para a leitura conceitual e entendimento de processos de *design* em arquitetura pautados em procedimentos do *design* paramétrico e na fabricação digital. Tratam de duas questões: a primeira, revisa conceitos do pensamento complexo enunciado pelo filósofo Edgar Morin para entender a esfera teórica que fundamenta os meios digitais que influenciam nos processos de *design* estudados; e, a segunda, revisa princípios do *design* paramétrico e das técnicas de fabricação digital e dá início à discussão sobre os processos de *design* de alguns exemplos de arquitetos atuais a partir do pensamento complexo. Em relação ao pensamento complexo, é importante ressaltar sua grande amplitude como teoria que abrange distintas áreas de formação com diversos conceitos, sendo alguns menos importantes para a criação do repertório necessário nessa pesquisa. Assim, não será realizado um aprofundamento sobre todos os conceitos relacionados ao pensamento complexo, mas uma abordagem geral seguida do exame das questões consideradas importantes ao entendimento dos processos de *design* aqui discutidos. Sobre o *design* paramétrico e a fabricação digital será delineado compreensões ao assunto, com o perpasso aos

procedimentos para o desenvolvimento de objetos arquitetônicos, com a leitura de diversos autores. Por ser uma temática recente dentro do campo da arquitetura, principalmente quando lida do ponto de vista da complexidade, o *design* paramétrico e a fabricação digital têm sido tratados de diferentes maneiras pelos seus vários estudiosos, inclusive no que se refere à sua terminologia. Por essa razão, foram escolhidos dois autores, Robert Woodbury e Branko Kolarevic, cuja interlocução seria mais evidente em função das complementações de suas proposições sobre aspectos como a utilização dos meios digitais e as habilidades necessárias dos *designers*. O aporte de outros autores, na construção desse texto, estrutura-se em torno da produção deles, no intuito de enriquecer a revisão aos princípios do *design* paramétrico e da fabricação digital.

2.1 Complexidade

É sabido nas esferas de estudos dessa teoria, que o entendimento da complexidade decorre da conjugação de três teorias, que formam a base para o pensamento complexo. Essas teorias são: 1. A teoria geral dos sistemas de Bertalanffy (1976); 2, Os estudos sobre cibernética de

diversos autores como Wiener (1954, 1948), von Neumann, Ashby (1956) e von Forster (1974); 3. Aspectos da teoria da informação e comunicação dos autores Shannon e Weaver (1948, 1993). O filósofo francês Edgar Morin, um dos principais autores que define o pensamento complexo, estabelece seu entendimento sobre a complexidade da seguinte maneira:

A um primeiro olhar, a complexidade é um tecido (*complexus*: o que é tecido junto) de constituintes heterogêneas inseparavelmente associadas: ela coloca o paradoxo do uno e do múltiplo. Em um segundo momento, a complexidade é efetivamente o tecido de acontecimentos, ações, interações, retroações, determinações, acasos, que constituem nosso mundo fenomênico. (MORIN, 2011, p.13)

A partir dos apontamentos de Morin (2011), a complexidade tem base na noção de sistemas como um conjunto de elementos em interação e aborda, principalmente, aspectos da organização, do controle e troca da informação. Diz respeito à interação entre as partes de um sistema considerado como uma trama de relações interconectadas e dependentes umas das outras. O pensamento complexo trata da organização de partes,

possibilidade de controle a partir do domínio da informação pelas partes, o caráter emergente dessa organização e a presença de fatores indeterminados nos sistemas, como será visto a seguir. Tais conceitos, necessários para o entendimento desse pensamento, são definidos a partir das três teorias mencionadas que norteiam sua formulação. Logo, antes do aprofundamento sobre a complexidade é necessário estabelecer essas bases, principalmente com foco na teoria de sistemas e na cibernética.

Charles François (1999), estudioso do campo da cibernética e da teoria de sistemas, indica que noções sistêmicas e cibernéticas, além de correlacionadas, surgem de maneira muito parecida e com uma origem remota. Em relação a essa origem, os termos que geram as palavras 'sistemas' e 'cibernética' remetem à antiguidade clássica. Na Grécia antiga, "a palavra grega '*sustema*' representava conjunto, reunião ou assembleia"⁴, e Platão cunhava o termo '*kubernetes*', que em tradução direta significa timoneiro, "já no sentido abstrato de 'piloto' de uma entidade política"⁵

⁴ Do original em inglês: "The Greek word '*sustema*' stood for reunion, conjunction or assembly"

⁵ Do original em inglês: "already in the abstract sense of 'pilot' of a political entity."

(FRANÇOIS, 1999). Com base na origem remota dos termos, é evidente o longo período de desenvolvimento dessas ideias na história humana, possibilitando que os conceitos de sistemas e cibernética perpassem diversas áreas de formação agregando às suas definições um caráter transdisciplinar. Nesse aspecto François (1999) discorre:

O olhar sistêmico e a cibernética podem ser vistos como a metalinguagem de conceitos e modelos para uso transdisciplinar, ainda hoje em evolução e longe de serem estabilizados. Este é o resultado de um processo lento de acréscimo através da inclusão e interligação de muitas noções, que vêm e continuam vindo de disciplinas muito diferentes entre si.⁶

Nesse uso transdisciplinar, as noções de sistemas e de cibernética são desenvolvidas em áreas de conhecimento como Biologia, Matemática, Física, Química e etc. Essas ciências puras ao longo da história da humanidade desenvolvem elaborações que geram conclusões pertinentes a outras áreas, mesmo a partir de suas especificidades. A ideia de sistemas foi fundamentada como

⁶ Do original em inglês: "Systemics and cybernetics can be viewed as a metalanguage of concepts and models for transdisciplinary use, still now evolving and far from being stabilized. This is the result of a slow process of accretion through inclusion and interconnection of many notions, which came and are still coming from very different disciplines."

teoria, na primeira metade do século XX, quando profissionais dessas ciências perceberam lacunas nos estudos que têm como base a observação de elementos isolados e começaram a buscar formas de entendê-los de maneira conjunta e relacional. Parecia-lhes necessário entender as relações entre as partes a partir de suas interações e qualidades que delas surgem. Sobre o surgimento da necessidade do entendimento sistêmico Bertalanffy (1977) discorre:

A necessidade resultou do fato do esquema mecanicista das séries causais isoláveis e do tratamento por partes ter se mostrado insuficiente para atender aos problemas teóricos, especialmente nas ciências biossociais e aos problemas práticos propostos pela moderna tecnologia. (BERTALANFFY, 1977, p. 28).

Ludwig von Bertalanffy (1977) é um dos pensadores que sugeriu abordagens sistêmicas em diversas áreas do conhecimento compreendendo a necessidade da transformação dessa visão em uma disciplina. Nesse sentido, a partir da publicação do seu livro *General System Theory* de 1968, Bertalanffy marca a formulação da Teoria Geral dos Sistemas. O autor (1977, p.84) define sua concepção de sistemas "como um complexo de elementos

em interação” não admitindo mais que se pense em elementos isolados do ambiente, mas sim em partes que interagem entre si e com o ambiente em que se inserem. Retoma-se a ideia platoniana de que o todo é mais do que a soma de suas partes, pois ele não pode ser explicado por características isoladas. Seria através de relações entre as partes que o todo se caracterizaria como tal, com suas interações e qualidades que assim surgem. (BERTALANFFY, 1977).

Bertalanffy defende que sua teoria abrange diversos campos de conhecimento e, em seu livro, explora como ela pode ser entendida e aplicada a essas áreas. “Pela matemática, vai expor sua teoria por meio de equações matemáticas. Nas ciências sociais, afirma que elas são as ciências dos sistemas sociais” (NOJIMOTO, 2009, p.56). Tal abrangência a diversas áreas de conhecimento solicita que, na formulação de uma teoria geral de sistemas, Bertalanffy dialogue com diversos outros autores seus contemporâneos. Assim, a teoria dos sistemas não se estabelece de maneira isolada através desse autor, mas sim, é pensada sempre de maneira interligada a outras teorias e aproximações. François (1999) mostra como diversos autores desenvolvem a noção de sistemas e têm

diálogo entre si, como, por exemplo, o caso de Nicolai Hartmann, filósofo alemão, que

(...) desenvolveu também a teoria da estratificação, ou seja, hierarquia de níveis de realidade através da sua teoria das categorias. Suas ideias foram citadas mais de uma vez por Bertalanffy (1949, 1950) e parecem ter filtrado, direta ou indiretamente, nas obras de Miller sobre sistemas vivos (1978), as de Mesarovic et al. (1970) e outros autores sobre hierarquias e, possivelmente, o conceito de van Gigh sobre metasistemas (1987b).⁷

Esses autores contemporâneos a Bertalanffy corroboram que o olhar sistêmico é uma disciplina que compreende a relação entre partes dentro de um todo, mas, além disso, propõem que a partir dessas relações é possível estudar questões voltadas a organização desses elementos. Outros círculos de estudos apontam, a partir desse entendimento sistêmico do todo, questionamentos sobre aspectos do controle e da comunicação, como possível chave para o

⁷ Do original em inglês: “(...) [Hartmann] also developed a theory of stratification, i.e. hierarchy of levels of reality through his theory of categories. His ideas were quoted more than once by Bertalanffy (1949, 1950) and seem to have filtered, directly or indirectly, for example, into the works of Miller on living systems (1978), those of Mesarovic et al. (1970) and other authors on hierarchies, and possibly van Gigh's concept of metasystems (1987b)”

entendimento da organização dos sistemas. Sobre isso, Bernard Scott (2004) aponta a utilização da Cibernética para entender esses aspectos. "Nos atuais círculos das ciências de sistemas/Teoria Geral dos Sistemas, a cibernética é frequentemente distinguida como uma subdisciplina especializada, preocupada com processos de controle e comunicação."⁸ (SCOTT, 2004, p.04)

A cibernética, que consideraremos como uma disciplina na presente pesquisa, estuda a questão do controle e da comunicação entre elementos dentro de um sistema. Aponta que o controle somente se estabelece em um sistema a partir da comunicação, que pressupõe a troca da informação estabelecendo a organização do sistema, questão que abordaremos como maior precisão ao longo desse texto. É importante dizer que o termo controle pela cibernética diz respeito à circulação da informação e não possui sentido imperativo. Enquanto disciplina, a cibernética tem raízes estabelecidas com Wiener e von Neumann em 1943 com a apresentação dos aspectos lógicos, bem como epistemológicos, da cibernética.

⁸ Do original em inglês: "In current GST/systems sciences circles, cybernetics is often distinguished as a specialist subdiscipline concerned with processes of control and communication."

(FRANÇOIS, 1999). Wiener e von Neumann dão os primeiros passos para a definição de uma disciplina centralizada, que são dados paralelamente, e com interlocução, aos trabalhos de outros autores que, na mesma época e no decorrer dos anos, também discutem questões próximas, vindo a enriquecer a formulação dos principais conceitos cibernéticos. Um desses autores é Ross Ashby, que define a cibernética como "o estudo formal das 'máquinas de todas as possibilidades'." ⁹ (SCOTT, 2004, p.03) Em seu livro, *An introduction to cybernetics* (1956), Ashby usa notações sobre sistemas para estudar questões sobre mudança, estabilidade e regulação (SCOTT, 2004), explorando compreensões sobre aspectos da organização do sistema relacionado à interação entre as partes e o controle a partir das trocas.

Nas primeiras elaborações da disciplina Cibernética, atualmente classificada como cibernética de primeira ordem, no que se refere aos seus aspectos de controle e comunicação, o caráter daquele que observa esse sistema é considerado como isento de interferência na organização.

⁹ Do original em inglês: "the formal study of 'all possible machines.' In his book *An Introduction to Cybernetics*, Ashby uses a simplified version of set theory notation to present concepts such as change, stability and regulation in complex systems."

Porém, é somente através da observação de sistemas que construímos o entendimento da comunicação entre as partes, possibilitando a organização e controle do sistema, no sentido de domínio da informação presente em todas as partes. A observação é necessária e a presença do observador de um sistema sempre interfere nessa organização. Assim, Heinz von Forster, em seu livro *The Second Order Cybernetics of Observing Systems*, de 1981, define aquilo que foi chamado de cibernética de segunda ordem, que passa a considerar, o observador do sistema como parte dele, além da interferência causada pela presença desse novo elemento à organização das partes. Von Forster definiu a cibernética de segunda ordem como “o estudo dos sistemas em observação”¹⁰ (FORSTER, 1974), em que esse observador faz parte do sistema e o altera. A partir disso, os estudos da cibernética ganham uma amplitude que entendem sistemas inseridos em ambientes e abertos a interferência inclusive daquele que o observa.

Seguindo essa contextualização é importante indicar que as questões da cibernética de segunda ordem na leitura de

¹⁰ Do original em inglês: “First order cybernetics is the study of observed systems” “Second order cybernetics is the study of observing systems”

sistemas e os principais aspectos apontados aqui, serão essenciais para as proposições sobre o pensamento complexo que Edgar Morin estabelecerá. É importante contextualizar ainda que Morin, se apropria de uma série de definições advindas de teorias e disciplinas para formular um pensamento, logo, o autor formula entendimentos específicos à uma leitura dos conceitos originais. O que faremos nesse texto é revisitar os conceitos originais visando embasar as proposições de Morin para formulação do pensamento complexo, para que ele possa ser entendido como arcabouço teórico de processos de *design*.

Assim, esse é, muito brevemente, o panorama histórico das bases para o pensamento complexo, considerando o entendimento de sistemas com seus aspectos de organização, controle e comunicação. Percebeu-se a importância de visitar essa origem histórica dos conceitos que formam a base para a complexidade, pois também nessas bases encontra-se a origem de questões que embasam aspectos de alguns meios digitais. Entender a origem desses conceitos mostrou que os meios digitais que apresentam funcionamento baseado na rede, apresentam questões pautadas no pensamento sistêmico para o a troca da informação entre máquinas e seres vivos, e, além disso,

a cibernética, entra como chave que possibilita a construção dessas máquinas pautadas no controle e na troca de informação. Esse entendimento das bases comuns presentes tanto na complexidade quanto nos próprios meios digitais, no desenvolvimento dos próprios capítulos, nos direcionam tanto na leitura de casos quanto no próprio experimento proposto. A partir disso, agora buscaremos em alguns conceitos tecer um pano de fundo preciso sobre os termos que perpassam a complexidade e que consequentemente, também embasam meios digitais pautados na pensamento em rede.

2.1.1 Sistemas, organização, controle, comunicação

Sistemas podem ser considerados de acordo com seu nível de predisposição de trocas com o ambiente em que estão inseridos, sendo classificados como abertos ou fechados. Segundo Bertalanffy (1977), sistemas fechados são “sistemas considerados isolados de seu ambiente”. Nas ciências física e química, por exemplo, os sistemas estudados são abordados usualmente segundo tal classificação, pois, nessas áreas, os níveis experimentais buscam relações específicas a comportamentos entre elementos, sem alterações a essas relações propiciadas

pelo ambiente. Assim, os experimentos são desenvolvidos em condições fechadas a variações, por exemplo, termodinâmicas, dadas pelo ambiente. No entanto, quando falamos de ciências de caráter humano ou social, falamos do estudo que envolve elementos da esfera biológica e que essencialmente são sistemas abertos inseridos em ambientes.

Todo organismo vivo é essencialmente um sistema aberto. Mantem-se em um contínuo fluxo de entrada e saída, conservando-se mediante a construção e a decomposição de componentes, nunca estando, enquanto vivo, em um estado de equilíbrio químico e termodinâmico [...]. (BERTALANFFY, 1977)

Bertalanffy (1977) define sistemas abertos a partir das ciências biológicas, em que todos os sistemas sempre sofrem interferência do ambiente de inserção, em um fluxo contínuo de trocas. Também os define em relação às ciências humanas, como na “psicologia, onde os ‘sistemas neurológicos’ foram considerados ‘sistemas dinâmicos abertos’ (KRECH apud BERTALANFFY, 1977)” ou ainda em filosofia, em que “a tendência no sentido do ponto de vista ‘trans-acional’, oposto ao ponto de vista ‘auto-acional’ e ‘inter-acional’ corresponde estreitamente ao modelo do

sistema aberto” (BENTLEY apud BERTALANFFY, 1977). Assim, entendendo que todo sistema com caráter biológico, por definição, é um sistema aberto, assim, o sistema formado por *designers* dentro de um processo de *design* em arquitetura, conseqüentemente, também é um sistema essencialmente aberto.

Morin (2005) absorve a ideia de sistema aberto, advinda de elementos biológicos, e elabora a ideia da unidade complexa organizada.

Os objetos dão lugar aos sistemas. Em lugar das essências e das substâncias, a organização; em lugar das unidades simples e elementares, as unidades complexas; em lugar dos agregados formando corpos, os sistemas de sistemas de sistemas. (MORIN, 2005, p.119)

O autor define sistemas com características complexas, como uma unidade complexa organizada, que em suas palavras, também é composto por sistemas, sendo todos eles essencialmente abertos à interferências do ambiente de inserção. Nessa pesquisa, o processo de *design* se desenvolve dentro de uma unidade complexa organizada (diagrama 01), que possui conjuntos de *designers* formando um sistema dentro da unidade complexa, mas,

além disso, cada *designer* também pode ser entendido como um sistema em si. Temos assim, nessa pesquisa, pelo menos, três níveis que estão inseridos em um ambiente, o qual interfere e altera as relações entre esses diversos componentes dentro da unidade complexa. O entendimento do que compõe a unidade complexa na qual o processo de *design* se desenvolve, é importante para compreender como cada sistema interfere na proposição do objeto arquitetônico, e ainda, como o ambiente influencia e altera todos esses sistemas. Nessa pesquisa, o ambiente será entendido como o contexto em que se insere o processo de *design*, seja ele; econômico, social, de formação dos atores envolvidos, de interesse e etc..

No trabalho de observação da unidade complexa, na qual o processo de *design* se desenvolve, é importante ter precisão na definição do nível dos sistemas examinado. Através do pensamento complexo, o observador necessita determinar qual a camada de sistemas está sendo analisada, pois o que é um "sistema" em uma aproximação pode ser um "ambiente" para outra (HENSEL, 2010), e quem determina o grau de entendimento perante um sistema é aquele que o observa.

A determinação do caráter sistêmico, subsistêmico, ecossistêmico, etc., depende de seleção, interesses, escolhas, decisões, que eles mesmos dependem de condições culturais e sociais em que se inscreve o observador/conceituador. (MORIN, 2005, p.175)

Assim, nessa pesquisa, aponta-se duas camadas principais de leitura dos sistemas, que serão tratadas ao longo de todas as explanações, tanto conceituais como de leitura e experimentação no processo de *design* em arquitetura: A primeira diz respeito ao sistema formado por *designers*; a segunda diz respeito ao *designer* como sistema. Podemos dizer ainda que o objeto arquitetônico também pode ser entendido como sistema, mas focando na interação dos *designers*, nos interessam as duas camadas apontadas. Todos esses sistemas são essencialmente abertos e estão inseridos dentro de um ambiente que influencia as interações em todos os níveis e entre eles. Para a leitura posterior de processos de *design* em arquitetura é importante considerar que as características dos procedimentos para desenvolvimento do objeto arquitetônico podem também interferir nessas interações. *Design* paramétrico e a fabricação digital possuem procedimentos com características específicas que

interferem nesses níveis, e essas características serão abordadas ao final desse capítulo.

Tendo definido essas camadas de leitura e compreendendo que existem influências causadas pelo ambiente de inserção dos sistemas, é importante abordarmos como se estabelecem as interações dentro dessa unidade complexa. A interação entre os atores que possibilita o processo de *design* está diretamente vinculada à ideia de organização. A organização da unidade complexa na qual se desenvolve o processo de *design* em arquitetura é, principalmente, constituída dos conjuntos de ações relacionadas aos procedimentos optados, pelos *designers*, para o desenvolvimento do objeto arquitetônico. No capítulo II, será definida a organização em relação ao processo de *design* específico estudado nessa pesquisa, com seus conjuntos de ações, porém, por hora, é importante entender algumas características primordiais da organização a partir da teoria de sistemas e do pensamento complexo, observando a importância da organização complexa nos processos de *design*. Sobre essas características Bertalanffy (1977, p. 74) discorre que:

São características da organização, quer de um organismo vivo, quer de uma sociedade, noções como as de crescimento, diferenciação, ordem hierárquica, dominância, controle, competição, etc. [...] A teoria de sistemas é capaz de tratar dessas matérias. É possível definir estas noções dentro do modelo matemático de um sistema.

As noções mencionadas por Bertalanffy podem também ser identificadas dentro da unidade complexa na qual se desenvolve o processo de *design*, sendo colocado pelo próprio caráter social dessa unidade. Assumindo isso, no nível sistêmico formado pelos *designers*, podemos elencar algumas características desse sistema a partir dos apontamentos do autor. O grupo de *designers* apresenta naturalmente características como: crescimento, no sentido de modificação dos *designers* em relação a aquilo que eles eram no início do processo; diferenciação entre as partes, que agrega variação ao processo; criação de ordem hierárquica, no sentido de especificar atividades aos *designers* e definir funções; e competição, que pode ser considerada para a criação da dinâmica constante entre as partes, no sistema. Esses atributos, dizem respeito à organização, considerando a troca da informação entre os componentes envolvidos a partir das interações.

Para a possibilidade da interação constante, um importante aspecto é a equipotência entre as partes, no caso, principalmente, os *designers* envolvidos no processo e seu potencial de proposição equivalente em relação ao objeto arquitetônico. Sobre esse aspecto a teoria de sistemas nos aponta algumas questões:

De início, os sistemas – biológicos, neurológicos, psicológicos ou sociais – são governados pela interação dinâmica de seus componentes. Mais tarde, estabelecem-se disposições fixas e condições de coerção que tornam o sistema em partes mais eficientes, mas também diminuem gradualmente e por fim abolem sua equipotencialidade.
(BERTALANFFY 1977, p.70)

A dinâmica descrita por Bertalanffy rege a organização de todo sistema e pode ser verificada em diversos aspectos das interações entre atores envolvidos em processos de *design*. Fatores como a hierarquização, divisão de tarefas, especializações, etc., verificam-se a partir do momento que experimentamos o processo de *design* em arquitetura atentos às interações por um viés sistêmico. A proposta para o objeto arquitetônico que surge dentro de uma equipe, no geral, é viabilizada por interações entre os *designers*, porém, como já apontado, cada *designer*

também é entendido como um sistema em si, com dinâmicas internas individuais formadas principalmente por suas cargas pessoais. Entendemos que essas dinâmicas internas aos *designers*, influenciam as interações entre eles e movimentam o conjunto de sistemas presentes no processo de *design*. Os *designers* naturalmente possuem interesses, afinidades e especializações, que ao serem assumidas tendem a levar o sistema a um estado de maior eficiência. Porém, esse estado de maior eficiência do sistema gradualmente tende a abolir a equipotencialidade de proposição de todos os *designers*, principalmente pelo menor domínio que eles vêm a ter do todo. Nesse sentido, ao cessar essa equipotência, a dinâmica de interação entre as partes tendem a deixar de existir, levando o sistema ao equilíbrio. Pelo viés do pensamento complexo, esse equilíbrio não é benéfico, uma vez que os sistemas abertos devem apresentar dinâmica baseada na interação constante entre as partes.

Para garantir essa dinâmica do sistema e buscar a eficiência na proposição do objeto arquitetônico, a comunicação, a partir da troca da informação, entre as partes é essencial para a organização do sistema, e, para que a comunicação exista, regras determinam o seu tamanho.

Há uma lei do tamanho ótimo das organizações, de acordo com a qual quanto mais uma organização cresce, maior é o caminho da comunicação e este fato, depende da natureza da organização, atua como fator limitante, não permitindo que uma organização cresça além de um tamanho crítico. (BERTALANFFY, 1977. p.48)

Dentro do sistema formado por *designers* em um processo de *design* em arquitetura, a comunicação pode ser estabelecida de múltiplas maneiras. Tanto a comunicação macro, no sentido de todos os *designers* terem visão global da unidade complexa na qual se desenvolve o processo e das ações para o desenvolvimento do objeto arquitetônico, como de maneira micro, em que *designer* a *designer*, existe a abertura para a comunicação. Nesse aspecto, quando falamos das interações em um grupo de *designers*, estabelecemos também um 'tamanho ótimo' para que o sistema formado por esses atores apresentem dinâmica que busca equilíbrio através de suas trocas. Esse 'tamanho ótimo' seria aquele que possibilita a troca da informação de maneira menos ruidosa afim de que a qualidade da informação não seja perdida.

Shannon em 1950 escreveu que uma fonte de informação "produz uma mensagem a qual consiste em uma sequência

de escolhas, por exemplo, de letras de um texto impresso ou as palavras elementares ou sons da fala." (SHANNON, 1993, p.191) No caso do processo de *design*, o *designer*, ator que domina a informação de algum aspecto, por exemplo, técnicas estruturais para o objeto arquitetônico, deve realizar uma sequência de escolhas para comunicar essa informação que é de seu domínio. Essas escolhas devem conseguir passar a informação com qualidade, no sentido de que ela seja ampla o suficiente para que o outro *designer*, responsável, por exemplo, pelos estudos de circulação do objeto arquitetônico, possa dentro da qualidade dessa informação processá-la, em conjunto com a informação que é de seu domínio e comunicar outra informação, já processada, para o primeiro *designer*, também através de escolhas que passem essa informação com qualidade. Utilizando ainda esses exemplos, é importante verificar que não basta o *designer* que domina a informação com qualidade sobre a estrutura, passar apenas uma informação responsiva, no sentido de uma única solução estrutural, esse *designer*, dentro de suas escolhas, deve passar a informação que indica primeira solução estrutural, mas ainda uma série de outras possibilidades estruturais advindas de seu conhecimento específico. Isso é

importante, pois, com o conhecimento dessa informação estrutural passada pelo primeiro *designer*, o *designer* responsável pela circulação, consegue observar essa informação comunicada e processa-la em conjunta com o seu domínio sobre os arranjos de circulação e encontrar dentro da informação de qualidade passada pelo primeiro *designer*, modos para desenvolver essa circulação. O passo inverso no sentido da troca da informação do segundo *designer* para o primeiro, também é necessário, dentro da mesma lógica da passagem da informação com qualidade, pois somente assim se estabeleceria a comunicação com um baixo nível de ruído. Esse exemplo coloca a comunicação entre *designers* um nível micro, porém a existência de níveis macro de comunicação, também podem auxiliar essas trocas da informação com qualidade, pois a possibilidade de diversos canais para a passagem da informação tende a garantir sua qualidade. Toda troca da informação, independentemente do nível, é estimulada pela organização da unidade complexa na qual o processo de *design* se desenvolve.

Por outro lado, indo novamente em direção à complexidade, dentro das interações estabelecidas em um sistema formado por *designers*, a presença de ruído nas

trocas de informação é esperada devido à possibilidade de agregar sentido e significado a certa quantidade da informação dissipada, como diz biólogo francês Henri Atlan: “a ideia de um ruído de efeitos positivos é a maneira deturpada que temos de introduzir os efeitos do sentido, a significação, numa teoria quantitativa da organização.” (ATLAN apud ALMEIDA, 2006). O *design* através do ruído somente é viável a partir da abordagem complexa voltada às interações entre diferentes atores e é um dos fatores que possibilitam aquilo que, mais à frente, nesse texto, definiremos como fenômeno da emergência. Continuando, por ora, o entendimento da transmissão da informação dentro de um sistema, Morin (2011, p.25) discorre:

Mas, muito rapidamente, a transmissão da informação ganhou um sentido organizacional com a cibernética: de fato, um ‘programa’ portador de informações não só comunica uma mensagem a um computador, ele lhe ordena certo número de operações.

É preciso entender que a informação carrega sentido e orienta as ações dos atores de um sistema, dentro de um quadro de possibilidades fornecido pela organização. Somente através das trocas da informação, e das operações indicadas por essa informação, entre *designers*,

por exemplo, que será possível alcançarmos a dinâmica necessária ao funcionamento do sistema mesmo a partir das especializações. Em sua teoria geral, Bertalanffy (1977) estabelece alguns termos, novamente através de paralelos com as ciências puras, para entender a organização em sistemas associando a informação.

Um desses termos é a entropia que na definição de Bertalanffy (1977) “é uma medida de desordem”. Porém, nos interessa as proposições de Morin (2005) que desconsideram a definição desse termo em aspectos numéricos, advindo das ciências puras, e relacionado à ordem, termo que nem será utilizado nessa pesquisa, mas sim relacionado a uma tendência dos sistemas organizados. Segundo o autor:

Quanto à noção de entropia, julgo estar fora da polémica (...) que visa a identificação da entropia com a desordem. Quanto a mim, a ideia de entropia não é (...) uma idéia física à qual eu reduzo ou conduzo a ideia de desordem. É uma ideia termodinâmica que nos conduz à ideia física geral de que existe, no tempo do nosso universo, uma tendência para degradação e para a dispersão, e, no que se refere às coisas e aos seres organizados, para a desorganização.

Concebido em termos organizacionais, o conceito de entropia *designa* uma tendência irreversível para a desorganização, própria de todos os sistemas e seres organizados. Representa uma tendência universal, isto é, não limitada aos demasiados abstratos «sistemas fechados», mas que se refere também aos «sistemas abertos», incluindo os seres vivos. (MORIN, 2005)

Como colocado por Morin, a entropia se refere a uma tendência dos sistemas organizados à desorganização. Essa tendência existe principalmente pela possibilidade da informação não ser trocada com qualidade entre os atores de um sistema, principalmente devido à abertura dos sistemas que formam a unidade complexa. A abertura do sistema o modifica, por exemplo, a partir da influência do ambiente de inserção, logo essas modificações podem alterar a informação que deve ser comunicada constantemente aos outros sistemas que constituem a unidade complexa. É importante observar que a entropia é importante dentro de sistemas, pois a tendência a desorganização leva o sistema a buscar a troca da informação, visando a organização. Assim, todo sistema deve apresentar entropia para apresentar dinâmica de interações.

Colocando isso para o processo de *design* em arquitetura, cada *designer* é um sistema aberto e faz parte de um sistema dentro de uma unidade complexa (diagrama 01). Cada *sistema*, a partir de suas especializações, por exemplo, se altera sendo influenciado pelo seu ambiente de inserção. Logo, a partir dessa alteração, deve comunicar um novo pacote da informação, fruto da alteração, aos outros sistemas que compõe a unidades complexa na qual se desenvolve o processo de *design*. A entropia, sendo o conceito que representa a tendência dos sistemas a desorganização, possibilita a dinâmica de interação entre os *designers* e estimula as trocas.

Esses termos são necessários para entender a questão da organização presente em um sistema e sua ligação com a informação, mas principalmente evidenciar a questão do fluxo da informação que se dará através da comunicação, que entenderemos ser a chave para o controle, não no sentido imperativo, mas sim no sentido organizacional de todas as partes terem domínio da informação. Wiener (1954, p.16) escreveu que "[...] a sociedade só pode ser compreendida através de um estudo das mensagens e das facilidades de comunicação de que disponha". Essa abordagem social se aplica a qualquer sistema, como, por

exemplo, o sistema formado por *designers* em um processo de *design* em arquitetura. A comunicação é, portanto, elemento chave para controle de qualquer sistema e, inclusive, à operabilidade dos meios digitais, que serão abordados posteriormente.

Ao dar a definição de Cibernética no livro original, coloquei na mesma classe comunicação e controle. Por que fiz isso? Quando me comunico com outra pessoa, transmito-lhe uma mensagem, e quando ela, por sua vez, se comunica comigo, replica com uma mensagem conexa, que contém informação que lhe é originalmente acessível, e não a mim. Quando comando as ações de outra pessoa, comunico-lhe uma mensagem, e embora tal mensagem esteja no imperativo, a técnica de comunicação não difere da de uma mensagem de fato. (WIENER, 1954, p.16)

Wiener continua, dizendo que: “Ademais para meu comando ser eficaz, tenho de tomar conhecimento de quaisquer mensagens vindas de tal pessoa que me possam indicar ter sido a ordem entendida e obedecida.” Assim, o controle baseado em aspectos de comunicação dentro de um sistema necessariamente trata do diálogo nas interações entre as partes do sistema. O controle do sistema se dá a partir do processamento da informação,

passada com qualidade, através do diálogo que alimenta o comportamento dos componentes do sistema. Em processos de *design*, o diálogo entre os sistemas da unidade complexa possibilita o desenvolvimento do objeto arquitetônico com base na circulação da informação.

Entendemos a entropia como a tendência à desorganização, que estimula a troca da informação dentro de um sistema, e que a comunicação diz respeito a também essa troca, porém como ênfase na passagem da informação com qualidade. Ambos os conceitos estão relacionados. No processo de *design*, a troca de informação entre os *designers*, proporcionada pela entropia, é importante, como em qualquer sistema, porém, além disso, é necessário que essa informação seja passada por um *designer* e absorvida por outro, com qualidade, abrindo possibilidades para que essa troca a partir da comunicação altere a informação, inclusive, de maneira inesperada e gerando novidades. É importante notarmos que todas as questões voltadas à troca da informação, tem relação com um olhar em rede, no qual a ligação entre os nós dessa rede se estabelece a partir da troca da informação. Esse conceito de comunicação é a base para meios digitais, como, por exemplo, a internet.

O diálogo e o processamento da informação podem gerar comportamentos novos para os sistemas presentes em uma unidade complexa. Esses comportamentos podem gerar características que podem ser reincorporadas ao processo. Na teoria geral de sistemas, Bertalanffy classifica a ideia de retroalimentação ou *feedback* como “o segundo conceito central da teoria da informação e do controle”. Na teoria de sistemas desse autor, *feedback* consiste no procedimento em que um receptor, responsável por captar a informação, que é passada para um componente de processamento que gera uma resposta, ou uma ação. Essa resposta gerada pode retroalimentar o receptor e gerar novas possibilidades. Essa ideia advém da concepção mecânica presente na cibernética de Norbert Wiener em relação às máquinas construídas pelo homem, no entanto, Bertalanffy constrói paralelos com essa particularidade da cibernética estabelecendo o caráter retroativo de sistemas sociais:

A teoria procura mostrar que os mecanismos de natureza retroativa são a base do comportamento teleológico ou finalista nas máquinas construídas pelo homem assim como nos organismos vivos e nos sistemas sociais. (BERTALANFFY, 1977, p.7)

Sob o olhar da complexidade, todo sistema dentro de uma unidade complexa é aberto, tendo interferências do ambiente de inserção e ainda sendo retroalimentado pelas próprias interações. A troca entre os atores gera comportamentos a partir de *inputs* (alimentação) ao sistema, que por sua vez a partir do processamento, geram *outputs* (saídas) que tornam a informação inicial diferente em relação a final. Esses *outputs*, ao retroalimentar o sistema, criam aquilo que em cibernética é chamado *feedback loop*. No caso de sistemas sociais esse *feedback loop* é constante, pois toda alteração a qualquer um dos sistemas presentes na unidade complexa tende a ser absorvida de alguma maneira pelos outros sistemas, dada a abertura deles. É importante essa conceituação para o processo de *design*, pois cada *feedback loop* modifica essencialmente os sistemas da unidade complexa, alterando o teor da informação, influenciando diretamente a proposição do objeto arquitetônico.

Além disso, a retroalimentação do sistema é um dos mecanismos que garante a sua movimentação constante, sempre considerando as interações. Dentro do processo de *design* em arquitetura, as interações entre elementos são essenciais para o estabelecimento das dinâmicas que

possibilitam o desenvolvimento do objeto arquitetônico pelos *designers* e o fluxo da informação deve ser garantido no intuito do sistema conservar dinâmica de interação. Assim, essa dinâmica deve ser estimulada e controlada no sentido da organização e através da garantia da circulação da informação, porém mantendo aberturas para a retroalimentação do sistema. Sobre esse controle, o ciberneticista Gordon Pask discorre a existência de reguladores especializados em garantir a circulação da informação:

Um CONTROLADOR é uma montagem natural ou construída que interage com seu ambiente para gerar uma estabilidade denominada a 'meta' ou 'objetivo' do sistema. [...] De fato, sempre que existe um sistema estável então a princípio, podemos considerar um subsistema atuando como um controlador que mantém a estabilidade.¹¹ (PASK, 1961, p.49, tradução nossa)

Com base na afirmação de Pask entendemos que toda unidade complexa possui um sistema responsável por

garantir sua estabilidade, que está diretamente relacionada à garantia do fluxo da informação na unidade. Os sistemas sociais, como o formado pelos *designers*, são de natureza biológica e podem se modificar e tender a um estado de equilíbrio, a partir, por exemplo, da especialização, extinguindo a equipotencialidade dos elementos, podendo levar o sistema a um estado de equilíbrio. Para que isso não ocorra é necessário um sistema, dentro da unidade complexa, que garanta a continuidade das interações entre os atores. Esse elemento que garante a dinâmica, denominado por Pask como *controlador*, nada mais é do que o responsável por garantir o fluxo da informação estimulando inclusive a retroalimentação. No caso do processo de *design* em arquitetura, o papel de controlador cabe a algum dos sistemas envolvidos no processo, sendo um *designer*, ou ainda, regras ou necessidades pré-estabelecidas que estimulem a troca de maneira a comunicar a informação com o objetivo de desenvolver o objeto arquitetônico.

Além da organização, como questão que deve ser garantida se tornando intrínseca a uma unidade complexa e que no caso do processo de *design* pode ser considerada como os princípios utilizados para o desenvolvimento do objeto

¹¹ Do original em inglês: "A CONTROLLER is a natural or constructed assembly which interacts with its environment to bring about a particular stability called the 'goal' or 'objective'. [...] Indeed, whenever there is a stable system, then, in principle, we can envisage a subsystem acting as the controller that maintains this stability"

arquitetônico, existe um fenômeno que ocorre dentro dessa unidade complexa que a cibernética chama de auto-organização. Esse fenômeno somente pode ser abordado dentro de 'máquinas' vivas que apresentam potencial de rearranjo, a capacidade ou o poder de trabalhar com o insuficiente e o vago (MORIN, 2011), característica presente nos seres vivos, e por consequência, nos sistemas sociais. Morin (2011, p.31) afirma que a

diferença de natureza, de lógica entre os sistemas auto-organizados e os outros, mostra também que há um elo substancial entre desorganização e organização complexa, já que o fenômeno da desorganização (entropia) segue seu percurso no ser vivo, mais rapidamente ainda do que na máquina artificial; mas, de modo inseparável, há o fenômeno de reorganização [...].

Esse fenômeno se trata da capacidade dos sistemas que compõe a unidade complexa de se auto arranjam em relação às interações a partir de algum estímulo, causado pelas interações ou por algum *input* vindo do ambiente. Estando a unidade complexa em movimento, os sistemas passam por um processo de rearranjo que De Wolf e Holvoet (2005 apud HENSEL, 2010) corroboram ser

autônomo. "Auto-organização é um processo dinâmico e adaptativo em que os sistemas de aquisição e de manutenção estruturam-se sem controle externo"¹². No pensamento complexo, organização e desorganização estão relacionadas. A tendência à desorganização (entropia) estimula a dinâmica de interação dos atores de um sistema para a busca da organização. Essa busca de um arranjo que atenda a organização da unidade complexa pode ser dar de maneira autônoma, caracterizando a auto-organização dos sistemas. Como já apontado, a organização tem base na troca de informação entre sistemas abertos estimulando a interação, porém ela é acordada no momento da definição de uma unidade complexa. A auto-organização consiste na capacidade dos sistemas de se auto arranjam para garantir as interações. Com a auto-organização dos sistemas é possível o surgimento de situações que tem caráter de novidade. Essas situações, que geram comportamentos de caráter novo, o pensamento complexo chama de fenômeno da emergência.

2.1.2 Fenômeno da Emergência

¹² Do original em inglês: Self-organization is a dynamical and adaptive process where systems acquire and maintain structure themselves without external control"

A partir do entendimento dos conceitos apresentados anteriormente que embasam a construção do pensamento complexo, podemos abordar uma particularidade presente em unidades complexas organizadas que somente se estabelece a partir das interações entre atores com capacidade de adaptação e auto-organização, o fenômeno da emergência. Morin (2005, p. 104) define a emergência dentro do contexto do pensamento complexo:

Podemos chamar emergências às qualidades ou propriedades de um sistema que apresentam um caráter de novidade em relação às qualidades ou propriedades dos componentes considerados isoladamente ou dispostos de maneira diferente num outro tipo de sistema.

Nessa pesquisa as principais esferas que constituem o processo de *design* em arquitetura que desenvolve o objeto arquitetônico são: *designers*, atores que fazem as escolhas voltadas ao *design*; conjunto de *designers*, agrupados por interesses dentro da unidade complexa; ambientes, em que a unidade complexa está inserida; procedimentos e ações para o desenvolvimento do objeto arquitetônico, que dentro dessa pesquisa são os advindos do *design* paramétrico e da fabricação digital; e a imprevisibilidade, que pode vir tanto

do ambiente quando de situações emergentes. As duas primeiras esferas, apontamos serem sistemas que formam a unidade complexa na qual o processo de *design* se desenvolve; o ambiente, é algo amplo no qual a unidade se insere; os procedimentos e as ações, apontamos serem a organização intrínseca a unidade complexa; e as imprevisibilidades, influenciam as interações proporcionando a auto-organização e o surgimento de situações emergentes. É importante notar que o fruto de situações emergentes internas à unidade complexa, também possuem caráter de imprevisibilidade e também retroalimentam os próprios sistemas da unidade.

Essas situações emergentes são importantes dentro do processo de *design*, pois é a partir delas que o objeto arquitetônico tende ganhar aspecto de novidade. Além disso, o entendimento da questão da imprevisibilidade colocado ao processo de *design* de uma maneira benéfica, diminuir o peso do domínio colocada aos *designers*, pois considera o imprevisto não mais como o erro, mas sim como algo que suscita novidades. É importante apontarmos que essa postura de aceite ao imprevisto somente é cabível dentro de processos de *design* que possuem os meios digitais em suas rotinas, como no *design* paramétrico e na

fabricação digital, pois necessita da automação das modificações possibilitada por eles, no intuito do rearranjo do todo, a partir do imprevisto, ser facilitado.

Sobre o fenômeno da emergência:

Um sistema exhibe emergência quando há elementos emergentes coerentes (propriedades, comportamentos, estruturas, ...) no nível macro que dinamicamente surgem a partir da interação entre as partes do nível micro. Tais emergentes são novidades no que diz respeito às partes individuais do sistema.¹³ (DE WOLF e HOLVOET, 2005 apud HENSEL, 2010, p. 12)

De Wolf e Holvoet (2005) propõem que a emergência agrega novidade em relação às partes individuais do sistema, porém como estamos em uma abordagem da complexidade, podemos dizer que a emergência agrega novidade aos sistemas que a formam unidade complexa. Essa novidade somente surge da interação entre os *designers* no nível micro, e deve ser incorporada à unidade complexa como um todo, no nível macro, seja no objeto

¹³ Do original em inglês: "A system exhibits emergence when there are coherent emergents (property, behavior, structure...) at the macro-level that dynamically arise from the interaction between parts at the micro-level. Such emergents are novel with regards to the individual parts of the system."

arquitetônico, nos *designers* ou, ainda, no ambiente, alterando o processo de *design* a partir dessa novidade. Porém essa novidade somente surge a partir de um estímulo que gera auto-organização, pois

não existe emergência se não existe auto-organização. Em sistemas complexos adaptativos que mostram comportamento emergente, o processo de auto-organização gera um todo organizado - um macro comportamento observável que se constitui a partir das interações entre as partes seguindo regras locais, além de interações entre o todo e o ambiente. (ALMEIDA, 2006, p.66)

O fenômeno da emergência é latente dentro da unidade complexa no qual o processo de *design* se desenvolve, pois as condições são favoráveis a seu acontecimento. Além do grande número de elementos que são levados em consideração como uma teia de interações, os sistemas da unidade complexa tem potencialidade de auto-organização eminente, graças a sua abertura e capacidade de incorporar imprevisibilidades, dado pelos *designers*. No âmbito da arquitetura e do processo de *design*, quando pensamos em grupos de *designers* desenvolvendo o objeto arquitetônico as características dos *designers* estimulam a emergência, pois, "as possibilidades de emergência são agravadas

quando os elementos do sistema incluem alguma capacidade, ainda que elementar, para adaptação ou aprendizagem”¹⁴ (HOLLAND, 1999, p.05). Além dessa capacidade, outro agravante para esse fenômeno é a existência de regras claras aos *designers* dentro dos limites existentes no processo de *design*.

Voltando à ideia de organização esboçada anteriormente nesse texto, ela tem relação com o domínio da informação por todos os componentes envolvidos, e esse domínio pode ser estimulado por um sistema controlador (PASK, 1961). Para a garantia da troca de informação de maneira autônoma, o sistema controlador deve apresentar abertura para que os outros sistemas construam autonomia na troca de informações também. No processo de *design*, o controlador, por exemplo, um *designer* que estimula a troca da informação, torna-se não somente um elemento responsável por esse estímulo, mas também deve possibilitar a auto-organização de todos os *designers* estimulando condições para que o fenômeno da emergência ocorra dentro do processo de *design*. Além disso, é

necessário que dentro da organização da unidade complexa seja possível contar com as novidades trazidas pela emergência, de maneira que elas retroalimentem os *designers*, possibilitando comportamentos e resultados também novos.

Como apontado por diversos autores (MORIN, 2005; HELSEN, 2010; ALMEIDA, 2006), a emergência tem caráter de novidade e aspectos de imprevisto, afinal surge de comportamentos autônomos e inesperados dos sistemas que compõe a unidade complexa. Porém, quando falamos disso para o processo de *design*, o imprevisto esbarra como uma série de previsões que devem ser muito precisas para o desenvolvimento de objetos arquitetônicos como, custos e cronogramas, para apontar, talvez, os dois principais. Assim, é necessário entender que a emergência apesar de ter essas características do imprevisível, pode ser controlada em certos aspectos, principalmente em relação a sua incorporação ao processo, e isso se dá a partir do entendimento e do desenho de regras que limitem esses comportamentos emergentes dentro do processo de *design*. Essas regras surgem derivadas da organização, que consiste nos princípios para o desenvolvimento do objeto arquitetônico, presente na unidade complexa na qual o

¹⁴ Do original em inglês: “The possibilities of emergence are compounded when the elements of the system include some capacity, however elementary for adaptation or learning.”

processo de *design* se desenvolve. No caso do processo de *design* estudado nessa pesquisa, essas regras tem relação direta com os princípios do *design* paramétrico e da fabricação digital.

As regras que estimulam situações emergentes dizem respeito a padrões nas interações entre os sistemas que compõe a unidade complexa. A partir do entendimento das principais condições para o surgimento do fenômeno da emergência, notamos que cotidianamente estamos inseridos em sistemas que apresentam tal fenômeno:

Estamos em todos os lugares em contato com a emergência em sistemas complexos adaptativos - colônias de formigas, a rede de neurônios, o sistema imunológico, a Internet e a economia global, para citar alguns -, onde o comportamento do todo é muito mais complexo do que o comportamento das peças¹⁵.

Como apontado por Holland (1997, p.02), para possibilitar o fenômeno da emergência é importante entender o comportamento do todo, que apesar de aberto ao acaso

¹⁵ Do original em inglês: "We are everywhere confronted with emergence in complex adaptive systems - ant colonies, network of neurons, the immune system, the Internet, and the global economy, to name a few - where the behavior of the whole is much more complex than the behavior of the parts."

(MORIN, 2011) apresenta padrões que possibilitam esse fenômeno. "O todo é mais do que a soma das partes destes sistemas gerados. As interações entre as partes são não-lineares, de modo que o comportamento global não pode ser obtido através da soma do comportamento dos componentes isolados." ¹⁶ (HOLLAND, 1999, p. 225) Esse comportamento global deve ser obtido a partir do entendimento de padrões que consideram a interação entre diversas esferas, configurando uma teia. Mitchel Resnick (1997) corrobora a afirmação de Holland sobre sistemas com características complexas e seus padrões que possibilitam a emergência:

Colônias de formigas, o tráfego rodoviário, economias de mercado, sistema imunológico - em todos esses sistemas, padrões são determinados não por uma autoridade centralizada, mas por interações locais entre os componentes descentralizados. Movidas pela acumulação de alimentos, os padrões de trilha das formigas são determinadas não pelas ordens da formiga rainha, mas por interações locais entre milhares de formigas trabalhadoras. Padrões de tráfego surgem de

¹⁶ Do original em inglês: "The whole is more than the sum of the parts in these generated systems. The interactions between the parts are nonlinear, so the overall behavior cannot be obtained by summing the behavior of the isolated components."

interações locais entre os carros individuais.
¹⁷ (...)

Assim, entendemos que padrões surgem a partir das interações locais que ditam dinâmicas globais dentro do sistema, porém, como já vimos, essas interações são estimuladas pela organização da unidade complexa. A partir de padrões muito precisos, fruto da organização inicial acordada à unidade complexa, as interações ocorrem de maneira autônoma, somente assim é possível pensar no surgimento de elementos emergentes que, inclusive, retroalimentem o comportamento do sistema.

A questão da emergência no processo de *design* mostra-se interessante, pois cria um olhar que considera o imprevisível como algo benéfico ao desenvolvimento de objetos arquitetônicos e não como um erro. Porém, para isso é necessária uma postura dos *designers* envolvidos em ter esse olhar que tem como base o pensamento complexo. O mais importante sobre o fenômeno da emergência no

processo de *design*, trata-se de entender que os procedimentos para o desenvolvimento de objetos arquitetônicos podem incorporar a imprevisibilidade, tanto no objeto quanto nos métodos. A imprevisibilidade se torna positiva dentro do *design* da arquitetura a partir do entendimento e do posicionamento do *designer* com o pensamento complexo aplicado a todas as coisas. A partir do entendimento das condições para o surgimento do fenômeno da emergência com a questão dos padrões e o olhar complexo, é possível entender que a partir desse fenômeno soluções com caráter de inovação são muito mais frequentes. No caso da arquitetura, soluções novas surgem de maneira natural a partir desse fenômeno. Claro que algumas novidades podem não ser eficientes, porém também devem ser consideradas, no sentido de entender o porquê de seu surgimento como elemento novo e pouco eficiente, para que esse entendimento possa ser, por exemplo, incorporado ao processo e potencializar ainda mais resultados novos e eficientes.

Assim, os aspectos da emergência são importantes, pois no processo de *design* que é pautado em meios digitais como os do *design* paramétrico e da fabricação digital em que a visão complexa e intrínseca às relações estabelecidas

¹⁷ Do original em inglês: "Ant colonies, highway traffic, market economies, immune system - in all of these systems, patterns are determined not by some centralized authority but by local interactions among decentralized components. As ant forage for food, their trail patterns are determined not by the dictates of the queen ant but by local interactions among thousands of work ants. Patterns of traffic arise from local interactions among individual cars.(...)"

graças aos fundamentos dos meios digitais, esse fenômeno ocorrerá constantemente. Além disso, as características dos sistemas que formam a unidade complexa na qual o processo se desenvolve são propícias para isso. Em processos usuais já estabelecidos, por exemplo, com fases precisamente definidas e estanques para a elaboração do objeto arquitetônico, os imprevistos que surgem, no geral, são considerados como erros e demandam todo um trabalho considerado extra nesse desenvolvimento. Em processos de *design* como os estudados aqui, em que as fases de desenvolvimento são consideradas mescladas, o surgimento desses imprevistos são bem aceitos, pois incitam situações emergentes cujo fruto inesperado pode agregar novidade a todo o processo, ao ser reincorporada, e ainda, inclusive, possibilita aumentar a qualidade, por exemplo, do objeto arquitetônico. Porém, isso somente é possível a partir do momento em que o *designer* assume um olhar complexo perante o processo, compreendendo que as trocas entre *designers*, estimuladas por essa postura, tende a possibilitar, ainda, a construção de conhecimento, essencial na área da arquitetura. Ou seja, exige entender relações entre partes não como ação e reação, ou a prestação de serviços, como se estabelece em

processos usuais, mas sim, como trocas advindas de ambas, no sentido da construção de um conhecimento comum aos envolvidos nessa troca.

Ainda sobre a complexidade, Morin (2011) aponta que o caráter paradoxal de algumas proposições “nos mostra que a ordem das coisas vivas não é simples, nem diz respeito à lógica que aplicamos a todas as coisas mecânicas, mas postula uma lógica da complexidade”. O pensamento complexo e os processos de *design* que se desenvolvem de maneira coletiva e *bottom up* são muito próximos, principalmente entendendo que a complexidade,

(...)não compreende apenas a quantidade de unidade e interações que desafiam nossas possibilidades de cálculo: ela compreende também incerteza, indeterminações, fenômenos aleatórios. A complexidade num certo sentido sempre tem relação com o acaso. (MORIN, 2011, p.35)

Mas ainda, a complexidade não se reduz à incerteza, e sim a incerteza no seio de sistemas que apresentam organização que apresentam padrões claros. (MORIN, 2011, p. 35) Esses padrões possibilitam a ocorrência do acaso, sendo ele esperado no sistema, possibilitando, por exemplo, no processo planejar sua existência. Como já

apontado, em processos convencionais a incerteza, nunca será bem vinda, pois a sua ocorrência acarreta uma revisão de todos os passos anteriores, dadas as características *top down* desses processos. Já nos processos aqui estudados, essa ocorrência é bem vinda e não acarreta a revisão das fases anteriores, mas sim acrescenta questões ao processo. O comportamento inesperado de um fornecedor com uma solução diferenciada, por exemplo, pode alimentar o processo como um todo possibilitando que esse comportamento altere o objeto arquitetônico, enquanto que em um processo usual, esse comportamento inesperado de um fornecedor provavelmente impossibilitaria a sua contribuição ao processo, pois em processo *top down* o espaço para o novo é limitado, principalmente pelo motivo do objetivo final já está definido, com suas características principais estabelecidas.

2.2 Design paramétrico e fabricação digital no contexto atual da arquitetura

O contexto do desenvolvimento de objetos arquitetônicos contemporâneos é formado por diversas questões que interferem no processo de *design*. Atualmente o *design* paramétrico e fabricação digital têm sua utilização

crescente na prática profissional de diversos *designers* em diferentes partes do mundo, e também no Brasil.

Buscaremos entender as bases teóricas desses procedimentos em autores como Woodbury (2010) e Kolarevic (2009) e por fim apontaremos algumas questões importantes para o entendimento da produção contemporânea em arquitetura que dizem respeito à: 1. Arquitetura entendida como um sistema de partes em interação; 2. Ao processo de *design bottom up*; 3. À relação entre arquitetura e biologia e, por fim; 4. A uma arquitetura que surge de situações emergentes. Essas questões estão interligadas e correlacionadas às possibilidades abertas pelo *design* paramétrico e pela fabricação digital no contexto da arquitetura contemporânea.

2.2.1 Design paramétrico e fabricação digital

Por *design* paramétrico entendem-se procedimentos nos quais o desenvolvimento do objeto arquitetônico é baseado no estabelecimento de relações entre parâmetros para a criação de modelos digitais. Podemos dizer que se trata de procedimentos que têm como princípio o entendimento do objeto arquitetônico como sistema de partes em interação e

que usa programas computacionais para o arranjo desse sistema. Trata-se também de um pensamento algorítmico que orienta o desenho dessas relações entre parâmetros como uma sequência de passos finita e precisa (WOODBURY, 2010). Já a fabricação digital, está relacionada às técnicas *file-to-factory* (KOLAREVIC, 2009) que, como colocado por Kas Oosterhuis (2007), consistem na “fusão sem emendas do processo de *design* na produção. Envolve a transferência direta de dados de um programa computacional de modelagem 3D para uma máquina de produção (...).” Ou seja, refere-se ao vínculo direto entre aquilo que é concebido digitalmente e seu processo produtivo.

Para entender o *design* paramétrico, é necessário entender o conceito de parâmetro e como ele é apropriado em arquitetura. “Na matemática, parâmetros são valores que podem ser atribuídos a uma determinada variável, permitindo o cálculo de diferentes soluções para um problema. Toda equação expressada através de parâmetros é uma equação paramétrica” (CELANI, 2003, p.21). Gabriela Celani traz essa definição advinda da matemática para explicar a questão dos parâmetros relacionados a soluções de problemas numéricos, e como tal ideia pode ser

aplicada no desenvolvimento de objetos arquitetônicos. Nesse sentido, Celani (2003, p.22) aponta que, na arquitetura, “diferentes parâmetros são também utilizados na definição de diferentes formas a partir de um mesmo conceito”, assim pode-se dizer que a partir da determinação dos parâmetros e a partir das alterações dos valores dos mesmos, é possível chegar a diferentes propostas de objetos arquitetônicos, que, porém, possuem as mesmas características fundamentais. Como apontado por Celani (2003, p.22),

na natureza, parâmetros são utilizados na geração de formas diferentes, porém com as mesmas características fundamentais. Isso permite a geração de uma grande quantidade de indivíduos com características próprias, porém definidos com a mesma fórmula.

Vislumbra-se a ideia de um projeto em arquitetura que, a partir dos mesmos parâmetros, apenas com a alteração de seus valores, possa ter diversas propostas e, ainda assim, manter as mesmas características fundamentais. Nesse sentido, é possível pensar no desenvolvimento de objetos arquitetônicos em que o produto final tem sua importância relativizada pela possibilidade de se estabelecer e interligar parâmetros para a criação de um sistema, resultando em

um objeto arquitetônico que se torna uma possibilidade dentre diversas proposições talvez igualmente adequadas. As alterações de valores não modificam apenas os aspectos formais do objeto, qualquer de suas características pode ser afetada quando alteramos os valores dos parâmetros, como por exemplo, características de desempenho estrutural, de conforto, funcionais, entre outras.

Blanko Kolarevic (2009) corrobora essa ideia lembrando que no *design* paramétrico, “são os parâmetros de um projeto particular que são declarados, não a sua forma. Ao atribuir valores diferentes para os parâmetros, objetos ou configurações diferentes podem ser criadas.” Trata-se do desenvolvimento de objetos arquitetônicos através da definição das relações entre parâmetros e não do desenho através da definição formal, essa, que, a partir do *design* paramétrico, surge do entrelaçamento de parâmetros. Porém, desenvolver o objeto arquitetônico a partir dessa lógica da ligação de parâmetros, e, a priori no processo, desconsiderando os aspectos formais, requer alterações na postura do *designer*. Como colocado por Woodbury (2010, p.24):

O *design* paramétrico depende de estabelecer relações e a boa-vontade (e capacidade) do *designer* para considerar a fase de definição dessas relações como parte integrante mais ampla do processo de *design*. Inicialmente, requer do *designer* dar um passo para trás na ação direta do criar e se concentrar na lógica que liga o projeto conjuntamente.

Woodbury (2010) discorre que, no *design* paramétrico, o *designer* deve, antes de tudo, assumir uma postura diferenciada. No *design* paramétrico, as ações de definição dos parâmetros do projeto e das relações entre eles ocupam mais tempo no processo de *design*. Demanda do *designer* a consciência de que o objeto final dificilmente será visualizado inicialmente, procedimentos que, para *designers* com formação clássica em processos usuais em arquitetura, podem causar estranheza. Porém, essa mudança de paradigma é importante ao se falar de *design* paramétrico. É necessário entender, principalmente, que “a mudança baseada em processos é muito mais significativa do que a mudança formal.” (KOLAREVIC, 2009), ainda que, as mudanças formais possibilitadas pelo *design* paramétrico sejam também importantes dentro dos projetos em arquitetura.

Também sobre essa necessidade de mudança de postura do *designer*, entender a utilização de parâmetros dentro do processo de *design* leva ao estudo dos procedimentos específicos do *design* paramétrico que, apesar de dependerem da utilização de programas computacionais, têm como principal aspecto essa postura do *designer* em relação ao processo de *design*.

Design paramétrico é mais sobre uma atitude de espírito do que qualquer aplicação de programa computacional particular. Tem suas raízes na concepção mecânica, e como tal, empresta aos arquitetos pensamento e tecnologia. É uma maneira de pensar que alguns *designers* podem achar estranho, mas o primeiro requisito é uma atitude de espírito que busca expressar e explorar as relações. (WOODBURY, 2010)

Apesar do *design* paramétrico não estar ligado a um programa computacional particular, ele está ligado a um conjunto de programas computacionais com características extremamente específicas, sendo uma dessas características o trabalho em rede entre diferentes funcionalidades, que interligam, por exemplo, exploração formal às análises estruturais ou de conforto. Essa lógica em rede presente nos programas computacionais do *design*

paramétrico é a mesma presente nas redes telemáticas possibilitadas pelas conexões via internet, por exemplo. O *design* paramétrico, assim, possui uma lógica do pensamento em rede que vem das próprias características dos programas computacionais e impele ao *designer* entender esse raciocínio em rede, para aplicá-lo tanto à utilização dos próprios programas, quanto ao processo de *design*.

Ainda como colocado por Woodbury (2010), o *design* paramétrico empresta pensamento e tecnologia ao *designer*. Em relação ao pensamento, esse da rede, entende-se a relevância para a utilização dos programas computacionais e também para a própria aplicação no desenvolvimento do objeto arquitetônico através de parâmetros. Sobre a tecnologia, ela coloca ao *designer*, ainda, as possibilidades de processamento superiores das máquinas, quando comparadas ao dos seres humano. Vislumbra-se a partir do *design* paramétrico, propor o trabalho conjunto entre criatividade humana e poder de processamento das máquinas. Esse trabalho se estabeleceria pelo diálogo entre *designer* e programa computacional, considerando o *designer* capaz de descrever regras que interliguem parâmetros propostos para

fundamentarem o objeto arquitetônico no programa, que deve devolver respostas muito além daquelas imaginadas pelo *designer*, devido a seu maior limite de processamento.

A descrição dessas regras que interligam parâmetros, no *design* paramétrico, são algoritmos, que, na área da informática, campo no qual esse termo é mais difundido, consiste no desencadeamento de uma sequência lógica de questionamentos com respostas precisas que direcionam a solução de um problema.

Um algoritmo é um processo computacional para tratar um problema num número finito de passos. Trata-se de dedução, indução, abstração, generalização e lógica estruturada. É a extração sistemática dos princípios lógicos e o desenvolvimento de um plano de solução genérica. Estratégias algorítmicas utilizam a busca de padrões repetitivos, princípios universais, módulos intercambiáveis e *links* indutivos.¹⁸ (TERZIDIS, 2006, p. 65)

¹⁸ Do original em inglês: "An algorithm is a computational procedure for addressing a problem in a finite number of steps. It involves deduction, induction, abstraction, generalization, and structured logic. It is the systematic extraction of logical principles and the development of a generic solution plan. Algorithmic strategies utilize the search for repetitive patterns, universal principles, interchangeable modules, and inductive links."

Levando esse entendimento para o processo de *design* pautado no *design* paramétrico, o *designer* passa a trabalhar na elaboração dessa sequência de passos a serem seguidos, demandando a capacidade de descrevê-los de maneira clara, para o arranjo da informação dentro da proposição do objeto arquitetônico baseado em parâmetros interligados. Logo, como já explanado, não se pode falar de um processo de *design* que defini o aspecto formal para posteriormente detalhar o objeto, mas sim de um processo de *design* que tem foco na elaboração desses algoritmos alimentados por parâmetros, todos definidos pelos *designers*. Pode-se dizer que o processo *bottom up* surge naturalmente, pois somente através do pensamento algorítmico, que consiste em uma lógica de arranjo e interligação entre parâmetros e não de definição do todo, é que o *design* paramétrico se estabelece na prática de arquitetura.

O processamento de informações colocado pelos programas computacionais no *design* paramétrico em diálogo com o potencial criativo do *designer* possibilita, por exemplo, que o objeto arquitetônico seja uma proposta dentre diversas possibilidades apontadas pelos programas computacionais a partir do processamento das informações inseridas. A

avaliação dessas possibilidades para assumi-las como propostas para o objeto arquitetônico dentro do processo de *design*, parte da capacidade de escolha e discernimento do *designer*. Parece ser importante uma postura de receber as possibilidades colocadas pelos programas computacionais e avaliá-las, escolhendo aquela que se mostra adequada a situação de projeto específica. Parece ser importante ainda, que para que essa escolha não seja infundamentada, o *designer* deve ter capacidade de justificá-la, e a leitura das práticas que utilizam procedimentos do *design* paramétrico parece evidenciar que essa justificativa vem do conhecimento do *designer* sobre o funcionamento desses programas computacionais, pois conhecendo os processos que levam o programa computacional a gerar possibilidades, o *designer* torna-se consciente sobre aspectos da informação disponibilizada pelo programa que, a priori, somente com a observação das possibilidades podem ficar escondidos.

Além disso, ainda sobre a capacidade de processamento dos programas computacionais no *design* paramétrico quando, a partir de uma escolha de projeto do *designer* e da determinação disso através de regras, as possibilidades geradas pelo programa computacional podem ser

reinseridas como informações que alterem parâmetros, ou seus valores, gerando novas possibilidades para o objeto arquitetônico, assim, é necessário novamente utilizar o processamento das máquinas, agora na escolha da proposta. Ao reinserir possibilidades geradas pelo programa novamente nele, é provável que a quantidade de possibilidade geradas se ampliem, chegando, por exemplo, a um nível que a avaliação do *designer* torne-se incabível e sendo necessário utilizar, novamente, o potencial de processamento das máquinas, agora, para a avaliação e determinação da proposta do objeto arquitetônico. A essa regra determinada pelo *designer* de reinserção de possibilidades geradas e avaliação das novas possibilidades geradas a partir da inserção das primeiras, descreve-se como um potencial generativo para todo esse processamento.

O termo 'generativo' vem de um entendimento que relaciona ciências puras, como matemática e biologia, que entende uma sequência de perguntas retroalimentadas pelas soluções propostas, de gerações em geração. Atualmente no *design* paramétrico, os estudos sobre logaritmos generativos têm sido bastante explorados e apresentam questões bastante específicas que não são

necessários para entendimento sobre o *design* paramétrico buscado aqui. É importante mencionar esse campo de estudo, pois ele mostra-se como uma possibilidade no *design* paramétrico que evidencia características importantes, como a presença de meios digitais e o potencial alçando a partir deles. A questão dos processos generativos de criação são bastante reconhecidos e estudados na área da biologia.

Em relação aos aspectos que aproximam características da biologia à área da arquitetura, principalmente a partir do *design* paramétrico, Tom Wiscombe (2005) discorre:

Contudo, apesar de suas semelhanças, alguns dos termos primários com que tanto a arquitetura como a biologia são concebidas, tornam-se diferentes em espécie ao invés de grau: o que a arquitetura chama de função, no sentido dogmático, a biologia chama de comportamento. O que a arquitetura chama de ordem, a biologia chama de código de DNA. A biologia define seus processos de forma dinâmica e generativa enquanto os processos da arquitetura continuam tendendo a ser entendidos como fixos e estáveis.¹⁹ (WISCOMBE, 2005)

¹⁹ Do original em inglês: "Nevertheless, despite their parallels, some of the primary terms with which both architecture and biology are concerned turn

A arquitetura que tem o processo de *design* desenvolvido a partir de procedimentos do *design* paramétrico pode subverter a característica colocada como usual por Wiscombe (2005), que aponta os processos em arquitetura como fixos e estáveis. O *design* paramétrico torna possível que a arquitetura defina seus processos de forma dinâmica e, inclusive, generativa como na biologia.

Não somente nas dinâmicas do processo de *design* que ganham características que podem ser ligadas a dinâmicas biológicas, mas também os resultados formais dos objetos arquitetônicos apresentam semelhança com formas encontradas na natureza. Nos estudo de exemplo perceberemos isso com maior clareza, porém percebe-se que no *design* paramétrico, pelas características apontadas anteriormente, estética tem outra raiz que não os valores ou referencias do *designer*. Nesse sentido, notamos nessa arquitetura,

que a estética é derivada do aspecto funcional do projeto, que por sua vez foram

out to be different in kind rather than degree: what architecture calls function, in the dogmatic sense, biology calls behavior. What architecture calls order, biology calls DNA scripting. Biology, it turns out, defines its processes dynamically and generatively, while architectural processes still tend to be understood as fixed and stable."

deduzidos a partir da lógica técnica do sistema de construção. Assim, o 'processo de construção' foi como 'o DNA de criação', em que buscas quantitativas se tornam qualitativas.²⁰ (CHATURVEDI; et. al. 2011)

O *design* paramétrico abre possibilidades para a proposição de superfícies que remetem a formas biológicas, com superfícies complexas. Essa forma é fruto de um processo de *design* que considera as informações fornecidas pelos *designers* no intuito de elaborar um objeto arquitetônico como uma malha de parâmetros interligados. Para agregar ao projeto do objeto arquitetônico características físicas, os meios digitais parecem ser importantes para que a partir das informações de projeto, fruto do diálogo entre *designer* e programas computacionais, que são ricas e vastas, seja possível a produção física dos componentes que fazem parte desse objeto e também a sua montagem, concretizando aquilo que no processo apenas era projetado. Para isso o *design* paramétrico deve funcionar em conjunto com máquinas de produção digital possibilitando a

produção do objeto arquitetônico, através da fabricação digital.

Em outras palavras, os processos de descrição e construção de um projeto podem ser extraídos, trocados, e utilizados com facilidade e maior velocidade. Enfim, com o uso das tecnologias digitais, a informação do *design* é a informação da construção. (KOLAREVIC, 2009).

Graças à informação presente nos programas computacionais ser de caráter numérico, ela pode ser acessada de diferentes maneiras e passada a outros meios digitais através da comunicação numérica. Assim, como colocado pelo autor, a informação do objeto arquitetônico presente nos modelos digitais, por exemplo, pode ser passada a máquinas e produzidas fisicamente. Essa possibilidade coloca ao processo de *design* a possibilidade dos meios digitais não apenas possibilitarem modelos digitais, mas também modelos físicos através de máquinas de controle numérico, CNC (*Computer Numerically Controlled*). Assim voltando a questão das possibilidades de controle formal e proposição formal inserido pelo *design* paramétrico, a partir da fabricação digital se torna cabível também a materialização do objeto arquitetônico. As

²⁰ Do original em inglês: "It is interesting to note that the a esthetics were derived from the functional aspects of the *design*, which in turn were deduced from the technical logic of construction system. Thus the 'process of making' was as 'the DNA of the creation', where quantitative pursuits become qualitative."

máquinas de controle numérico são capazes de produzir peças inteiramente diferentes entre si, de maneira seriada, a partir das tecnologias que possibilitam a leitura da informação digital e sua materialização. São exemplos dessa tecnologia, as máquinas de corte controladas digitalmente ou ainda máquinas de adição de material por sobreposição de camadas, sendo que essas tecnologias possuem máquinas de diferentes escalas de produção, desde máquinas que somente podem ser instaladas em grandes galpões, como os industriais, ou ainda máquinas de pequeno porte, para serem usadas em escritórios.

Dessa maneira, dentro do processo de *design* pautado no *design* paramétrico, entende-se os modelos digitais do objeto arquitetônico como informação numérica, possível de produção tanto em escala reduzida como em escala real. Na fabricação digital, adota-se a ideia de uma produção que trabalha com o arquivo digital do projeto sendo enviado e produzido diretamente na indústria, processo *File to Factory*. Essa transferência de dados pode ser realizada para produção de modelos de estudo, durante o desenvolvimento do objeto ou mesmo para a produção final de edifícios completos.

Grande parte do mundo material hoje é criado usando processos nos quais a concepção, produção e montagem estão se tornando relativamente contínuos, e que dependem da colaboração entre *designers*, possibilitada pelas tecnologias digitais - um *continuum* digital desde a concepção à produção (KOLAREVIC, 2009). Esse processo é facilitado a partir do entendimento de que meios digitais fazem parte do processo de *design* e suas lógicas de funcionamento são índices para proposição do objeto arquitetônico. A partir da exploração do *design* paramétrico, as ações voltadas à criação precisam ser revistas e o projeto pensado através de lógicas de programação, advinda, por exemplo, das ciências computacionais, como colocados por Kolarevic (2009), “equações podem ser usadas para descrever as relações entre objetos, definindo assim uma geometria associativa - a geometria constituinte que é mutuamente vinculada.”. Evidencia-se, nesse sentido, o caráter de formação multidisciplinar do *designer*, ao utilizar os procedimentos do *design* paramétrico e da fabricação digital.

Considerando que a arquitetura advinda do *design* paramétrico é baseada em valores numéricos, o *designer* assume a função de programador também, e o

conhecimento da linguagem de descrição dos logarítmicos, que geram o objeto arquitetônico, é importante. Dado o vínculo entre, a postura de proposição de objetos arquitetônicos através de parâmetros interligados e a necessidade da descrição desses vínculos em um programa computacional, os princípios para o processo de *design* pautado no *design* paramétrico e na fabricação digital são muitos diferentes dos princípios de outros processos de *design* convencionais na disciplina da arquitetura. O *design* paramétrico e fabricação digital utilizam a tecnologia, tanto para arranjo e visualização, através do uso de programas computacionais, como para fabricação de componentes físicos, através de máquinas que dialogam diretamente com eles. Essa possibilidade visa testar soluções propostas, a partir de protótipos, e também construir o objeto arquitetônico em escala real através das mesmas tecnologias. Com isso, o processo torna-se dinâmico, pois as alterações referentes ao objeto arquitetônico podem ser visualizadas e avaliadas inúmeras vezes possibilitando *feedback loop*. Associados à criatividade humana, o *design* paramétrico e a fabricação digital permitem a inserção e a manipulação de parâmetros e algoritmos para criar propostas que atendam às definições iniciais e ambientais.

Logo, os programas computacionais e as máquinas para a fabricação digital não são apenas ferramentas de representação, mas sim, parte inerente do processo.

Observar os procedimentos do *design* paramétrico posteriormente às explanações sobre complexidade parece mostrar a ligação entre esses dois aspectos, que em um primeiro momento podem parecer distantes. O *design* paramétrico impele ao *designer* um pensamento em rede para a proposição do projeto, porém esse mesmo pensamento deve ser aplicado ao nível da relação entre diversos *designers* envolvidos no processo. O *design* paramétrico apoia-se em uma lógica sistêmica aplicada a diferentes níveis dentro do processo. A lógica sistêmica aplicada ao objeto arquitetônico, ou, como visto no início do capítulo, aplicada às relações entre *designers*. Assim, dizemos que o *design* paramétrico estimula as questões colocadas pelo pensamento complexo como a necessidade da organização no nível dos *designers*, que aberta a *inputs* do ambiente deve sofrer auto-organização, criando, por exemplo situações emergentes. As novidades que podem vir a surgir de situações como essa podem ser inseridas na proposição do objeto de arquitetura e, o *design* paramétrico por ser automatizado por meios digitais, permitindo que

essa inserção acontece rapidamente no nível sistêmico do objeto arquitetônico.

2.2.2. Arquitetura contemporânea, *design* paramétrico e fabricação digital

A arquitetura consiste em muito mais do que apenas a proposição formal de objetos, diz respeito ao desígnio de aspectos de engenharia, administração, filosofia, direito, psicologia e etc., formando um objeto. Essa leitura da disciplina de arquitetura remete à antiguidade clássica, em que os responsáveis pela criação arquitetônica eram profissionais com múltiplas formações, que passavam por: matemática, física, biologia, filosofia e outras. Portanto, poderíamos dizer que a arquitetura surge como uma profissão múltipla. Falar de arquitetura acaba sendo trabalhar com esferas diversas funcionando de maneira conjunta, sendo isso relativo a projeto, construção e utilização, colocando, assim, a noção de sistema e vendo a arquitetura como um complexo de elementos em interação (BERTALANFFY, 1977).

A visão sistêmica aplicada à arquitetura não se trata de uma noção recente. Diversos movimentos da história da arquitetura claramente possuíram um viés sistêmico em

suas proposições e novamente essa postura toma força através de alguns de arquitetos atuais. Escritórios como, *UNStudio*, *NOX*, *TomWiscombedesign*, *Contemporary Architecture Practice*, entre outros, apresentam produções e discussões que não pensam apenas a arquitetura como objeto. Esses grupos desenvolvem arquitetura com foco no processo, utilizam noções teóricas que derivam do pensamento complexo para orientar seus processos de *design*, e ainda, entendem o próprio objeto arquitetônico como um sistema, também com características complexas. Nos processos de *design* desses arquitetos, o importante está nos procedimentos para o desenvolvimento e no arranjo dos componentes do objeto arquitetônico e não mais na definição inicial formal para seu posterior detalhamento. O objeto é fruto de um sistema de partes interligadas determinado pelos *designers* em um processo de *design* coletivo possibilitado por uma visão em rede colocada pelos meios digitais como os do *design* paramétrico e da fabricação digital. O processo de *design* desses grupos deixa de ser linear remetendo, agora, a uma espiral crescente, na qual cada passo revisita o anterior, baseado principalmente nas trocas entre os envolvidos,

estimulando, inclusive a construção de conhecimento através dessas trocas.

Os objetos arquitetônicos desenvolvidos com essas características possuem uma geometria que “não é da secção, elevação e planta, mas que tenta prever estas três - construção, percepção e ação - dentro de um único *continuum*”²¹ (SPUYBROEK, 2008. p. 56). Desenvolvem-se projetualmente por características voltadas a variedade, continuidade, desempenho e emergência de características não programadas, porém que podem ser absorvidas. Objetos que não são mais elaborados de maneira *top down* em “que formula-se um conceito de *design* geral e, em seguida, refina-se o projeto em níveis sucessivamente mais detalhado”²² e sim por procedimentos *bottom up*, como apontado por Ali Rahim (2009) do *Contemporary Architecture Practice*, em que os *designers* começam a partir da determinação das partes individuais e

(...) ligam esses elementos juntos para formar componentes maiores, até que o

²¹ Do original em inglês: “is not one of section, elevation and plan, but one that tries to envisage these three – construction, perception and action – within a single continuum”

²² Do Original em inglês: “formulate an overall *design* concept and then refine the *design* at successively more detailed levels”

conjunto completo surja. Cada etapa do processo remodela e redirecionar a próxima. Assim, podem surgir novas associações e resultados que não foram previstos.²³(RAHIM, 2009)

Por um viés do pensamento complexo, o processo de *design* que vê o objeto arquitetônico como sistema, considera entender e propiciar condições necessárias para que o objeto arquitetônico surja como fruto das interações entre *designers* influenciadas por *inputs* do ambiente de inserção da unidade complexa na qual o processo de *design* se desenvolve. Alguns *designers* desenvolvem conceitos arquitetônicos que entendem a arquitetura como o fruto de situações emergentes, uma arquitetura emergente, como é o caso de Tom Wiscombe. Para entender esse fenômeno, Wiscombe (2005) utilizando paralelos com a biologia e transpõe a lógica natural dos sistemas biológicos para o desenvolvimento de objetos arquitetônicos. Nesse sentido o arquiteto cita paralelos entre arquitetura e sistemas biológicos, sobre o fenômeno da emergência, através de exemplos como:

²³ Do Original em inglês: “(...) linking these elements together to form larger components until a complete assemblage emerges. Each step in the process reshapes and redirect the next. Hence, new associations and outcomes may arise that were not anticipated.”

- 1 Blood-comb Jellyfish, água-viva que vive nas profundezas do oceano. Fonte: Monterey Bay Aquarium Foundation, 2012

- 2 Esquerda: Rudolf von Laban, Labanotation, "Neigungen der B-Skala." Choreutik, Grundlagen der Raum-Harmonielehre des Tanzes (1991). Direita: Leonardo da Vinci, Desenho do homem vitruviano (1487). Fonte: SPUY-BROEK, 2008.

*A blood-comb jellyfish*²⁴, um animal que co-evoluiu de duas espécies com DNA distintos: uma água-viva transparente, e uma colônia bioluminescente de bactérias. Locadas junto aos tentáculos vibratórios da água-viva, as bactérias produzem um efeito de luz e cor caleidoscópica, que afasta da água-viva seus predadores naturais. Este é um efeito irreduzível emergente que é produzido através do entrelaçamento de sistemas... soa como arquitetura para mim.²⁵ (WISCOMBE, 2010)

Wiscombe traz essa explicação para entender o fenômeno da emergência e aplicá-lo a seus projetos de arquitetura, considerando o caráter sistêmico do objeto arquitetônico, por paralelos com outras áreas de conhecimento como a biologia. É importante apontar que mais do que apenas a observação de outra área de conhecimento e a apropriação de suas características para a arquitetura, torna-se

²⁴ Blood-comb jellyfish: Uma espécie de água-viva que habita oceanos profundos.

²⁵ Do original em inglês: "The blood-comb is a creature that co-evolved out of two distinct species with distinct DNA: a transparent jellyfish, and a colony of bioluminescent bacteria. Attached to the vibrating combs of the jellyfish, the bacteria produce a kaleidoscopic color and light effect, which disguises the jelly from its deep-water predators. This is an irreducible emergent effect which is produced through the interweaving of systems... sounds like architecture to me."

importante o entendimento baseado nas lógicas que podem ser correlacionadas entre as diferentes áreas. No processo de *design bottom up*, torna-se possível não mais ter referências utilizadas apenas como inspiração para a concepção do objeto arquitetônico final, mas sim a utilização de referências que são entendidas em seu nível comportamental e de propriedades, que podem ser transpostos à arquitetura, fazendo com que o objeto arquitetônico não seja, por exemplo, uma réplica formal de uma referência biológica, mas sim o fruto de lógicas relacionadas a comportamentos e propriedades dessas referências aplicadas à arquitetura.

Ainda sobre paralelos à outras áreas, visualizar a malha de interações presentes no processo de *design* em arquitetura é um esforço que demanda uma aproximação gradativa, que em alguns casos pode ser facilitada por esses paralelos. Por exemplo, podemos dizer que arquitetura se constrói em ambientes e considera o 'ambiente' como parâmetros para sua elaboração. Não somente os ambientes, mas os seres que o movimentam e que criam dinâmicas de funcionamento através de seus comportamentos dentro do espaço. Em relação aos *designers* em interação desenvolvendo o objeto

arquitetônico, eles são um dos níveis que podem propiciar a emergência, influenciados pelas suas cargas pessoais, pelo ambiente de inserção e pelos procedimentos de desenvolvimento do objeto arquitetônico.

Formas biológicas e seus comportamentos emergem de interações. É o processo que produz, elabora e mantém a forma ou estrutura dos organismos biológicos (e das coisas não biológicas também), e este processo consiste de uma série complexa de trocas entre o organismo e o seu ambiente.²⁶ (HENSEL, 2010. p. 13).

Assim como as formas biológicas, a arquitetura é fruto de um processo dinâmico que tem base em situações de trocas realizadas por seres vivos. Como resultado desse processo de trocas, e principalmente como fruto de uma postura dos *designers* em entender o objeto arquitetônico também como sistema, essa arquitetura ganha características novas quando comparada a objetos arquitetônicos resultados de processos convencionais. Essa arquitetura emergente depende do controle garantindo a troca de informações que

devem qualidade e variedade para que possam ser conjugadas e gerarem parâmetros e logaritmos formando o sistema do objeto arquitetônico. O controle para a circulação da informação do objeto arquitetônico precisa dos meios digitais e as tecnologias do *design* paramétrico e da fabricação digital são importantes para a viabilização dessa arquitetura.

A partir da complexidade, o processo de *design* como teia envolve considerar diversas esferas como, *designers*, meios digitais, ambiente, etc., e nesse sentido, essa teia considera uma quantidade de informações de diferentes qualidades que a mente humana pode apresentar limites para a absorção e o rápido processamento, mesmo através da comunicação entre as partes. Logo, a utilização de procedimentos para o desenvolvimento do objeto arquitetônico, que tem como base a utilização de meios digitais, é essencial para a proposição dessa arquitetura emergente.

Assim, podemos pensar essa arquitetura utilizando o potencial das máquinas para tornar possível o fluxo contínuo da informação, seja como arranjo de componentes que geram o objeto arquitetônico, seja como trocas entre

²⁶ Do original em inglês: "Biological forms and their behavior emerge from process. It is process that produces, elaborates and maintains the form or structure of biological organisms (and non-biological things), and that process consists of a complex series of exchanges between the organism and its environment."

atores dos diversos níveis sistêmicos da unidade complexa. O *design* paramétrico e a fabricação digital então vislumbram ações que constituem a organização da unidade complexa na qual o processo de *design* se desenvolve. Essas ações envolvem todas as instâncias presentes no desenvolvimento de objetos arquitetônicos, das concepções iniciais às ações de montagem do objeto final, inclusive, possibilitam por representações diversas a visualização da informação do objeto arquitetônico, considerando, ainda sim, que mesmo nesse processo de *design* que tem características complexas, “o desenho é, para o arquiteto, o meio pelo qual o pensamento arquitetônico se desenvolve [...]” (GHIZZI, 2005). Logo, como mais uma possibilidade de visualização dos arranjos desenvolvidos no processo de *design*, os modelos digitais ganham uma amplitude muito além do que a simples representação visual. A representação ganha possibilidades através de modelos tridimensionais de servir como modelos de dados baseados em parâmetros, ou seja, modelos que facilitam o fluxo da informação dentro do processo.

Os processos de *design* que essa pesquisa pretende entender levam em conta a interação entre partes que realizam planos em relação ao futuro de um objeto.

Designers são componentes de uma unidade complexa formada por múltiplos sistemas. Sistemas compostos por sistemas com dinâmicas próprias, em interação e que dada suas características complexas propiciam o fenômeno da emergência, em diversos níveis.

Uma grande quantidade de elementos em interação que somente máquinas seriam capazes de processar. Processos, organizados e observados, mas que contam com a aleatoriedade e imprevisibilidade somente controlada e processada pelo cérebro humano capaz de trabalhar com o insuficiente e o vago (MORIN, 2011, p.36).

Como colocado por Morin, podemos dizer que o processo de *design* pautado no *design* paramétrico e na fabricação digital alinha o potencial de processamento da grande quantidade da informação com a capacidade do ser humano de trabalhar com o insuficiente e o vago, criando um vínculo entre meios digitais e *designers*, que vislumbram uma arquitetura que ganha características diferenciadas em relação a processos de *design* que não exploram tais procedimentos.

A partir da revisão teórica sobre a complexidade, estabelecemos um olhar capaz de orientar as leituras de

princípios do processo de *design* em arquitetura pautados no *design* paramétrico e na fabricação digital, em diferentes aproximações. Nos processos de *design* estudados nessa pesquisa, *designers* ganham o papel de gerenciadores dentro do processo e não apenas agentes criativos da forma, mas sim administradores, ou programadores, na escolha de componentes que serviram como parâmetros para suas propostas. O arranjo entre os diversos sistemas presentes na unidade complexa configurada dentro do processo de *design* resultará em situações emergentes que direcionais o desenvolvimento do objeto arquitetônico.

Discussões coletivas para o desenvolvimento do objeto arquitetônico. Fonte: NOMADS.USP, 2012

Capítulo II

Tendo desenhado o arcabouço teórico dessa pesquisa, a partir da revisão dos conceitos apresentados no capítulo I, esse capítulo visa realizar a leitura de cinco objetos arquitetônicos analisando seus processos de *design*, a partir de categorias. Porém, antes de começarmos as análises, esse capítulo apresentará nosso entendimento sobre a organização da unidade complexa na qual os processos de *design* se desenvolvem. Entendemos essa organização como os conjuntos de ações relacionados aos procedimentos para o desenvolvimento do objeto arquitetônico. Esses conjuntos de ações são divididos em três instâncias: concepção, produção e montagem. Definiremos essas instâncias, entendendo as ações envolvidas e como elas se relacionam no processo de *design*. Sobre os objetos arquitetônicos escolhidos para análise, todos atendem necessariamente o pré-requisito de serem construídos, para assim ser possível observar processos que contemplem temporalmente as ações iniciais de concepção até as finais de montagem do objeto, e ainda foram divididos em dois grupos, pavilhões e edifícios, que serão melhores definidos a seguir. Por fim, mostraremos as categorias de análise que guiam o olhar sobre os processos de *design*, com os aspectos considerados mais relevantes

dos exemplos de objetos arquitetônicos, sendo possível então a leitura desses objetos. É importante ressaltar que todo esse caminho que antecede a análise dos processos de *design* dos objetos arquitetônicos levantados, assim como as próprias análises, tem como pano de fundo o pensamento complexo.

3.1 A organização do processo de *design*

Se, como vimos no capítulo anterior, o desenvolvimento de objetos arquitetônicos constitui um processo de interações dentro de uma teia, esse processo não é, em si, um sistema, mas ocorre no interior de uma unidade complexa, na definição de Edgar Morin. Essa unidade complexa na qual o processo de *design* se desenvolve, necessita de uma organização que, por sua vez, produz uma dinâmica de interações. Entendendo que:

Numa primeira definição: a organização é a disposição de relações entre componentes ou indivíduos, que produz uma unidade complexa ou sistema, dotada de qualidades desconhecidas ao nível dos componentes ou indivíduos. A organização liga, de modo inter-relacional, elementos ou acontecimentos ou indivíduos diversos que, a partir daí, se tornam os componentes de um todo. Garante

solidariedade e solidez relativa a estas ligações, e portanto, garante ao sistema uma certa possibilidade de duração apesar das perturbações aleatórias. Portanto a organização: transforma, produz, liga, mantém. (MORIN, 2005, p.101)

Na unidade complexa na qual se desenvolve o processo de *design* de que estamos tratando nessa pesquisa, essa organização se dará a partir de conjuntos de ações que dividiremos nas instâncias: concepção, produção e montagem. Apesar de entender o processo de *design* aqui tratado sem fases estanques definidas e sem linearidade na sucessão dessas ações, é necessário entender as qualidades dessas ações para que seja possível a análise do processo de *design*, desde a definição de metas iniciais até a finalização da montagem do objeto definitivo. Colocando um olhar advindo do pensamento complexo, é importante apontarmos, que a teia de relações estabelecida na unidade complexa, que possibilita o processo de *design*, não consiste apenas nas interações entre os sistemas, mas as próprias atitudes dos *designers* seriam compostas de ações interligadas, como uma teia também. Sendo assim, as ações desenvolvidas dentro de suas instâncias não estão

isoladas, mas afetam diretamente umas às outras nas diferentes instâncias.

A instância de **concepção**, diz respeito a um conjunto de ações que busca estabelecer as definições para a formulação do objeto arquitetônico. No âmbito virtual, essas ações referem-se à utilização de programas computacionais para, por exemplo, a programação de modelos virtuais, visualização e análises de comportamento, representação do objeto arquitetônico e definição de organogramas para a troca da informação. No âmbito analógico, trata-se, por exemplo, da utilização de desenhos feitos manualmente, a análise de modelos físicos produzidos digitalmente e sua manipulação manual e o estudo de gestos que orientem a montagem do objeto arquitetônico a partir da produção digital. As ações realizadas nos dois âmbitos apresentam uma relação de dependência mútua, sendo as ações com suportes analógicos permitidas pelas ações com suportes digitais e vice-versa.

Como **produção**, entendemos o conjunto de ações que diz respeito especificamente à fabricação de partes físicas dos objetos arquitetônicos. Está relacionada à construção de

conhecimento sobre máquinas ou processos de materialização de maneira a instruir as ações de concepção e montagem do objeto arquitetônico. Assim como na concepção, as ações perpassam tanto o âmbito digital como o analógico. No digital, diz respeito às ações presentes nos procedimentos de fabricação digital como, por exemplo, tecnologias digitais para a produção rápida de protótipos, corte de chapas, máquina de fabricação de modelos físicos por adição e subtração, ou ainda, as ações da fabricação em série de componentes diferentes entre si. A esfera analógica abarca as ações que utilizam ferramentas usuais para a fabricação, por exemplo, a produção de peças idênticas entre si fabricadas em uma bancada de corte com serra circular, ações que usam ferramentas analógicas. Essas ações de produção englobam a fabricação de peças, componentes e objetos em diversas escalas dimensionais que podem ser agrupadas por seus interesses no processo de *design*. O primeiro interesse são os modelos em escala reduzida (1:5, 1:10, 1:20, etc..) que podem ser produzidos parcialmente, representando apenas partes dos objetos arquitetônicos, ou integralmente mostrando o seu todo. O segundo são os modelos parciais em escala real (1:1) e o objeto arquitetônico final, fabricados em sua totalidade. As

ações de produção no âmbito digital e analógico utilizam tecnologias semelhantes nas diversas escalas, por exemplo, a tecnologia de corte a *laser* utilizada tanto para corte de modelos físicos reduzidos como para grandes peças nas indústrias, isso possibilita que sejam realizados muitos estudos sobre essas ações em modelos físicos, que podem ser aplicados na produção do objeto arquitetônico final.

Através da tecnologia CNC os arquitetos podem reposicionar o projeto estrategicamente com os processos de fabricação e construção, de modo que a informação do *design* se estende para além da representação para incluir um conjunto altamente preciso de instruções utilizadas para conduzir os processos de manufatura.²⁷ (MARBLE, 2012. p.09)

O projeto de arquitetura, como dito por Marble, tem as ações de concepção reposicionadas tomando como base as ações da produção e montagem. A partir dos meios digitais, falamos da informação dos modelos do objeto arquitetônico alimentando todas as ações, independente da instância.

²⁷ Do original em inglês: "Through CNC technology, architects can reposition *design* strategically within fabrication and construction processes, such that *design* information extends beyond the representational to include highly precise set of instructions used to drive manufacturing processes."

A instância de **montagem** abriga a confecção de qualquer modelo a qualquer momento do processo de *design*, e não apenas, nem principalmente para a finalização do objeto arquitetônico. No digital, diz respeito à utilização de tecnologias que auxiliem à confecção do objeto arquitetônico através da ligação de peças ou componentes fabricados. Essas ações, por exemplo, são realizadas por braços mecânicos ou mesmo máquinas pensadas especificamente para a montagem, ou ainda, ações que utilizam ferramentas digitais para calibrar e auxiliar essa confecção do objeto, como ferramentas de nível e metragem digital, ou computadores calibrando espaçamentos entre peças. De maneira analógica, diz respeito às ações que envolvem a percepção humana na elaboração de gestos físicos, movimentos, da montagem e utilizam ferramentas não digitais. Por exemplo, a percepção do montador na repetição de uma sequência de passos para a confecção de uma vedação, a partir de peças diferentes entre si. As ações de montagem são verificadas utilizando-se os componentes fabricados nas diversas escalas das ações de produção, sendo assim possível, que as ações de montagem não se restringem à finalização do objeto arquitetônico, mas através dos modelos em escalas

reduzidas ou parciais em escala real, alimentando as ações de concepção e produção.

A fabricação digital em escala 1:1, também estabelece novas soluções para processos de montagem fora do canteiro, com todas as vantagens da pré-fabricação e sua capacidade de acelerar cronogramas de construção, reduzir desperdício e melhorar a qualidade, exatidão e precisão.²⁸ (MARBLE, 2012)

Como colocado por Marble, as possibilidades da fabricação digital alteram as posturas das ações realizadas em canteiro, sendo possível antever questões e até mesmo sugerir novos procedimentos para a realização da construção final do objeto arquitetônico. Tais alterações são frutos do entendimento das ações de montagem, presente durante todo o processo a partir da fabricação digital de modelos físicos reduzidos que cria entendimentos que devem ser levados ao canteiro de montagem do objeto final.

²⁸ Do original em inglês: "The digital fabrication one-to-one also sets up new solutions for off-site assembly processes with all of the advantages of pre-fabrication and its ability to accelerate building schedules, reduce waste and improve quality, accuracy and precision."

As ações para o desenvolvimento de objetos arquitetônicos, independente de suas instâncias, possuem igual importância para o processo de *design* e temporalmente ao desenvolvimento do objeto, são mescladas, não apresentando uma sequência linear. Em processos usuais, podemos falar das mesmas ações para o desenvolvimento do objeto arquitetônico, porém, nesse caso, essas ações tem um arranjo linear em sua sequência de acontecimento, sendo as ações de concepção realizadas no início do processo, para posteriormente serem realizadas ações de produção do objeto arquitetônico final apenas, e por último as ações de montagem, efetivando o objeto construído. No processo estudado nessa pesquisa, a mescla das ações acarreta que fases usualmente estanques, presentes ao final do processo, possam ser inseridas a momentos iniciais do processo, possibilitando, por exemplo, antever problemas, ou ainda, basear o objeto arquitetônico a partir de disponibilidade da produção e montagem local. Altera-se a ideia da linearidade dentro do processo de *design* e instaura-se a ideia de um ciclo de ações em constante interação, fruto da teia que interliga diretamente essas ações.

Sendo esses conjuntos de ações a organização da unidade complexa na qual se desenvolve o processo de *design*, é somente a partir dela, que podemos falar do surgimento de comportamentos emergentes, pois Morin aponta a relação entre a organização e as qualidades novas que surgem dela.

O sistema possui algo mais do que os seus componentes considerados de modo isolado ou justaposto:

- A sua organização;
- A própria unidade global (o «todo»);
- As qualidades e propriedades novas emergentes da organização e da unidade global. (MORIN, 2005, p.103)

Esses três pontos considerados por Morin, são dependentes e configuram a unidade complexa e a dissociação deles se propõe apenas a visualizar sua importância, pois o próprio autor afirma que separa

estes três termos de maneira muito abstrata, porque a organização e a unidade global podem ser consideradas como qualidades e propriedades novas emergentes das inter-relações entre partes; porque a organização e as qualidades novas podem ser

consideradas como traços próprios da unidade global; porque a unidade global e as suas qualidades emergentes podem ser consideradas como os próprios produtos da organização. (MORIN, 2005, p.103)

Assim como Morin, nessa pesquisa abstraímos a ideia das instâncias de conjuntos de ações dissociada da emergência apenas para elucidar seus entendimentos no processo de *design*, pois, esses conjuntos de ações são o que possibilitam situações emergentes dentro da unidade complexa. Nesse sentido, no processo de *design* aqui estudado, somente a partir da organização e do entendimento daquilo que a compõe, é que os *designers* serão estimulados a situações emergentes capazes de gerar qualidades ou propriedades novas (MORIN, 2005).

Ainda que a mescla de ações não seja exclusiva dos procedimentos advindos do *design* paramétrico e da fabricação digital, pois, por exemplo, no processo de *design* de Frei Otto, ações de concepção e montagem também são mescladas nos modelos físicos do projeto do Parque Olímpico de Munique, é exclusiva, e diferencial, a possibilidade do estudo de diversas possibilidades de propostas de superfícies complexas com as mesmas características essenciais. Ainda usando o exemplo do

projeto de Frei Otto, a mescla das ações existe, porém somente é possível o estudo de uma possibilidade para as superfícies complexas propostas, pois, sua alteração demanda um recálculo de todo o conjunto, que seria analógico. Já com o *design* paramétrico, esse recálculo é automatizado, realizado pelos meios digitais, possibilitando, assim, a criação de diversas propostas com as mesmas características, mas diferentes entre si, geradas a partir da mescla de ações.

3.2 Objetos e categorias

Em arquitetura, observar-se diferentes tipos de objetos, sendo cada um dotado de especificidades, porém a unidade complexa na qual o processo de *design* se desenvolve, apresenta a mesma organização para a proposição desses diferentes tipos de objetos. As especificidades dos diferentes tipos de objetos arquitetônicos, porém, influenciam nos *inputs* à unidade complexa afetando o desenvolvimento do processo de *design*. Assim, como forma de verificar experimentações práticas acerca dos princípios dos processos de *design* abordados nessa pesquisa, serão apresentados e analisados exemplos de objetos arquitetônicos construídos, que utilizem

procedimentos do *design* paramétrico e da fabricação digital no processo de *design* e que apresentem superfícies complexas, a partir de dois grupos: 1. Pavilhões, que, no geral, apresentam caráter temporário; 2. Edifícios, que possuem, no geral, um caráter de permanência construída muito maior, em comparação aos anteriores. A questão do tempo de permanência do objeto construído, influencia uma série de questões para o desenvolvimento desses tipos de objetos arquitetônicos e sobre essas e outras especificidades comentaremos brevemente.

PAVILHÕES

Por pavilhões entende-se como espaços múltiplos que não agregam necessariamente uma função específica ao objeto arquitetônico. Tem, em geral, um porte reduzido, quando comparados a outros tipos de objetos, em virtude disso apresentam subconjuntos²⁹ como, estruturas, instalações

²⁹ Nas áreas da arquitetura e engenharia civil, aquilo que chamamos de subconjuntos da construção, são usualmente conhecidos como subsistemas construtivos. Optamos por não utilizar a expressão subsistemas construtivos, pois, nesse texto, em diversos momentos usaremos os termos sistemas e subsistemas pelas definições teóricas colocadas no capítulo I. Assim, para evitar o entendimento equivocado de termos similares, mas utilizados em contextos diferentes, buscamos outra expressão para tratar o assunto.

elétricas e hidráulicas, coberturas, vedações, etc., simplificados. Essas características primárias possibilitam ao processo de *design*, das ações iniciais à montagem do objeto final, ter maior abertura à experimentação, possibilitando aos *designers*, dessa forma, explorar procedimentos ainda novos e encarar a presença de imprevisto com maior abertura. Graças a essas características dos pavilhões, verificamos um grande número de realizações desse tipo de objetos explorando o *design* paramétrico e a fabricação digital, em função, principalmente, de tais procedimentos serem recentes no contexto da arquitetura.

Em geral, existe um menos compromisso funcional desses projetos, pois, não abrigam funções ou atividades elaboradas que devam ser realizadas durante anos ou décadas, como no caso dos edifícios permanentes. Por isso, também, pode-se permitir que o projeto seja mais exploratório e caso imprevistos de projeto venham a acontecer, não existe nenhum funcionamento de atividades importantes de uma empresa ou de um órgão público que será comprometido, por exemplo. Nos pavilhões, a menor quantidade de atores envolvidos, como arquitetos,

financiadores, consultores, usuários, executores, etc., com interesses diversos, colocam limites também mais flexíveis a essas elaborações. No geral, os interesses desses envolvidos tendem a visar a novidade, ou de procedimentos para o desenvolvimento de objetos arquitetônicos ou de materiais aplicados a arquitetura, por exemplo. Assim, o caráter de novidade, independente sobre qual aspecto, é comumente presente nesse tipo de objeto. Essas características, correntemente, colocam aos pavilhões um caráter de pesquisa, principalmente voltada à prática do desenvolvimento de objetos arquitetônicos.

A abertura e flexibilidade das propostas de pavilhões são importantes para entender novidades, que, quando envolvem questões de tecnologia, como é o caso do *design* paramétrico e da fabricação digital, necessitam de muitos testes nos quais os resultados, no geral, são imprevistos. Porém, esses imprevistos ajudam a entender o novo e os pavilhões se prestam a isso. As mesmas características de exploração que podem caber aos pavilhões acabam por torna-los exemplos que não abarcam diversas questões presentes no desenvolvimento de outros tipos de objetos arquitetônicos. Por exemplo, observando apenas

pavilhões não é possível entender como os interesses de uma empresa, de influência global, interferem no desenvolvimento de um objeto arquitetônico, ou ainda, como os limites e regras colocadas por legislações vigentes em determinado país, devem ser considerados no processo de *design* de um objeto arquitetônico que utiliza procedimentos ainda muito novos para a arquitetura. Sendo assim, somente os estudos de pavilhões não são suficientes para suprir o entendimento do processo de *design* focado nessa pesquisa.

EDIFÍCIOS

Edifícios são objetos arquitetônicos que, no geral, abrigam funções específicas. Nessa pesquisa, nos interessam os edifícios que apresentam diversos subconjuntos, como os listados anteriormente, cada um com suas especificidades, sendo necessária a presença de atores especialistas para cada subconjunto. A escala dos edifícios, sua complexidade, acaba por ditar que o tempo para o seu desenvolvimento seja maior, inclusive, na ordem de anos, para a finalização do processo de *design*. Além do tempo de desenvolvimento, os edifícios perduram por décadas, sendo necessário garantir no projeto, a funcionalidade e a durabilidade do

objeto ao longo de sua vida. A partir dessas características dos edifícios, a quantidade de atores envolvidos é muito maior e a diversidade de seus interesses também, o que, em certos aspectos, dificulta a adoção de uma postura exploratória dos diversos aspectos envolvidos no processo de *design*, sendo necessário considerar escolhas, por exemplo, já testadas, avaliadas e de uso corrente para os objetos arquitetônicos. Porém, o processo de *design* deve considerar esses limites impostos também como um dado para o desenvolvimento, e interessa observar essas questões específicas dessa escala em um processo como o estudado aqui, podendo enriquecer seu entendimento. Um exemplo de limite, que gera questões importantes ao processo, é o interesse financeiro envolvido, que é, no geral, de maior magnitude e cercam o surgimento de situações imprevistas, sendo necessário considerar isso no processo. O processo de *design* de edifícios, tem ainda, reguladores, em alguns casos, muito rígidos, como cronograma de execução e planilhas orçamentárias, que devem ser considerados e que também influenciam o processo de *design*.

Ainda sobre a questão de limites colocados ao processo de *design*, no geral, os atores envolvidos no processo devem atender um compromisso com o funcionamento desses objetos. Diferentemente dos pavilhões, que são mais flexíveis, os edifícios, no geral, devem ter funcionamento pleno, por exemplo, com um edifício de escritórios tendo que receber e abrigar seus funcionários de maneira confortável, diariamente, não podendo existir problemas de circulação, iluminação, ventilação, etc., limitando assim escolhas e experimentações. Por fim, uma última questão que torna importante a análise de edifícios é a relação entre um processo de *design* que possui conjuntos de ações para o desenvolvimento do objeto arquitetônico com características não lineares, a partir de ações mescladas e alternadas de concepção, produção e montagem, mas que devem ser desenvolvidas, por exemplo, com base em cronogramas rígidos. Tal questão agrega aos princípios do processo de *design* um importante aspecto a ser considerado nas análises, por exemplo, até qual ponto essa mescla de ações pode ser considerada.

Para a análise de pavilhões e edifícios, estipularam-se **cinco categorias** que direcionaram o entendimento do

processo de *design*. Essas categorias perpassam o processo de *design* como um todo, abordando aspectos das ações de desenvolvimento dos objetos nas instâncias de concepção, produção e montagem. São elas: Meios digitais, Gestão, Princípios gerativos, Materialização e Objeto final.

MEIOS DIGITAIS

Os meios digitais são essenciais em processos de *design* que tem base em procedimentos do *design* paramétrico e na fabricação digital. Aprofundando a abordagem sobre esse aspecto, é importante entender a questão de como os meios digitais, desde programas computacionais que criam suporte ao *design* paramétrico e as tecnologias de fabricação digital, são importantes em relação à informação presente na unidade complexa. A partir do pensamento complexo, entendemos que o principal aspecto que garante as dinâmicas de interação entre os *designers*, possibilitando o processo de *design*, é o domínio da informação por esses envolvidos. Nessa categoria, a relação entre informação e os meios digitais será analisada em dois níveis, estimulada pelo pensamento em rede, natural da utilização de alguns meios digitais e base do pensamento complexo.

O primeiro trata-se de um nível micro em que o *designer* alimenta o meio digital com informações e esse meio disponibiliza essas informações de diversas maneiras. Por exemplo, o *designer* utilizando um programa computacional para análise de conforto térmico de um objeto arquitetônico. Esse *designer* alimenta um programa a partir da informação que é de seu domínio no projeto e o meio digital devolve essa informação com outra qualidade, que pode orientar as escolhas de materiais utilizados no objeto arquitetônico, para garantir o menor consumo de energia possível. Além da utilização de programas computacionais, podemos falar também dessa mesma informação que alimenta o programa, alimentando máquinas de controle numérico, possibilitando outra leitura da informação através de modelos físicos. É importante perceber que a informação e sua relação com os meios digitais, seguem ações nas três instâncias de ações no processo de *design*. Essa relação entre meios digitais, *designer* e a informação tem base na entropia (MORIN, 2005), que estimula o *designer* a utilizar o meio digital para qualificar a informação, criando parâmetros para o desenvolvimento do objeto arquitetônico.

O segundo nível, que chamaremos de macro, é no qual os meios digitais induzem a troca da informação, de domínio de cada *designer*, entre todos, no desenvolvimento do objeto arquitetônico. Essa indução fica clara quando falamos da utilização, no processo de *design*, de um modelo unificado da informação do objeto arquitetônico sendo alimentado por diversos *designers*, ou ainda, plataformas de comunicação para troca, por exemplo. Nesse nível as questões teóricas sobre a troca e a conversa entre os *designers* (SHANNON, 1993; PASK, 1961) nos orienta a entender a necessidade da troca da informação agregando qualidade, possibilitando que a mensagem passada seja compreendida, atendida e replicada dentro da unidade complexa.

GESTÃO

A ideia de gestão colocada por essa categoria pouco tem relação com o conceito de gestão aplicado a, por exemplo, de projeto, canteiro e etc. A ideia de gestão atende a considerar e conseguir trabalhar com limites impostos aos processos de *design*, seja por interesses, ou por imprevistos ocorridos no desenvolvimento do objeto

arquitetônico, a partir da utilização de procedimentos advindos do *design* paramétrico e da fabricação digital.

Assim, essa categoria objetiva entender como são tratados os limites e *inputs* do ambiente dentro da teia na qual se desenvolve o processo de *design*. Foi nomeada como gestão, por visar entender como *designers* atuam no processo de *design*, nas questões do: embate entre limites para o desenvolvimento do objeto e possibilidades dos procedimentos do *design* paramétrico e da fabricação digital; e ainda, as possibilidades de *inputs* inesperados advindo do ambiente de inserção da unidade complexa. Esses limites são impostos, por exemplo, pelos interesses dos atores envolvidos no processo de *design* de um objeto arquitetônico, como, interesses na busca por inovação de empresas que financiam o desenvolvimento de objetos ou o vínculo do nome de financiador a uma exploração que envolve tecnologias novas na área da arquitetura. Além dos interesses, os limites podem ser impostos por cronogramas, mais ou menos flexíveis, para o desenvolvimento de projeto, ou ainda, por exemplo, questões de legislação vigente a um determinado local, que receberá a implantação do objeto arquitetônico. Os *inputs* do

ambiente, dizem respeito a questões como, por exemplo, atrasos de entrega de material, condições climáticas atípicas e não previsíveis na área de montagem de um objeto arquitetônico, comportamentos inesperados de materiais novos utilizados na arquitetura quando submetidos a condições estruturais específicas, etc..

Essa categoria diz respeito ao entendimento do surgimento de comportamentos emergentes dentro desse processo de *design*. Como a partir do entendimento das condições necessárias para situações emergentes (MORIN, 2005; HOLLAND, 1998), que sempre são relacionadas a novidade, tal questão pode ser colocada ao processo de *design*. Através desse olhar teórico, buscaremos entender como na prática as regras para o surgimento da emergência são aplicadas.

PRINCÍPIOS GERATIVOS

Observaremos as questões iniciais que influenciam as ações de concepção dentro do processo de *design* aqui estudado. Chama-se a atenção, questões como, por exemplo, a utilização de referências obtidas em outras áreas como biologia e matemática, e interessa observar como questões

advindas dessas áreas podem ser integradas e auxiliar as ações de concepção do objeto arquitetônico a partir da utilização de procedimentos advindo do *design* paramétrico e da fabricação digital.

A ligação entre a biologia, matemática e a arquitetura é bastante recorrente historicamente em propostas para objetos arquitetônicos, porém, cada vez mais vem tomando amplitude dentro do cenário global, principalmente a partir dos meios digitais advindos do *design* paramétrico. Sobre a biologia, como colocado por Wiscombe (2005) “Recentes bio-teorias sobre sistemas adaptativos complexos e especialmente o fenômeno de emergência, começaram a abrir territórios que a arquitetura não pode mais ignorar se é para ter qualquer relevância, e na verdade resiliência, no futuro.”³⁰ Tal associação entre diferentes áreas de conhecimento surge, por um lado, das questões apontadas por Wiscombe que induzem a observar a arquitetura a partir de paralelos com a biologia, por exemplo, e por outro, pela difícil dissociação, primeiro, da disciplina da

³⁰ Do original em inglês: “Recent bio-theories on complex adaptive systems and especially the phenomena of emergence have begun to open up territory that architecture can no longer ignore if it is to have any relevance, and indeed resilience, in the future.”

biologia e o arcabouço teórico utilizado como pano de fundo dessa pesquisa, devido às origens nessa ciência, e segundo, da matemática em relação aos meios digitais advindo principalmente do *design* paramétrico, devido a base numérica para esses meios.

MATERIALIZAÇÃO

A produção de objetos de maneira rápida e precisa através de tecnologias digitais, amplia as possibilidades da proposição de objetos arquitetônicos. Interessa-nos entender como o potencial dessas tecnologias alimenta o processo de *design* como um todo, a partir, principalmente, das ações de produção. Sobre a materialização dos projetos em arquitetura, antes do advento da difusão dessas técnicas, encontramos apenas alguns exemplos de objetos arquitetônicos com superfícies complexas, como projetos do arquiteto Frei Otto, ou ainda de Antoni Gaudí, entre muitos outros. Porém, a partir dessa difusão, os exemplos de objeto são muito mais numerosos, devido à facilidade da materialização desse tipo de desenho. Assim, nos interessa ter um olhar atento às possibilidades que as tecnologias de fabricação digital colocam para além da exploração meramente formal, por entender que formalmente, anterior

ao advento da tecnologia, já era possível propor objetos arquitetônicos com superfícies complexas, as ações de produção somente foram automatizadas a partir dos meios digitais. Observaremos com atenção questões como, por exemplo, de qual maneira esses procedimentos da fabricação digital alteram questões de planejamento de orçamento e cronograma, ou ainda, como a escolha dos materiais para objetos arquitetônicos é influenciada por esses procedimentos.

OBJETO FINAL

Essa pesquisa tem foco no processo de *design*, sendo o objeto arquitetônico fruto de diversas situações emergentes internos a uma unidade complexa. Porém, esse objeto final nos orienta a entender algumas questões, e uma delas consideradas importantes é voltada as ações de montagem do objeto. Consideramos importante entender como as escolhas do processo de *design*, a partir das emergências, principalmente, acabam por definir a qualidade dos atores envolvidos na montagem final do objeto arquitetônico. Um processo de *design* que conta com ações de montagens inseridas desde o início dos desenvolvimentos do objeto arquitetônico, através do estudo de diversos modelos

físicos, apresenta diferenças em relação a um processo de *design* usual, em que a mão de obra se propõe apenas a executar uma série de passos sem, muitas vezes, questionar aos outros envolvidos sobre aspectos do canteiro, que são de seu domínio. Assim, essa categoria objetiva entender como nesse processo de *design*, as questões que surgem na montagem do objeto são consideradas.

A partir dessas categorias de análise, teremos atenção a cinco objetos arquitetônicos que, primeiro, agrupam-se em pavilhões e edifícios, e, segundo, tem seu processo desenvolvido a partir dos conjuntos de ações classificadas nas instâncias de concepção, produção e montagem.

3.3 Objetos arquitetônicos

Apesar de serem relativamente novos na arquitetura, os procedimentos do *design* paramétrico e da fabricação digital vêm sendo bastante explorados em diversas escalas de objetos arquitetônicos e em diferentes contextos, existindo grande número de exemplos relevantes no cenário global. É importante ressaltar que aqui nos limitamos a um número pequeno de exemplos para a

análise, em contraponto aos diversos exemplos desenvolvidos em âmbito mundial, pois os estudos voltados a processo de *design* demandam um material para a pesquisa que, no geral, acaba por não ser publicizado pelos envolvidos no desenvolvimento do objeto arquitetônico. Como pesquisa acadêmica, foram levantados números muito mais significativos de exemplos, considerando a vasta exploração desses procedimentos, porém a escolha desses cinco projetos recai ao acesso aos materiais de registros, imagens, vídeos, relatos, voltados exclusivamente ao processo de *design*, questão que acaba por limitar a seleção.

Dos cinco projetos escolhido, os três pavilhões analisados, são exemplos de objetos arquitetônicos desenvolvidos vinculados a instituições voltadas a pesquisa (universidade, instituto, etc..), fator que acarreta o registro e publicização do material coletado sobre o processo de *design*, possibilitando suas análises. A escolha dos dois edifícios analisados, por fatores específicos a cada um, foi direcionada no caso do *Mercedes-benz Museum*, por pesquisadores do Nomads.usp terem contato com arquitetos envolvidos no processo, através de entrevista, o

que possibilitou o acesso a maiores informações voltadas ao processo de *design*. No caso do *Water Cube*, por se tratar de um edifício amplamente divulgado por estar inserido no contexto de um mega-evento global, as olimpíadas de 2008, muito material, inclusive sobre seu processo de *design* acabou por ser publicado, possibilitando assim a sua análise.

1 Programa computacional de análise utilizado no processo. Fonte: WISCOMBE 2012.t

2 Análise realizada da estrutura da asa da libélula. Fonte: WISCOMBE, 2012.

3 Análise da estrutura do pavilhão proposto. Fonte: WISCOMBE, 2012.

4 Peças diagramadas para corte através de máquina de controle numérico. Fonte: WISCOMBE, 2012.

5 Montagem do objeto arquitetônico. Fonte: WISCOMBE, 2012.

6 Detalhe de umas das peças produzidas para o objeto final. Fonte: WISCOMBE, 2012.

3.3.1 Dragonfly | <http://goo.gl/TxJG4L> | acesso em: 27/09/2013 - O primeiro projeto que analisaremos é o *Dragonfly*, 2007, do Tom Wiscombe Design. Tom Wiscombe Design é um escritório cujo fundador e principal *designer* é o arquiteto Tom Wiscombe, localizado na cidade de Los Angeles, Califórnia, EUA. Wiscombe é, também, membro sênior do corpo docente da *Southern California Institute of Architecture* - SCI-Arc – e desenvolve experimentações no campo de projeto, com a produção de pavilhões e objetos diversos, com base no *design* paramétrico e na fabricação digital. Por ser um *designer* que atua no campo da prática de projeto em seu escritório, e da pesquisa, por seu vínculo como docente, Wiscombe recorrentemente desenvolve questões conceituais com fortes bases teóricas, para entender, por exemplo, processos de *design* e embasar suas práticas desenvolvendo objetos arquitetônicos. Nesse sentido, Wiscombe busca em outras áreas de formação, como a biologia, paralelos.

Como em sistemas biológicos, acho que os sistemas arquitetônicos nunca devem operar sozinhos em um estado ideal, sim em uma forma entrelaçada, excessiva, redundante, e não ideal. Isso abre todo um novo território onde as divisões entre a superfície e

infraestrutura, estrutura e ornamento, cor e padrão, luminosidade e termodinâmica, não são mais relevantes. (WISCOMBE, 2010a)

Wiscombe explora amplamente entendimentos advindos da biologia para a proposição de objetos arquitetônicos, por exemplo, afirmando que os subconjuntos da construção, por ele chamado de sistemas arquitetônicos, devem ser pensados interligados, como nos sistemas biológicos, em que o diferencial está na dependência entre os subconjuntos, como uma unidade. Através do paralelo à biologia, o *designer*, tem um olhar sistêmico ao desenvolvimento de seus objetos arquitetônicos, tanto ao processo quanto ao objeto, considerado como sistema aberto e formado de sistemas. Tal postura acaba por levar o *designer* também ao pensamento complexo. A complexidade é citada diretamente por Wiscombe, como, por exemplo, sobre a questão da inovação dentro da disciplina.

A ideia de que a inovação, quer científica, tecnológica, ou arquitetônica, é um subproduto do acaso artístico ou resultado de um gênio singular, não pode mais ser sustentada no século XXI. A teoria da complexidade revela que a inovação - a criação do novo - é o resultado direto de

processos evolutivos *bottom up*. A ciência sabe disso; indústria está aprendendo. Arquitetura está apenas começando a envolver o conceito. (WISCOMBE, 2010a)

Wiscombe coloca em seus textos e liga ao desenvolvimento de seus objetos arquitetônicos, que a inovação, termo também citado por Morin (2005, 2011), depende do condicionamento do fenômeno da emergência. Wiscombe entende que a evolução surge a partir da conjugação de propriedades distintas possibilitando comportamentos novos (MORIN, 2005; HENSEL, 2010; HOLLAND, 1998). Sendo assim, os projetos desse *designer* apresentam um processo de *design* que estão diretamente relacionadas à pesquisa aqui desenvolvida, sendo uma fonte importante, principalmente no sentido de relacionar o arcabouço teórico advindo do pensamento complexo de Morin, à prática de desenvolvimento de objetos arquitetônicos a partir de procedimento do *design* paramétrico e da fabricação digital.

Sobre o projeto *Dragonfly*, como o próprio nome se refere, Wiscombe busca entendimentos sobre a libélula para a proposta de uma instalação, em forma de estrutura arquitetônica, interna a uma sala de exposição. Formado por uma trama irregular de peças metálicas, o desenho

estrutural coloca a ideia do entrelaçamento de sistemas distintos figurando um comportamento novo, a partir da leitura das propriedades das asas da libélula. Como descrito no site do projeto, “nesta instalação, morfologia e sintaxe da libélula são empregues (...) em termos de lógicas formais e comportamentais ao invés de puramente estéticas ou estruturais”.³¹ Nesse sentido o objeto arquitetônico é desenvolvido a partir do estudo e entendimentos da eficiência da estrutura da asa da libélula transposto à proposição do objeto e não puramente reproduzindo o desenho de uma referência biológica.

Meios digitais

O *Dragonfly* se baseia na leitura de propriedades e comportamentos de uma referência biológica, e para isso, utiliza meios digitais para transpor o entendimento de uma disciplina para a outra. Como podemos ver nas figuras 1, 2 e 3, foram realizadas análises e leituras através de programas computacionais, que alimentaram a concepção do objeto arquitetônico. O projeto final surge como o

³¹ Do original em inglês: “In this installation, dragonfly morphology and syntax are employed (...) in terms of formal and behavioral logics rather than pure aesthetics or pure engineering.”

resultado da ligação de parâmetros, definidos a partir dos estudos sobre as asas da libélula. Os meios digitais, principalmente os programas computacionais paramétricos são importantes, pois, através deles é que os *designers* tem a possibilidade de descrever a ligação entre os parâmetros, de forma logarítmica, e assim o objeto arquitetônico surge como um resultado direto da relação entre esses parâmetros, possibilitando que o objeto seja baseado em propriedades e comportamentos, e não mais uma exploração em desenho apenas. Os programas computacionais paramétricos simulam a lógica natural biológicas das estruturas descrita de forma logarítmica. Na natureza o desenho da asa surge do entrelaçamento de propriedades materiais e comportamentais, fazendo com que cada libélula possua asas com diferentes desenhos, mas igualmente eficientes entre si. Essa lógica, a partir de programas computacionais paramétricos, é aplicada ao objeto arquitetônico.

Como visto nas imagens 1 e 3, o projeto é visualizado não somente como dados numéricos, mas também formalmente em modelos digitais, sendo a forma fruto das propriedades e comportamentos descritos no modelo numérico. Essa

visualização possibilita aos *designers* determinar qual solução é a ideal a ser proposta. Além disso, os meios digitais possibilitam a comunicação, através da troca das informações do projeto entre os arquitetos envolvidos e os colaboradores especialistas no desenvolvimento estrutural. Vimos que a troca da informação entre todos os sistemas da unidade complexa na qual o processo de *design* se desenvolve, é necessária para a dinâmica de interação. No caso do *Dragonfly*, os modelos, tanto digitais como físicos, são essenciais para a visualização da informação do objeto arquitetônico, principalmente devido à quantidade de partes que constituem o objeto. Sendo o objeto um elemento fruto de situações emergência entre os atores envolvidos, é necessário o *designer* ter controle da informação resultante dos programas computacionais, e somente através de modelos é que isso é possível.

A proposta final do objeto arquitetônico é composta por diversos componentes interligados formando o conjunto da estrutura da instalação. Os meios digitais também foram utilizados nesse projeto para criar guias muito precisas para essa montagem. Primeiramente, através dos programas computacionais, esses componentes são dispostos e

otimizados para produção em máquinas digitais, mas, além disso, para a orientação das ações de montagem desses componentes, foram necessárias guias, que se tratam de manuais para as ações (figura 4). Além disso, os meios digitais de fabricação, possibilitam a marcação dessas diversas peças, podendo relacionar peça produzida e guia de montagem (figura 6). Quando falamos de objetos arquitetônicos compostos componentes diferentes entre si nessa grande quantidade, essas guias são indispensáveis para a finalização do objeto arquitetônico e os meios digitais são responsáveis pela automatização de sua elaboração.

Gestão

Os interesses envolvidos no processo de *design* do *Dragonfly* são voltados ao campo da exploração e pesquisa. Por tratar-se de um pavilhão que tem aspectos de instalação artística, os *designers* envolvidos tem interesse de explorar questões conceituais relacionados com a prática e devido às características da intervenção, isso se torna possível. Como colocado por Wiscombe (2005a), o processo de *design* do *Dragonfly* é a aplicação massiva de um processo *bottom up*, no qual o objeto arquitetônico surge

do entrelaçamento de comportamentos e propriedades entrelaçadas gerando componentes interligados, obtidos do trabalho entre diversos sistemas dentro da unidade complexa, engenheiros, arquitetos e etc., Os limites colocados ao processo de *design* são amplos no sentido, por exemplo, da rigidez de função pré-estabelecida para o objeto que deixa de existir, por se tratar de um objeto arquitetônico sem função, basicamente contemplativo. Os limites inseridos ao processo são colocados pelas possibilidades do processo *bottom up* e pelos meios digitais utilizados, visando explorar o potencial dos programas computacionais e as tecnologias de fabricação digital. Sendo assim, esse projeto é importante no sentido da exploração, mas pouco interessante no sentido de entender os limites desse processo de *design* em condições reais.

Princípios gerativo

No caso dos projetos de Wiscombe é evidente a relação gerativa do objeto arquitetônico com aspectos da biologia. No *Dragonfly*, a busca pelas lógicas formais e comportamentais diz respeito à leitura dos parâmetros da asa da libélula e a descrição dessa lógica de forma

logarítmica. Entendendo as lógicas da asa da libélula, o *designer* discorre:

Na natureza, a asa da libélula é incomparável em seu desempenho estrutural e variação formal, requintado. Sua morfologia não pode ser atribuída a uma máxima ou mínima forma bio-matemática, mas sim o resultado complexo de múltiplos sistemas padronização entrelaçadas em resposta a vários fluxos de força e propriedades dos materiais.

³²(WISCOMBE, 2013)

Wiscombe transpõe entendimentos das propriedades e comportamentos da referência biológica para a proposição do objeto arquitetônico. Esse processo de leitura e transposição, da biologia para a arquitetura, somente é possível graças a um processo de *design* que possui relações *bottom up* entre os envolvidos, no intuito do projeto surgir como resultado de comportamentos e propriedade materiais, extraídas das leituras. Caso fosse desenvolvido um processo de *design top down*, seria

necessário que os *designers* definissem, por exemplo, um desenho final como meta, e posteriormente fosse detalhando o objeto em camadas sucessivas até alcançar o desenho inicial proposto. Dentro de um processo *top down*, esse desenho inicial seria meramente uma reprodução da referência biológica, logo, seriam propostas soluções em nível funcional e material ao objeto que de nada teriam a ver com as propriedades e comportamentos da asa da libélula, mas, sim apenas com o desenho. Para que o projeto surja a partir do entendimento das lógicas da asa da libélula, é necessário desconsiderar a simples questão do desenho, pois esse, se tornar um característica fruto das propriedades materiais, por exemplo. Assim, pode-se dizer que, no geral, através de processos *bottom up*, o processo de *design* que busca referência na biologia é capaz de propor objetos que surjam dos entendimentos que relacionam comportamentos de partes dentro de um todo. Esse projeto evidencia que abordagens que buscam relação com a biologia demandam um olhar sistêmico e complexo perante o processo de *design* e perante a leitura da referência, principalmente, pois a próprio pensamento complexo tem raízes na biologia, sendo difícil desvencilhá-los.

³² Do original em inglês: "In nature, the dragonfly wing is unmatched in its structural performance and exquisite formal variation. Its morphology cannot be traced to anyt, but is rather the complex result of multiple patterning systems interweaving in response various force flows and material properties." Disponível em: http://www.tomwiscombe.com/project_28.html. Acesso em: 27/09/2013.

Materialização

A partir da concepção que tem uma referência biológica e transpõe suas lógicas para o objeto arquitetônico, o desenho resultante desse objeto dificilmente terá componentes idênticos entre si. Assim como na natureza, em que as estruturas são constituídas de pequenos componentes diferentes entre si que formam um todo, o objeto arquitetônico também tem essa característica. Para viabilizar a produção desse objeto de maneira plausível, em relação, por exemplo, custo e tempo, as técnicas de fabricação digital são essenciais, pois elas permitem a fabricação em série de componentes menores interligados formando um todo, que apresentará a eficiência esperada a partir da leitura da asa da libélula. No caso desse objeto, as técnicas de fabricação digital direcionam e possibilitam as escolhas de projeto.

Sobre o material utilizado no *Dragonfly* são empregadas chapas de alumínio cortadas digitalmente. A escolha desse material tem objetivo de evidenciar o peso do metal em contraponto ao aspecto de leveza extraído da asa da libélula. O projeto apresenta um desenho de implantação que suspende a estrutura ligada apenas a dois pontos,

criando um balanço que depende exclusivamente do desenho da estrutura para se sustentar. O desenvolvimento estrutural tem características muito específicas que dependem de estudos que os cálculos estruturais planejados não seriam capazes de resolver.

Objeto final

Sobre a qualidade da mão de obra envolvida na montagem final do objeto arquitetônico, notamos que o *Dragonfly* abre poucas possibilidades à intervenção daquele que monta o objeto arquitetônico. Por tratar-se de uma estrutura extremamente precisa e com grande quantidade de componentes que possui encaixes únicos entre as peças, nas ações de montagem do objeto final não existe abertura para comportamentos novos. Na montagem final do objeto, são seguidos passos precisos na ligação das peças, que foram determinados nas ações anteriores de testes em modelos digitais e físicos. Fica claro nesse objeto arquitetônico, que apesar do processo de *design* apresentar todas as características advindas do pensamento complexo, que estimulam o surgimento de novidade através de situações emergentes, existe um momento dentro do processo, nesse caso na montagem final do objeto, que a

emergência não é aceita. Em objetos como o *Dragonfly*, as situações emergentes devem ser exploradas em ações de montagem preliminares, que ainda podem influenciar as ações de concepção. Na montagem final, contudo, não existe essa abertura que influencie as ações de concepção, sendo necessário que essas últimas ações do processo de *design* sejam fechadas e rígidas.

- 7 Objeto arquitetônico finalizado. Fonte: DEMPSEY, 2006.
- 8 Material gerado para orientar a montagem do objeto em canteiro. Fonte: DEMPSEY, 2006.
- 9 Montagem do objeto final. Fonte: DEMPSEY, 2006.
- 10 Modelos físico e digital da junta entre as peças. Fonte: DEMPSEY, 2006.
- 11 Análise estrutural realizada em programa computacional. Fonte: DEMPSEY, 2006.
- 12 Montagem do protótipo em escala 1:1 durante o processo. Fonte: DEMPSEY, 2006.
- 13 Modelo físico em escala reduzida e parte do objeto final sendo montado. Fonte: DEMPSEY, 2006.
- 14 Modelo físico em escala reduzida produzido. Fonte: DEMPSEY, 2006.
- 15 Interface do programa computacional utilizado na produção final do objeto. Fonte: DEMPSEY, 2006.

7

8

9

10

11

12

13

14

15

3.3.2 [C]space | <http://goo.gl/m3jxuD> | Acesso em: acesso 22/10/2013. O [C]space pavillion tem como principais *designers* os arquitetos Alan Dempsey e Alvin Huang. É um dos projetos elaborados para o décimo aniversário do AADRL [Architectural Association Design Reseach Laboratory] em Londres, no ano de 2008. O projeto foi desenvolvido pelos arquitetos em conjunto com outros estudantes e sob a orientação de professores da *Architectural Association*.

Uma construção em escala real que representa uma rara colaboração entre academia e indústria, o pavilhão reuniu explorações digitais em projeto arquitetônico com cálculos estruturais avançadas baseados em análise não-linear e processos de fabricação estabelecidos, porém recentes e em desenvolvimento e ampliação.³³ (DEMPSEY, 2010)

Essa experiência, como apontada pelo autor, envolveu o trabalho em conjunto de diversos atores para sua viabilização: Academia, através da AA; Arquitetos

envolvidos no projeto; Consultores, auxiliando especificidades do objeto e; Indústria participando da concepção, produção e montagem em escala real do projeto. Graças a esses envolvidos, o processo de *design* apresenta questões que relacionam o desenvolvimento do objeto arquitetônico a interesses de diversas proporções, como, os da pesquisa exploratória e os de *marketing* das empresas envolvidas. É importante que, dado o caráter de pesquisa acadêmica, esse projeto tem registado seu processo de maneira minuciosa, diferente de projetos desenvolvidos sem fins acadêmicos, que, no geral, não registam o desenvolvimento ao longo do processo de *design*.

O objeto arquitetônico consiste em uma estrutura montada e exposta na praça situada à frente das instalações da AA em Londres no período de 25 de Fevereiro a 31 de Julho de 2008. Formada por um conjunto de componentes, todos diferentes entre si, configura um desenho com base em formas topológicas, produzido através de técnicas de fabricação digital. O objeto final é feito em placas de um material fabricado e comercializado pela empresa alemã

³³ Do original em inglês: "A full scale construction that represents a rare collaboration between academia and industry, the pavilion brought together digital explorations in architectural *design* with advanced structural calculations based on non-linear analysis and state-of-the-art manufacturing processes."

Reider, descrito como um compósito de fibra de vidro e concreto de alta resistência³⁴.

Meios digitais

O processo de *design* desse objeto é desenvolvido usando muito das habilidades usuais dos *designers* voltadas a, por exemplo, o entendimento estrutural, porém, potencializadas pelos meios digitais. No processo de *design*, os meios digitais são utilizados para entender e avaliar aspectos comportamentais do objeto arquitetônico, como questões estruturais e de conforto. Durante o processo são utilizados diversos programas computacionais para análises, como podemos observar nas imagens 10, 11, 15, e modelos físicos, imagens 10, 12, 13, 14, todos produzidos digitalmente, para observação desses comportamentos, redirecionam constantemente as ações de concepção, produção e montagem do objeto. Sobre os programas, eles são essenciais para avaliações das soluções propostas para o objeto arquitetônico, que graças ao desenho baseado em geometria complexa, dificilmente poderia ter o cálculo

³⁴ <http://www.rieder.cc/at/en/main/products/product/5/>. Acesso em: 25 Out. 2013.

estrutural realizado de maneira linear, considerando que todo componente que forma o objeto é estrutural, com cada um deles possuindo diferentes forças atuando em diversos sentidos. Essas superfícies complexas exigem cálculos estruturais que envolvem pensar cada uma dos componentes que às formam, de maneira interligada, sistêmica, e devido a novidade existente nesse tipo de cálculo no campo da engenharia, todas as propostas precisam passar por testes em modelos físicos. A prática de teste através de modelos físicos para avaliação estrutural de soluções inovadoras é recorrente na arquitetura, exemplo, os modelos invertidos utilizando correntes desenvolvidos por Antoni Gaudí para projetos como o da Sagrada Família em Barcelona. O passo além, a partir do *design* paramétrico e da fabricação digital, é a automação da produção desses modelos, agregada pelos meios digitais, que possibilitam explorar diferentes soluções em um espaço de tempo menor e com custos plausíveis.

Por ter um modelo único digital parametrizado para o projeto, todas as alterações a algum valor paramétrico, de maneira autônoma, alteram os parâmetros interligados, porém a especificidade desse exemplo e importância, diz

respeito principalmente ao desenvolvimento colaborativo entre diferentes atores dentro do processo de *design*. No caso do *[C]space*, os *designers* com formação em arquitetura trabalharam em colaboração com *designers* responsáveis pelo desenvolvimento estrutural do objeto arquitetônico, a empresa de consultoria AKT. A partir da existência de um modelo digital paramétrico, todos os *designers* envolvidos no processo, para serem propositivos, necessitam ter a habilidade de dialogar, primeiramente, com os programas computacionais que possibilitam a parametrização, pois somente assim cada *designer* pode contribuir ao projeto com seus conhecimentos específicos. Sendo obrigados a ter domínio dos programas computacionais, todos os *designers* entendem a linguagem de programação, e assim a troca plena da informação é facilitada. Essa troca plena se refere à passagem da informação com qualidade entre os *designers*, por exemplo, no caso do *designer* que domina o saber sobre estruturas, não apenas solucionar um problema coloca pelo *designer* que altera a forma, mas sim, fornecer diversas considerações sobre essa forma a partir de seus conhecimentos estruturais. Nos relatos do processo de *design* do *[C]space*, isso fica claro principalmente na

relação entre a AKT e os arquitetos, sendo que a consultoria em engenharia não apenas fornece soluções, mas sim desenvolve o objeto arquitetônico de maneira conjunta aos arquitetos. Os meios digitais, tanto de programas computacionais paramétricos como as tecnologias de fabricação digital, entram como uma linguagem comum entre os diversos *designers* facilitando a comunicação.

Gestão

O processo de *design* do pavilhão *[C]space*, envolve diversos atores como já dito e cada um deles possui interesses voltados ao desenvolvimento do projeto. O objeto arquitetônico é um dos projetos submetidos ao concurso que visou celebrar os dez anos do AADLR. Isso direciona diversas escolhas voltadas ao desenvolvimento do pavilhão como, a necessidade do caráter de novidade trazido pela utilização de tecnologias inovadoras advindas das tecnologias de fabricação digital. Assim, muito das ações de concepção formal do projeto visam explorar ao máximo do potencial dessas tecnologias, mostrando sua viabilidade dentro do campo da arquitetura. Além disso, outro interesse envolvido nesse processo de *design* é o da

empresa Reider. A proposta inicial do concurso de projetos de pavilhões, tem como pré-requisito a utilização do material *FiberC*, desenvolvidos e comercializado exclusivamente por essa empresa. Importa nessa pesquisa entender como esses interesses são considerados pelos *designers* e utilizados dentro do processo de *design*, inclusive possibilitando situações emergentes ao processo. No caso do pavilhão, o limite colocado pela utilização desse material direciona as ações de concepção pela utilização dessas chapas cortadas em partes que conjugadas montassem uma geometria complexa, evidenciando, devido aos interesses, que por mais que se trate de chapas planas, através da utilização das tecnologias elas podem ser utilizadas de maneira nova, estrutural e gerando formas complexas.

Princípios gerativos

A relação com aspectos que referenciam a geração do objeto, a presença da biologia no pavilhão *[C]space* é tênues quando comparado ao caso do *Dragonfly*, porém em alguns relatos das ações iniciais de concepção, os *designers* se referem recorrentemente ao desenho do objeto como uma concha, que remete a formas advindas da topologia,

área ligada a matemática. Em conversa realizada com o arquiteto Alvin Huang via email com o pesquisador, ele afirma que em nenhum momento do processo de *design* buscou-se referência específica em elementos naturais. Porém, por uma leitura de pesquisa, as formas tem relação com áreas da matemática, como a topologia, e consequentemente remetem a formas encontradas em elementos naturais, como as conchas. O termo concha, usualmente, em arquitetura é recorrente e não necessariamente tem ligação com a figura das conchas marinhas, porém é inegável a ligação mesmo que semântica dessas duas figuras, a concha arquitetônica e a concha marinha. Ambas as figuras são estruturas que apresentam aspecto autoportante entre estrutura e vedação. No caso das conchas marinhas, a estrutura é representada por ranhuras formadas por diferente quantidade de matéria acumulada ao longo da superfície que a configura, agregando rigidez ao conjunto. No caso do *[C]space*, a estrutura do objeto arquitetônico segue a mesma lógica de linhas estruturas espaçadas, porém no caso do pavilhão sem um recobrimento a todo o conjunto.

Materialização

Em relação às ações de produção, o processo de *design* do [C]space mostra a importância do uso de protótipos de diversas escalas e tipos para a concepção de formas e espacialidades que tem seu desenvolvimento pautado no *design* paramétrico. São relatados pelos *designers*, diversos problemas que somente foram solucionados através de testes em protótipos. Antes da finalização do projeto, foram produzidos modelos físicos em diversas escalas, alguns buscando entendimentos voltados a forma, outros detalhando componentes de encaixe e até modelos de partes do projeto em escala real, para estudar detalhes específicos de encaixes entre as peças em sua totalidade. Um dos diretores da *Gehry Technologies*, James Kotronis (2012, p.150) aponta que, o “fluxo de trabalho de fabricação e montagem pode mesclar forma complexa com recursos materiais e usinagem”³⁵. Logo, a observação da produção e montagem dos modelos físicos alimenta as ações de concepção orientando escolhas de matérias, tecnologias para a produção e a forma do objeto. Um exemplo nesse projeto disso é o caso dos encaixes entre os componentes do pavilhão (figura 10), em que os *designers*

³⁵ Do original em inglês: “fabrication and assembly workflow that can merge complex form with material and machining capabilities”

desenvolvem um desenho de ligação entre as peças que se adequa à customização individual de cada uma das partes. Por tratar-se da proposição de um componente de juntas novo, em uma materialidade específica, os testes em escala são essenciais para a validação da solução dentro do projeto.

No caso do [C]space, a materialidade do projeto tem uma peculiaridade que envolve a utilização de material *FiberC*, visando a ampliação da utilização desse material pelo mercado da construção civil. Através de um olhar de *marketing*, essa empresa enxerga no incentivo ao desenvolvimento desse projeto, potencial para através de um projeto que envolve técnicas novas, como do *design* paramétrico e da fabricação digital, estabelecer e difundir o uso desse material. Essa prática é recorrente quando falamos de técnicas e materiais inovadores no campo da arquitetura e demanda a integração entre empresa privada, fornecendo informações sobre o material e possibilitando teste para sua avaliação. O material produzido pela Reider, o *FiberC*, apresenta qualidade estruturais inovadoras, como eficiência na relação entre peso e resistência e sua utilização em estruturas mostra-se interessante, porém o

material nunca havia sido utilizado submetido a esforços diversos, como os que o desenho estrutura do *[C]space* solicitaria. Dessa maneira a Reider possibilita aos *designers* realizarem testes estruturais do material verificando os limites de ruptura, para poder garantir a eficiência do conjunto final. São produzidos protótipos diversos, inclusive um parcial em escala 1:1, visto na figura 12, fabricados em outros materiais, como madeira, mas mesmo assim o *FiberC* é submetido a testes. A Reider entra no processo de *design* de maneira muito importante, possibilitando a abertura para estudo de seu material. Somente assim o objeto arquitetônico, que apresenta características novas, pode ser submetido a teste e tem garantias de eficiência estrutural. Na arquitetura é essencial em objetos construídos garantir essa eficiência estrutura, pois objetos arquitetônico com implantados em áreas de acesso público, não podem apresentar riscos a aqueles que utilizam o espaço e no caso de propostas como o *[C]space*, esses riscos são eliminados através de inúmeros testes.

Objeto Final

Assim como no *Dragonfly*, o projeto do *[C]space* consiste em componentes menores interligados formando o conjunto

do objeto final e a montagem demanda a criação de guias que são geradas pelos próprios programas computacionais. A questão colocada no *[C]space*, assim como no *Dragonfly*, são as ações na montagem final que não são abertas a imprevistos, e casos eles venham a ocorrer, possivelmente, prejudicaria todas as ações de montagem. Além disso, a mão de obra de montagem precisa ser qualificada a entender a proposta dessa arquitetura gerada a partir do *design* paramétrico e da fabricação digital. O processo de *design* deve considerar que a mão de obra empregada para a montagem desse objeto precisa também ser aberta a entender a novidade trazida por esse objeto arquitetônico. No caso do *[C]space*, parece que isso não foi considerado exatamente pela rigidez do conjunto escolhido na montagem, que não se abre a agregar conhecimentos colocados por aqueles que irão montar o objeto final.

16 Vista geral do objeto arquitetônico final. Fonte: IAAC, 2010.

17 Modelo físico produzido durante o processo mostrando a estrutura. Fonte: IAAC, 2010.

18 Estudo da volumetria a partir de análises da incidência solar. Fonte: IAAC, 2010.

19 Análise estrutura realizada em parceria entre arquitetos e engenheiros. Fonte: IAAC 2010.

20 Montagem das ligações com chapas em cantoneira. Fonte: IAAC, 2012.

21 Conjuntos montados no espaço industrial a ser levado para a montagem final. Fonte: IAAC, 2012.

22 Estudos em modelos digitais utilizando simulações em heliodon. Fonte: IAAC, 2012.

23 Produção de modelos físicos em escala 1:1 alimentando a concepção. Fonte: IAAC, 2012.

3.3.3 Fab Lab House | <http://goo.gl/Bkvb8l> | Acesso em: 27/09/2013. O IAAC - *Institute for Advanced Architecture of Catalonia*, é um instituto localizado em Barcelona, Espanha, que recebe estudantes e profissionais para desenvolver trabalhos de pesquisa e prática construtiva em arquitetura e em áreas do *design*, que utilizem técnicas avançadas, ou seja, que no geral envolvem tecnologia incorporada no processo de *design* ou no próprio objeto desenhado. O instituto organiza curso do tipo *Masters* em arquitetura avançada em conjunto com a UPC - *Universitat Politècnica de Catalunya* -, também localizada na Barcelona, Espanha.

O *Fab Lab House*, 2010, é a proposta de uma casa (que aqui será inserida no grupo de pavilhões, por suas características) submetida a um concurso que visava a produção de baixo impacto ambiental de habitações, o *Solar Decathlon Europe Competition*. O projeto é concebido no intuito de desenvolver um espaço que tem como principal característica a eficiência energética ambiental, tanto na sua produção quanto utilização. Os parâmetros iniciais do projeto são determinados no sentido de atender a eficiente energética em relação a, por exemplo, o

conforto térmico e o baixo impacto energético dentro de sua produção. A partir da definição dos principais parâmetros do projeto é possível pensar no desenho das ligações entre esses parâmetros e propor um objeto que contemple esses aspectos. Com esse viés, *designers*, vinculados ao IAAC, desenvolvem um modelo paramétrico que conjuga esses parâmetros e produzem e montam o objeto arquitetônico *Fab Lab House*.

Meios digitais

Através de modelos digitais parametrizados é possível que o objeto arquitetônico seja analisado em diversos programas específicos, para determinar as melhores condições de eficiência energéticas. As alterações ao projeto, postas pelas análises, podem ser incorporadas ao projeto de maneira automatizada, possibilitando um número muito maior de dados para serem analisados, tornando a proposta extremamente precisa em relação ao conhecimento dos diferentes comportamentos das várias alterações. Como apresentado nas figuras 18, 19, 22, *designers* recebem a informação dos estudos e análises realizadas em programas computacionais, sendo elas utilizadas para retroalimentar os próprios valores dos

parâmetros do modelo. O diferencial dessa proposta, em relação a outros projetos que não se utilizam do *design* paramétrico, é, novamente, a possibilidade de ampliar os aspectos de análises com a inserção e domínio de muitos dados. Um projeto que tivesse as mesmas prerrogativas, porém, desenvolvido sem os procedimentos do *design* paramétrico, muito dificilmente chegaria à quantidade de variações de projeto e, conseqüentemente, análises dessas variações, que esse exemplo chega. Além disso, outro aspecto importante a ser observado desse projeto, diz respeito ao domínio que os *designers* devem possuir sobre programas computacionais de análises específicas, nesse caso, de conforto térmico. Não basta o *designer*, por exemplo, receber os dados de um determinado programa de análise e descartar aquela variação do objeto arquitetônico por ela ser simplesmente menos eficiente, é necessário que o *designer* consiga observar a informação fornecida pelo programa computacional e perceber mais do que a eficiência ou não do objeto. É necessário que ele entenda como o programa computacional chegou ao determinado resultado, estabelecendo um diálogo com o programa e acessando informações, a priori, menos evidentes, pois somente assim, a possibilidade de alteração

automatizada do modelo paramétrico se torna útil, no sentido de enriquecer o objeto arquitetônico em relação à eficiência desejada.

Caso o *designer* não tenha essa postura de entender a lógica de funcionamento dos programas, por exemplo, conhecendo os conceitos termodinâmicos que regem a concepção do um objeto arquitetônico e como os programas digitais usam esses conceitos e suas análises, o meio digital apenas servirá para produzir um grande número de possibilidades, não auxiliando a escolha do *designer* pela solução mais eficiente. Fica evidente que, no *design* paramétrico, o programa computacional, ou os meios digitais no geral, precisam ser entendidos pelos *designers* a um nível de lógica de funcionamento, pois, somente assim a informação fornecida por um programa computacional ganha qualidade aos olhos dos *designers*, possibilitando ser propositivo na alimentação de parâmetros e de seus valores no objeto arquitetônico. Retomamos a ideia defendida por Morin de que todo sistema apresenta entropia, essa postura de conhecer o funcionamento dos programas computacionais estimula os *designers* a absorverem as informações que compõe o objeto

arquitetônico, estimulando a organização do sistema. Além disso, a partir das análises dos programas e esse olhar sobre elas, os sistemas que compõem a unidade complexa são estimulados pelos resultados, proporcionando também auto-organização desses sistemas e criando situações emergentes, de onde surgem as soluções inovadoras ao objeto arquitetônico. Porém, isso depende da capacidade do *designer* de absorver a informação passada pelo programa computacional com qualidade, entendendo suas lógicas, e difundi-la na unidade complexa como um todo.

Gestão

O processo de *design* da *Fab Lab House* tem interesse e limites envolvidos muito precisos determinados pela inserção do projeto no concurso *Solar Decathlon Europe Competition*, e que tornam o projeto, mesmo muito exploratório, inserido em um contexto de limites e interesses reais. O concurso impõe regras aos projetos submetidos, que são voltadas as questões principalmente de eficiência energética. Por exemplo, o projeto deve prever que durante toda a vida útil, o objeto arquitetônico proposto tenha baixo consumo de energia, além disso, a própria produção do objeto deve prever gastos energéticos

reduzidos. No *Fab Lab House* todas essas questões são atendidas a partir dos procedimentos advindo do *design* paramétrico e da fabricação digital. Os *designers* apropriam-se das possibilidades das tecnologias e aplicam sob esses interesses. Além disso, o processo de *design* possui um tempo de desenvolvimento determinado, que limita as possibilidades de alteração em virtude da finalização do projeto para submissão no concurso. Esse limite impõe ao projeto que as possibilidades de modificação do projeto, fornecida pelo *design* paramétrico, cessem em determinado momento sendo necessária a otimização das escolhas.

Os meios digitais por trabalharem com regras muito precisas, solicitam dos *designers* uma postura de previsão das ações para que prazos possam ser atendidos. Apesar do processo de *design* do objeto arquitetônico ser ainda aberto às imprevisibilidades que gerem situações emergentes, essas situações têm de ser controladas, para atender os limites impostos. Pode-se dizer que é necessário dos *designers* um equilíbrio entre o estímulo às situações emergentes, pois elas propiciam a novidade que agrega qualidade ao projeto, e o domínio para que essas situações

não interfiram nos limites, como prazos de finalização de projeto. Esse equilíbrio em um processo de *design* como os estudados aqui, pode ser colocado pelo sistema controlador, que ao estímulo da circulação da informação pondera as trocas para equilibrar, abertura a imprevistos com limites impostos pelo ambiente.

Princípios gerativos

"A *Fab Lab House* usa os recursos do seu ambiente - água, sol e vento - para criar um microclima que passivamente otimiza as condições básicas de habitabilidade."³⁶ A *Fab Lab House* tem ligação a questões que advêm de uma interface já consolidada no campo da arquitetura, a do conforto e eficiência térmica. Porém, assim como nos outros exemplos desse texto, também tem foco em um entendimento que visa comportamentos, nesse caso, específicos às trocas energéticas em diferentes níveis e momentos do objeto arquitetônico. Apensar do projeto explorar as questões de conforto térmico e eficiência

³⁶ Do original em inglês: "The Fab Lab House uses the resources of its environment — sun, water and wind — to create a microclimate that passively optimizes the basic conditions of habitability." Disponível em: <http://www.fablabhouse.com/en/una-estructura-climatica-pasiva/> Acessado em: 23/09/2013

energética, como muitos outros projetos em arquitetura fazem, por utilizar procedimentos do *design* paramétrico e da fabricação digital, o desenho do *Fab Lab House* remete a formas curvilíneas, típicas das estruturas naturais, diferente de propostas que não utilizam os meios digitais. A partir dos meios digitais é possível utilizar a lógica das estruturas naturais, inclusive, nos aspectos de eficiência energética, considerando que na natureza os desenhos das estruturas seguem um caminho que é regido pelas forças estruturais mais eficientes, inclusive energeticamente. (WISCOMBE, 2005a)

Materialização

Além da utilização das tecnologias de fabricação digital na produção de protótipos durante o desenvolvimento do processo, esse exemplo coloca como os procedimentos da fabricação digital podem ser utilizados para, por exemplo, a otimização do consumo de materiais. No *Fab Lab House*, um dos *inputs* nas ações de concepção é considerar o desenho dos componentes que formam o objeto arquitetônico de maneira a garantir essa otimização na produção. Através do conhecimento do potencial das tecnologias de corte de chapas por controle numérico, os

designers propõem um projeto que pensa a concepção do objeto com base na produção por corte dos componentes, otimizando a utilização de todas as placas.

Em conjunto à materialização do objeto, a escolha do material também segue princípios energéticos e tem base nas possibilidades da fabricação digital. Nas palavras de Salvador Rueda, ecologista, Diretor da Agência de Ecologia Urbana de Barcelona, "Uma casa solar deve ser fabricada de um material solar, tal como a madeira." Como justificativa para as ações de concepção desse projeto, colocar a escolha da utilização da madeira como material para o objeto é coerente pelo seu caráter, por exemplo, de bio-degradação ao longo do tempo, ou ainda, reutilização caso o pavilhão venha a ser desmontado. Porém, a madeira trata-se de um dos materiais mais utilizados nas propostas que utilizam procedimento de fabricação digital, principalmente pela sua comercialização como chapas, formato necessário para o processamento de corte em máquinas com tecnologia digital. Logo, esse projeto no leva a questionar o embate entre possibilidades das máquinas de produção por tecnologias de fabricação digital e disponibilidades de materiais que podem ser modificados

por essas máquinas. Essa questão sobre os materiais possivelmente é um dos principais embates que os processos de *design* em arquitetura, que utilizam tecnologias de fabricação digital enfrentam, que coloca por um lado, grande possibilidade dada pelo potencial de seriação de peças diferentes entre si, mas que por outro somente podem ser geradas a partir de corte de chapas, por exemplo.

Objeto final

Nos limites da proposta, a montagem do objeto final também deve considerar diversas questões energéticas. Assim as escolhas da montagem final influenciam diretamente as ações de concepção, durante todo o processo. As ligações entre as peças são pensadas para serem executadas de maneira muito simples através de parafusos. Diferente do *[C]space*, em que se desenvolveu uma peça única que se adegue ao desenho do conjunto, no *Fab Lab House*, os limites impostos a montagem estimulam os *designers* a conjugarem ferramentas usuais e procedimentos novos, com base nas tecnologias de fabricação digital. Como se vê na figura 20, todas as partes são ligadas por juntas em chapa dobrada com ângulo reto.

Apesar do conjunto do pavilhão ter um desenho em superfícies complexas, sem simetria, todas as juntas são iguais entre si, facilitando o processo de montagem, eliminando, por exemplo, a necessidade de mais guias que orientem a relação entre juntas e peças. Além disso, a montagem final do pavilhão é executada a partir de partes pré-montadas ainda no ambiente industrial. Coloca-se ao projeto de arquitetura, lógicas que advém do ambiente industrial, entendendo o funcionamento dessas máquinas de produção digital e aplicando às compreensões ao objeto arquitetônico.

- 24 Vista geral do edifício na fase final da construção. Fonte: REVISTA AU, 2008.
- 25 Formas para o concreto feitas em chapa metálica. Fonte: DESIGNTOPRODUCTION, 2008.
- 26 Parte do modelos digital, mostrando alguns componentes do projeto
Fonte: DESIGNTOPRODUCTION, 2008.
- 27 Geometria topológica do nó de trevo. Fonte: WIKIPEDIA, 2013.
- 28 Modelos digitais volumétricos do objeto arquitetônico. Fonte: REVISTAAU, 2008.
- 29 Forma do concreto acaçada através de fôrmas metálicas produzidas digitalmente.
Fonte: REVISTAAU, 2008.
- 30 Modelo digital único. Fonte: REVISTAAU, 2008.
- 31 Desenhos das fôrmas para o concreto fornecido pelo modelo digital. Fonte: REVISTAAU, 2008.

3.3.4 Mercedes-Benz Museum | <http://goo.gl/Khb18K> | Acesso em: 27/09/2013. Um dos recentes exemplos de projeto de edifício realizado completamente sob estratégias do *design* paramétrico e da fabricação digital é o *Mercedes-Benz Museum*, 2005, em Stuttgart, Alemanha, projeto do UNStudio. O grupo, cujo um dos fundadores e principais *designers* é o arquiteto Ben van Berkel, tem escritório em Amsterdam, Hong Kong e Shangai e trata-se de um estúdio de amplitude global. Os projetos desenvolvidos abordam aquilo que o diretor associado arquiteto Nuno Almeida chama de pensamento paramétrico. Nuno, em entrevista concedida à pesquisadora do núcleo Nomads.usp, Cynthia Nojimoto, aponta que o desenvolvimento de objetos arquitetônicos no estúdio se dá a partir de uma postura que entende esse desenvolvimento para além da utilização de um programa computacional específico e sim a partir do entendimento sistêmico aplicado aos elementos presentes no processo de *design*, sendo a tecnologia uma maneira de automatizar esse pensamento paramétrico no objeto arquitetônico. Porém, nos projetos do estúdio, os programas computacionais são muito presentes, e como verificamos nessa pesquisa, os próprios meios digitais estimulando o pensamento sistêmico em rede por isso ser a

base de sua fundamentação. O próprio arquiteto Nuno Almeida aponta que o domínio dos programas computacionais de parametrização é essencial para o desenvolvimento de objetos arquitetônicos com essas estratégias.

Com essa postura em relação ao desenvolvimento de objetos arquitetônicos, o edifício do *Mercedes-Benz Museum*, é um exemplo de projeto desenvolvido totalmente utilizando estratégias do *design* paramétrico. Trata-se de um edifício projetado a partir de um modelo único de informações alimentado por diversos *designers* envolvidos no processo. Nesse projeto são envolvidos *designers* como, engenheiros estruturais, empresa de esquadrias, empresa de revestimentos, gerente de projeto, arquitetos, urbanistas, etc.. Esse modelo paramétrico da informação da construção possui todos os subsistemas construtivos do edifício interligados, proporcionando que a alteração de algum valor paramétrico modifica todos outros de maneira automatizada.

Meios digitais

A interação entre os *designers* é potencializada pelo fato de todos alimentarem um mesmo modelo de informação, sendo cada *input* inserido por um *designer*, modificador de parâmetros que influenciam aspectos do projeto desenvolvidos por outros *designers*. Essa relação de interligação entre subsistemas sempre foi presente no projeto de arquitetura, porém a alteração a partir do trabalho sob um mesmo modelo de informação digital, é que subsistemas são desenvolvidos em paralelo sofrendo alterações de maneira síncrona, exigindo dos *designers* que eles conversem em duas propostas, e não se adequem a imposições quaisquer. O desenvolvimento de objetos arquitetônicos torna-se dinâmico e demanda do *designer* uma postura não de revisão e sim de proposição aos subsistemas de maneira conjunta, entre as várias especialidades. Essa lógica de desenvolvimento em rede foi experimentada no projeto do museu.

No caso do *Mercedes-Benz Museum*, todos seus subsistemas foram projetados a partir de um modelo digital único de informações, assim, por exemplo, a alteração de subsistemas estruturais e de vedação são atreladas e limitadas, umas as outras. Cada subsistema, como é usual

em projetos de grande escala como esse, é de responsabilidade de uma equipe de profissionais, que nesse caso trabalham em parceria constante a partir dos modelos digital único e nesse caso, o desenho do objeto depende das especificidades desenvolvidas de maneira entrelaçadas. Essa interdependência entre subsistemas, em um processo que não possui um modelo único de informação, dificultaria o desenvolvimento do objeto arquitetônico, pois a visualização da informação de uma determinada especialidade dificilmente seria possível por outra, de maneira rápida o suficiente para o processo ser viável. No projeto do museu, é necessário um processo *bottom up* para viabiliza a alimentação do modelo digital por dados advindos dos diversos responsáveis pelos diferentes subsistemas da edificação. Porém, novamente, não somente a alimentação de dados é necessária, outro aspecto importante é a comunicação entre esses *designers* a partir de suas diferentes especialidades, para que todos tenha conhecimento dos diferentes aspectos de cada subsistema, possibilitando que a concepção do objeto arquitetônico seja conjunta. O modelo único de informação, de certa forma, força os *designers* a terem uma postura de negociação em rede dentro do processo de *design*.

As estratégias do *design* paramétrico solicitam que os *designers* trabalhem em um constante fluxo da informação referente aos diversos subsistemas do objeto arquitetônico, exigindo a conversa entre as especialidades e o modelo digital único facilita a troca, ao mesmo tempo em que exige a conversa.

Basicamente tudo neste desenho extraordinário foi coordenado e decidido com o auxílio de um modelo paramétrico, seja as dimensões dos condutores, a largura das rampas, as dimensões das placas de concreto ou alturas do pé-direito ³⁷ (SAKAMOTO, et. al., 2008, p.169)

Podemos elucidar, portanto, que se trata de uma via com dois fluxos: por um lado trabalhar a concepção por um modelo único da informação digital necessita uma postura de troca aberta a negociação, conversação, entre os *designers* envolvidos; e por outro lado o próprio modelo único, a partir do entendimento dessa postura necessária, acaba se tornando um facilitador nesse processo de

³⁷ Do original em inglês: "Basically everything in this extraordinary *design* was coordinated and decided with the help of the parametric model, be it the dimensions of the cores, the width of the ramps, the dimensions of the concrete slabs, or the ceiling heights."

interação entre as partes envolvidas no desenvolvimento de objetos arquitetônicos.

Gestão

Ao ter um edifício desenvolvido utilizando procedimentos ainda muito novos na área da arquitetura, é necessário que o desenvolvimento do objeto arquitetônico considere posturas novas dos *designers* conjugadas com escolhas já bastante difundidas e funcionais dentro da arquitetura. No caso do projeto do museu, os *designers* necessitam ponderar os limites entre a exploração desses procedimentos à viabilidade e interesses envolvidos em um edifício com esse porte. No processo de *design* do museu, notamos alguns limites impostos às escolhas dos *designers*, para poder tornar o projeto viável, por exemplo, o sistema construtivo utilizado que consiste em concreto armado. Porém, *designers* utilizam as possibilidades do *design* paramétrico e da fabricação digital para propor as formas, com recortes curvos, configurando o desenho do edifício.

Outra questão são os interesses do cliente envolvidos desse exemplo. A empresa *Mercedes-benz* tem interesse que o objeto arquitetônico final evidencie a questão da tecnologia,

que é foco na produção automobilística da marca, nesse sentido a utilização de procedimentos que tem a tecnologia como raiz, são uma escolha precisa dos *designers*, porém o edifício deve funcionar plenamente, ter custos viáveis, seguir cronogramas para sua execução e etc.. O caráter de exploração e teste não cabe a esse exemplo, assim os *designers* consideram esse fator como um determinante na concepção do objeto, e mesmo com a rigidez desenvolvem um processo que até certos limites conta com a imprevisibilidade. O processo de *design* abre essa possibilidade exatamente por considerar ações que advêm do pensamento em rede, que aceita a inserção de inputs diversos, inclusive os mais rígidos como os impostos na elaboração de um edifício.

Princípios gerativos

Nas ações iniciais de concepção do museu, os *designers* usam como referência a forma topológica do nó de trevo (figura 27) para iniciar o desenvolvimento do objeto arquitetônico. Essa forma consiste em uma fórmula matemática bastante difundida que gera uma forma volumétrica que consiste no entrelaçamento em um ciclo triplo de um único contínuo. Ou seja, um nó sem início ou

fim, criado a partir do entrelaçamento de uma única linha. Essa fórmula tem origem na observação da natureza, assim como grande parte das geometrias topológicas, principalmente na estrutura de algumas folhas vegetais que apresentam um desenho que pode ser descrito matematicamente.

Além da forma topológica que alimenta a concepção desse objeto arquitetônico, a circulação do edifício tem ligação com um elemento presente nos seres biológicos. As duas trajetórias determinadas na circulação vertical do edifício “se interligam continuamente, imitando a figura helicoidal do DNA e permitindo a mudança de trajetória pelo visitante” (LEE, 2009). Esse conjunto de referências que possuem ligação com formas biológicas e matemáticas da topologia acaba por colocar ao objeto arquitetônico um desenho curvo e diferente entre todas as partes. Sendo viabilizada sua produção através das técnicas de fabricação digital.

Materialização

A utilização do modelo único da informação alimentado por diversos *designers* é um elemento importante na produção

das partes do objeto, e que, inclusive, orientará sua montagem. Esse modelo de informação é basicamente digital, e graças a essa qualidade pode alimentar a produção através de máquinas de fabricação digital. Em contraponto, essa produção pode retroalimentar o próprio modelo digital, ou melhor, os parâmetros inseridos pelos *designers* no modelo.

Como colocado por Bem van Berkel, “precisamos estimular a nossa imaginação e renovar arquitetura através do repensar das disciplinas de geometria, edificação, e como trabalhamos infraestruturas e outras realidades da construção.”³⁸ Isso deve ocorrer, principalmente a partir dessas possibilidades que os meios digitais proporcionam. Os modelos físicos, muito mais próximos às realidades da edificação do que os modelos digitais, auxiliam esse repensar das disciplinas. Van Berkel (2012) aponta que somente através da conversa entre a modelagem virtual e a prototipagem é que seria possível repensar o objeto arquitetônico de maneira não deixar a proposição

³⁸ Do original em inglês: “We need to stimulate our imagination and renew architecture through the rethinking of the disciplines of geometry, building, how we work infrastructure and other realities of construction”

simplesmente na exploração formal vazia, que demanda uma produção problemática no ponto de vista de custos, por exemplo.

O *Mercedes-Benz Museum* seria um exemplo desse processo de conversa entre produção e concepção. Todas as proposições formais são embasadas na possibilidade construtiva fornecida pela produção digital. Formas e ferragens das estruturas de concreto, por exemplo, são propostas pela capacidade de serem produzidas digitalmente através de indústrias de corte *laser* dos moldes. A verificação dessa possibilidade de produção se dá primeiramente no desenvolvimento de modelos físicos parciais ou totais em escalas reduzidas do objeto arquitetônico. O entendimento das possibilidades de produção testadas nos protótipos retroalimenta o modelo digital e que ao fim indicará a produção, das formas das estruturas em concreto, dos caixilhos das vedações, etc..

Objeto Final

Verificamos na construção do edifício, que nessa pesquisa nos referimos como as ações finais de montagem, que a partir das características desse projeto, também é

necessário mesclar ações novas de montagem a aquelas já estabelecidas e usuais nas rotinas da arquitetura. Os relatos do arquiteto Nuno Almeida sobre o canteiro de obra desse edifício, dizem que foram necessárias diversas adequações e soluções *in loco*, para que o edifício fosse finalizado. Diferente dos casos dos pavilhões, mostrados anteriormente, esse processo mostrou abertura nas ações de montagem para a criação de situações emergentes entre arquitetos e mão de obra de montagem, e somente através da conversação entre esses *designers* foi possível mesclar as técnicas novas advindas do *design* paramétrico e da fabricação digital a um saber da prática, já estabelecido, na execução de edifício de grande porte. A postura de um processo *bottom up* é colocada nas ações finais de montagem, diferente do apontado nos pavilhões anteriores.

Porém, os relatos também dizem que foi necessária a qualificação da mão de obra de montagem para que essa troca fosse estabelecida. A mão de obra usual de arquitetura é habituada a apenas executar ações orientadas por representações, no geral, gráficas dos objetos arquitetônicos, porém, em um projeto como o do museu, que apresenta formas complexas, essas representações

usuais não são suficientes, assim é necessário qualificar a mão de obra para a novidade trazida pelo *design* paramétrico e a fabricação digital. Essa qualificação auxilia ao entendimento do objeto arquitetônico, mas ainda força esses atores presentes nas ações de montagem a construírem um olhar para o trabalho em rede, ao menos para execução desse edifício em específico. Em um processo de *design* como o para o desenvolvimento desse museu, o olhar sistêmico é necessários para o entendimento do edifício, inclusive para aqueles que o montam.

- 31 Construção do edifício com estrutura metálica e a vedações em ETFE. Fonte: PTW, 2008.
- 32 Modelo físico construído no canteiro para teste da vedação em ETFE. Fonte: PTW, 2008.
- 33 Diagrama para estudo sobre a incidência solar. Fonte: PTW, 2008.
- 34 Modelos digitais da estrutura do edifício. Fonte: PTW, 2008.
- 35 Referência que da origem a Teoria das bolhas na matemática. Fonte: WIKIPEDIA, 2013.
- 36 Montagem da pele em ETFE inflada por controle computacional. Fonte: PTW, 2008.
- 37 Modelo físico da estrutura. Fonte: PTW, 2008.
- 38 Verificação da película de ETFE inflada por controle computacional. Fonte: PTW, 2008.

3.3.5 Water Cube | <http://goo.gl/IPaHkP> | Acesso em: 27/09/2013. No cenário global da arquitetura, alguns dos edifícios mais divulgados na grande mídia, no geral, apresentam algum tipo de relação com o *design* paramétrico e fabricação digital. É o caso do *Beijing National Swimming Centre*, conhecido como *Water Cube*, centro das competições aquáticas das olimpíadas de 2008 em Pequim. O edifício é o ganhador da Competição Internacional de *Design*, que selecionou um projeto a ser construído para ser o principal centro aquático das competições, proposta do conjunto de *designers* formado pela PTW Architects, CSCEC, CCDI e Arup Group.

O *Water Cube* tem como principal característica ter um invólucro prismático composto por uma estrutura que remete a ideia de um conjunto de bolhas envolvendo um espaço que abriga as piscinas que foram utilizadas nas competições das olimpíadas de 2008. O edifício é conhecido globalmente devido a seu desenho marcante sendo um dos marcos centrais das competições e implantando, ainda, ao lado do Estádio Nacional de Pequim, o “Ninho de pássaro”. Devido a essa atenção colocada a esse edifício em âmbito global ele é um bom exemplo para observarmos a utilização

de procedimentos do *design* paramétrico e da fabricação digital na proposta de um edifício carregado de interesses.

Meios digitais

A proposta do edifício usa os procedimentos do *design* paramétrico para propor seu projeto. “Sem isso, a fachada distinta e eficiente do *Beijing National Aquatics Center (Water Cube)* não teria sido possível.”³⁹ (ARUP, 2013) Segundo o texto retirado do site da empresa Arup, pensar em uma geometria como a desenvolvida nesse edifício, não seria possível sem a inserção de meios digitais ao processo de *design*. Os meios digitais possibilitam as escolhas estruturais, que tem referência no modelo matemático relacionado com a busca de uma menor área de superfície entre arestas. Basicamente, a elaborada estrutura do edifício é composta por apenas quatro arestas de diferentes comprimentos interligadas por três nós distintos. Esses componentes conjugados a partir de um logaritmo

³⁹ Do original em inglês: “Without it, the distinctive and resource-efficient façade of the Beijing National Aquatics Center (Water Cube) would not have been possible.” Disponível em: http://www.arup.com/Services/Building_Modelling.aspx Acessado em: 16/11/2013.

computacional, fruto da fórmula matemática, possibilita o desenho que forma o objeto arquitetônico.

O elaborado sistema estrutura do edifício é revestido por um material de utilização recente na arquitetura, chamado ETFE, uma resina leve, resistente a choques, perfurações e às extremas variações de temperatura. Esse material, ainda, é extremamente leve, não sobrecarregando a estrutura. Para alcançar o desenho final da fachada do edifício, os meios digitais foram empregados, também, para inflar as “bolhas” formadas pela película de ETFE, possibilitando que a fachada alcança-se o desenho final apresentado.

Gestão

Como já apresentado, esse edifício se inseri na lógica econômica dos grandes eventos globais, um nicho atualmente denominado economia criativa (LOPES, 2011). Os interesses na arquitetura, desse nicho da economia, visam através da espetacularização dos objetos arquitetônicos criarem imagens de alcance global para, por exemplo, divulgar um país, ou mostrar seu potencial econômico, cultural, tecnológico perante outras nações.

Assim, o *Water Cube* é um exemplo de edifício que tem a exploração de tecnologias evidenciada na elaboração de suas formas e dos materiais utilizados. A escolha pela utilização de procedimentos advindos do *design* paramétrico e da fabricação digital surgem devido ao caráter de novidade e inovação trazido por eles, porém, por se tratarem de procedimento ainda novos, encaram diversas dificuldade ao serem utilizados em edifício de tamanha área construída.

Os envolvidos no processo de *design* desse edifício apontam as diversas dificuldades ao desenvolver um projeto que use tais tecnologias e que contou como a novidade existente no desenho estrutural, que exigiu cálculos desenvolvidos e testados, em programas computacionais diversos de análise e em modelos físicos produzidos também de maneira digital. Além disso, os materiais utilizados, dentre eles o ETFE, precisou passar por diversas avaliações, pois sua utilização nunca antes tinha sido explorada da maneira desenvolvida para esse projeto. Tais aspectos demandam uma relação de tempo muito maior para seu desenvolvimento, quando comparado, por exemplo, a técnicas estruturais usuais ou materiais de revestimentos

amplamente utilizados na arquitetura. Porém, por se tratar de um edifício projetado para um grande evento, seu cronograma é rígido e os interesses de publicização não podem evidenciar os contratempos encontrados no desenvolvimento do objeto. Os procedimentos do *design* paramétrico e da fabricação digital possibilitaram o gerenciamento desses contrapontos, mas além disso, para que o projeto conseguisse ser desenvolvido, ele contou com a participação de diversos grupos, dentre eles PTW Architects, CSCEC, CCDI, Arup Group e ainda a mão de obra da construção, trabalhando de maneira coletiva e aberta a alterações e adequações, inclusive na montagem final do objeto.

Princípios gerativos

Os princípios gerativos desse objeto arquitetônico vêm do aspecto do conjunto de 'bolhas' presente na fachada. O padrão da estrutura surge de uma fórmula matemática que é verificada naturalmente na união das superfícies em conjuntos de bolhas de sabão. Trata-se de um comportamento existente na natureza que busca a menor área em um conjunto de arestas, questão evidente nas bolhas de sabão devido à baixa tensão superficial presente

nas superfícies formadas por essa substância, sendo necessário contar com esse comportamento ao ter uma situação de união entre geometrias (imagem 35). Nas ações de concepção a leitura dessa fórmula matemática que explica esse fenômeno natural, auxilia os *designers* a desenvolverem o desenho estrutural do edifício. Além disso, o próprio sistema de vedação feito de bolsas infladas, que possivelmente surge como uma solução que se utiliza das propriedades desse fenômeno natural.

Materialização

Assim como no pavilhão *Fab Lab House*, o *Water Cube* tem um interesse ecológico de eficiência energética agregado a sua concepção. Devido ao fato de ser um edifício ícone de um evento global, esse aspecto deveria ser explorado no intuito de agregar algum tipo de 'consciência ecológica' a um edifício que inevitavelmente tem impactos à natureza. Assim, a própria utilização do ETFE para revestimento da fachada é opção para por ser, além de um material inovador, ser também extremamente eficiente termicamente. "As almofadas em 'forma de bolha' de ETFE seriam passivamente capazes de 'recolher' 20 por cento da energia solar que incide sobre elas, o ganho de energia

equivalente ao revestimento de grande parte do edifício em células fotovoltaicas.” (BURRY, 2012, p. 87) A escolha dos materiais são todas orientadas por interesses voltados às questões tecnológicas e, inclusive, o método criado para inflar as almofadas de ETFE é todo computadorizado, evidenciando que as escolhas na utilização de meios digitais em um aspecto, no geral, podem acarretar outras escolhas que dão preferência a própria utilização de meios digitais em diversos aspectos no processo de *design*. Essa lógica de atrelamento na utilização de diversos meios digitais é própria do pensamento em rede presente na natureza dos meios digitais. Percebe-se que a prática na utilização de meios digitais acaba por levar os *designers* a criarem esse pensamento em rede, que, como já apontado, também é próprio do pensamento complexo.

Objeto final

O caráter de novidade de alguns aspectos do projeto desse edifício acarretaram às ações de montagem do objeto final diversos testes voltados às escolhas, por exemplo, estruturais e de vedação. Esses testes não se restringiram às ações de montagem em modelos físicos reduzidos, mas também, foram levados para o canteiro das obras como

vemos na imagem 37 na qual parte de um modelo físico da estrutura, em escala real, é testado no próprio canteiro. A possibilidade desses testes em canteiro de obra aproxima aqueles que executam as ações de montagem para intervirem com soluções a problemas encontrados em algum aspecto que esteja sendo testado. Claro que isso somente é possível se existir uma postura dos atores envolvidos voltada a troca e comunicação entre todos os *designers*, o que nesse projeto parece ser existente devido à finalização da montagem do objeto, mesmo a partir de escolhas de projeto extremamente novas dentro da arquitetura.

3.4 Breves considerações sobre os cinco exemplos

Todos os objetos arquitetônicos analisados apresentam especificidades em seus processos que nos ajudam a entender com o processo de *design* estudado aqui se desenvolve em diferentes contextos. Porém, é necessário entender questões que perpassem os diversos exemplos, colocando todos dentro da temática focada nessa pesquisa. Questões que se entrelaçam nos cinco processos de *design*

dizem respeito a organização como o conjunto de ações dos *designers*, a qualidade da informação necessária nas trocas entre todos os *designers* envolvidos e por consequência as situações emergentes existentes nesses processos que possibilitam a esses objetos características novas no cenário da arquitetura.

Os cinco projetos somente se efetivam a partir de ações que conjugam concepção, produção e montagem, realizadas por diversos atores em conjunto. Essas ações configuram atitude dos *designers* que considera os meios digitais e o pensamento em rede intrínseco a eles, colocando na utilização de programas computacionais próprios, ou não, do *design* paramétrico e máquinas de produção digital, a lógica desses procedimentos de maneira interligada. Mas além da utilização dos meios digitais de em rede, o entendimento dessa lógica também é passada para as relações entre os *designers*, o que possibilita a configuração da unidade complexa na qual o processo de *design* se desenvolve. A partir disso as lógicas advindas do pensamento complexo se tornam uma só em relação ao pensamento em rede natural dos meios digitais. A informação se torna elemento chave dentro dessas trocas e

a qualidade dela possibilita que, os *designers*, seres capazes de se adaptarem, negociarem, e trabalharem com o vago (MORIN, 2005) entrem em situações que gerem qualidades novas que podem ser agregadas ao objeto, ou ao próprio processo de *design*, como comportamentos também novos entre eles.

Montagem do protótipo *Slice01*. Fonte: NOMADS.USP, 2012

Capítulo III

O experimento realizado nessa pesquisa permitiu vivenciar o processo de *design* do pavilhão *Slice*, que abordou as ações de concepção, produção e montagem para o desenvolvimento do objeto arquitetônico com o objetivo de entender o processo de *design* principalmente sob o viés da prática. Tendo como referência o arcabouço teórico estabelecido no capítulo I e os levantamentos e análises de objetos arquitetônicos apresentados no capítulo II, o experimento foi desenhado para construir entendimentos a partir da participação direta do pesquisador no processo de *design*, enriquecendo a pesquisa ao agregar mais uma esfera para esse entendimento.

O pavilhão *Slice* foi desenvolvido no contexto de atividades do projeto de políticas públicas Territórios Híbridos, financiado pela FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo -, no Nomads.usp – Núcleo de Estudos de Habitares Interativos –, vinculado ao Instituto de Arquitetura e Urbanismo – IAU – na Universidade de São Paulo – USP. O projeto Territórios Híbridos visou a formulação de políticas públicas na área da Cultura, baseadas em ações culturais, com a utilização de meios digitais para a aproximação de realidades distintas dentro de ambientes urbanos. Nesse contexto, o objeto

arquitetônico *Slice* é fruto do processo de *design* em arquitetura entendido como ação cultural capaz de aproximar diferentes realidades.

Essa ação cultural visou aproximar moradores do conjunto habitacional Waldomiro Lobbe Sobrinho, em São Carlos, arquitetos e estudantes de arquitetura de diversos estados do país e setores da indústria local. Por fazer parte dessa pesquisa maior dentro do Nomads.usp, o experimento aborda diferentes perspectivas, inclusive a de ações culturais, e engloba diversos pesquisadores buscando entendimentos sobre aspectos específicos de suas pesquisas individuais. Nessa pesquisa de mestrado, o aspecto importante desse experimento é entender o processo de *design* aqui estudado, assim, as questões do experimento que dizem respeito, por exemplo, à formulação de políticas públicas e o entendimento do processo de *design* como ação cultural junto a uma comunidade, não serão aprofundados, sendo considerados, porém, apenas no que diz respeito às questões que tangenciem o processo de *design* em arquitetura.

O processo de *design*, incluindo as ações iniciais de concepção até a montagem do objeto final, desenvolveu-se

ao longo de seis meses, considerando nesse período, desde o preparo e viabilização do experimento científico, etapa que também faz parte do processo de *design*, à finalização da montagem do objeto arquitetônico. Durante esse processo de *design*, diversos atores interagiram no intuito de elaborar a proposta de um objeto arquitetônico que ocupasse um espaço físico localizado no conjunto habitacional. O processo de *design* teve como meta a criação de um pavilhão que poderia vir a abrigar eventos de cunho cultural e estimular a utilização, por parte dos moradores, de áreas públicas do conjunto.

Para o entendimento do experimento, primeiro, introduziremos os sistemas envolvidos no processo de *design*, apresentando o perfil dos *designers* que formam esses sistemas, assim como as especialidades dos sistemas dentro da unidade complexa na qual o processo de *design* se desenvolve. Seguido a isso, apresentaremos os momentos do processo de *design*, evidenciando cronologicamente os conjuntos de ações mescladas de concepção, produção e montagem, e o envolvimento dos sistemas em cada momento do processo. Tendo apresentado o contexto no qual o experimento desenvolve-se, realizaremos a análise desse processo de *design* através

das cinco categorias determinadas anteriormente – meios digitais, gestão, princípios gerativos, materialização e objeto final – possibilitando a leitura do experimento e ao final indicando questões pertinentes alcançadas com esse experimento.

4.1 *Designers* envolvidos, seus sistemas e especialidades.

Dentro do processo de *design* do pavilhão *Slice*, as características dos *designers* envolvidos direcionam o desenvolvimento de objeto arquitetônico. Segundo Morin (2005), como vimos no capítulo I, esses *designers* envolvidos no processo de *design* formam sistemas dentro da unidade complexa, os quais possuem especializações, que dominam informações específicas, fruto das características dos envolvidos. Para que o processo de *design* possa existir, a conversação entre esses sistemas deve se realizar de maneira que todos os envolvidos tenham domínio das informações dos demais e isso alimente o desenvolvimento do objeto arquitetônico, seguindo as questões colocadas pelo pensamento complexo para a dinâmica dessa unidade complexa. Assim, entender as especialidades de cada um desses sistemas é importante

para podermos ser propositivos nesse processo e permitir a criação de oportunidades para que ocorram situações emergentes, que influenciarão diretamente o objeto arquitetônico.

Os sistemas que fazem parte da unidade complexa na qual o processo de *design* do *Slice* se desenvolve são: moradores do conjunto habitacional Waldomiro Lobbe Sobrinho em São Carlos; pesquisadores do Nomads.usp; arquitetos de diversos estados do país e convidados a participar do experimento; estudantes de graduação em arquitetura do IAU-USP; empresa de montagem de máquinas de corte a laser Engraver e empresa de corte a laser Dalmak.

4.1.1 Moradores

Os moradores no processo de *design* têm características específicas de, primeiro, criarem a demanda para o *design* de um objeto arquitetônico no espaço urbano do conjunto habitacional, que surge a partir da leitura do cotidiano dos moradores que indica a falta de atrativos inseridos nessa área. Segundo, serem conhecedores das atividades locais e orientarem as escolhas no processo de *design* do objeto arquitetônico que alterará essa situação urbana. Assim, a

importância dos moradores do conjunto habitacional surge em relação à definição do objetivo, ou meta, que estimula o processo de *design*, e posteriormente orientando as escolhas dos parâmetros para esse objeto arquitetônico.

A meta é importante, pois para que os envolvidos no processo de *design* possam realizar planos em relação ao futuro de um objeto, esse objeto deve existir como uma meta. Assim, para que todos sejam estimulados a realizarem esses planos, é necessário um comum acordo dos atores envolvidos em relação a um objetivo inicial. Ainda que, como colocado por Pangaro (2008), objetivos sejam negociados e evoluam através de interações, é a existência deles que possibilita o desenvolvimento do objeto arquitetônico. É importante salientar, ainda, que quando apontamos para a definição desse objetivo não estamos estimulando a construção de um processo *top-down*, pois o objetivo definido não visa um objeto formal, não possuindo portanto atribuições como volume ou cor, mas é uma meta entendida como algo a ser alcançado, independentemente de características arquitetônicas pré-definidas. No caso do experimento, essa meta foi a realização de um pavilhão adequado a receber atividades culturais, sendo destituído, de início, de características

arquitetônicas pré-definidas, possibilitando que o objeto arquitetônico surgisse a partir de um processo *bottom-up*.

O objetivo de propor um pavilhão de uso múltiplo, dentro de um espaço público no conjunto habitacional, surge devido às experiências do Nomads.usp em atividades nesse local. Em vários momentos, em outras pesquisas nessa mesma área urbana, o núcleo levantou a inexistência de espaços públicos protegidos que pudessem abrigar atividades culturais ou ainda estimular a utilização comum das áreas. A partir da não utilização desses espaços pelos moradores, a proposta desse pavilhão é opção para criar um marco físico em uma área comum e abrigar atividades diversas, sem depender tanto de condições climáticas favoráveis ou adversidades quaisquer, estimulando moradores a mudar sua relação com as áreas urbanas de seu bairro.

Para o desenvolvimento desse pavilhão, os moradores também são importantes pois são eles que dominam a informação das atividades cotidianas desenvolvidas nesses espaços públicos. Além disso, possuem interesses voltados a esses espaços, que orientam escolhas dos parâmetros que serão utilizados no desenvolvimento do objeto

arquitetônico. Assim, no olhar estabelecido nessa pesquisa, os moradores também são considerados *designers*, dentro de um sistema pertencente a unidade complexa, pois, a partir da definição da meta do processo, também realizam planos em relação ao futuro desse objeto, sejam eles sobre a utilização ou mesmo à forma, implantação, funções, etc..

4.1.2 Pesquisadores

Uma vez que, sob a perspectiva advinda da cibernética de segunda ordem, todo observador de um sistema o influencia. No caso desse experimento, temos observadores da unidade complexa na qual o processo de *design* se desenvolve, os pesquisadores, que também fazem parte dessa unidade. Alguns pesquisadores do Nomads.usp, são observadores e *designers*, dentro de um sistema da unidade complexa no processo de *design*. A principal característica desses pesquisadores é de participar do processo de *design* como um todo, estando presentes nas concepções iniciais assim como na montagem final do objeto arquitetônico. Eles detêm a informação do objeto arquitetônico com qualidade e em diversos momentos serão aquilo que Pask (1961) definiu como controladores dentro da unidade complexa na qual o processo de *design* se

desenvolve. Os pesquisadores tiveram ainda, o papel de elaborar os primeiros parâmetros do objeto arquitetônico e construir seu modelo paramétrico inicial, a partir da interação com os moradores.

4.1.3 Arquitetos externos

O sistema de arquitetos externos, dentro da unidade complexa, é formado por arquitetos graduados e estudantes de arquitetura em final de graduação, vindos de diferentes estados do Brasil - Ceará, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pernambuco, Rio Grande do Sul e São Paulo – em um total de dez *designers*, com formações distintas em diferentes cursos de arquitetura espalhados pelo país. A principal característica desse sistema foi contribuir com a heterogeneidade de especialidades de seus *designers* ao processo de *design*. Essa heterogenia se reflete em relação ao domínio das técnicas advindas do *design* paramétrico e da fabricação digital, muito díspar entre esses *designers*, com alguns já conhecendo e dominando o funcionamento de programas computacionais e máquinas de produção digital e outros tendo seu primeiro contato com esse universo nesse experimento. Dentro dessa heterogeneidade, eles contribuem para o

desenvolvimento do objeto arquitetônico de maneira intensiva, agregando ao projeto as suas principais características que surgem dos parâmetros elaborados em conjunto com dos moradores. A participação deles no processo de *design* concentrou-se no trabalho ao longo de duas semanas em um *workshop* imersivo, chamado de *Workshop Fabricação Digital*, que ocorreu dos dias 20 a 25 de agosto e 27 a 02 de setembro de 2012. Nessas duas semanas de desenvolvimento de objeto arquitetônico, buscou-se explorar o processo de *design* e entender diversos aspectos em relação à concepção, produção e montagem, pautados no *design* paramétrico e na fabricação digital.

4.1.4 Estudantes de graduação

Os estudantes de graduação são um total de três alunos do terceiro ano do curso de arquitetura e urbanismo do IAU-USP, Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. Como características desses *designers*, nesse sistema, diferentemente dos arquitetos externos, é a homogeneidade do perfil dos *designers* configurando um sistema por, primeiro, terem afinidade no trabalho em grupo para desenvolvimento de projetos em arquitetura,

por estarem na mesmo período da graduação e, segundo, por possuírem afinidade também com a utilização dos programas computacionais do *design* paramétrico e com as máquinas de fabricação digital, pois todos já haviam desenvolvido disciplinas dentro do curso de arquitetura voltadas a esse aprendizado. Esse sistema é inserido no processo de *design* após a finalização do *Workshop* Fabricação Digital, assim, a informação sobre o projeto que eles recebem, apesar de possuir qualidade, é carregada de ruído de significado, pois é passada a partir dos pesquisadores, que fornecem relatos sobre o desenvolvimento do objeto e suas características, e, inevitavelmente, na escolha de como passar essa informação, apesar da qualidade, ela é carregada de sentido direcionado pelo pesquisador. Esses *designers* trabalharam em conjunto com outros envolvidos no processo de *design*, em reuniões, no período de 19 de setembro a 2 de novembro, sendo essa última a data da finalização do experimento, marcada pelo término da montagem do pavilhão *Slice*.

4.1.5 Engraver

A Engraver é uma indústria que trabalha com a montagem de máquinas de corte a laser de pequeno porte, com mesas de trabalho máximas de 1200x900mm, localizada na cidade de São Paulo, SP. Ela forneceu uma máquina de corte a laser com mesa de trabalho de 900x600mm para o desenvolvimento de ações de produção durante o processo de *design* do pavilhão, no período do *workshop*. Além de disponibilizar a máquina, a empresa possibilitou, ainda, a presença de um técnico responsável pela instalação da máquina no local de trabalho e a apresentação de suas funcionalidades. Essa relação entre arquitetos, pesquisadores e técnico orientou o entendimento dos limites dessa tecnologia direcionando escolhas voltadas ao objeto arquitetônico.

A presença de tecnologias voltadas à produção em diversas escalas é constante no processo de *design* estudado nessa pesquisa. Ao entendermos que as tecnologias do *design* paramétrico e da fabricação digital são utilizadas tanto na produção de modelos reduzidos, quanto na produção do objeto arquitetônico final, podemos assumir que elementos da indústria estão presentes ao longo de todo o processo de *design* em arquitetura. As tecnologias de fabricação digital possuem máquinas com mesas de trabalho, por exemplo,

de 600x900mm, utilizada no *workshop*, que podem ser instaladas em pequenos espaços de trabalho, como ateliês, mas também oferecem máquinas com mesas de trabalho muito maiores, que demandem um espaço industrial para sua instalação. No experimento *Slice*, duas empresas são envolvidas para suprir essas duas escalas.

4.1.6 Dalmak

Na escala industrial, a empresa Dalmak, localizada na cidade de Araraquara, SP, participou do processo de *design* do pavilhão. Um protótipo parcial em escala 1:1 e o objeto final, em escala 1:2, foram produzidos nessa indústria que trabalha, dentre várias outras coisas, com o corte de chapas através de tecnologia de corte a laser, com uma máquina, considerada de grande porte, com mesa de trabalho de 3000x1800m. No caso da Dalmak, durante o desenvolvimento do objeto, alguns *designers* de outros sistemas envolvidos no processo, puderam comparecer ao galpão da indústria e conhecer a linha de produção dessa empresa, além de conversar com os profissionais responsáveis pela operação da máquina de corte a laser. Nota-se que o contato de *designers* dos sistemas de pesquisadores e arquitetos com os profissionais da

indústria, altera as compreensões sobre as possibilidades de utilização dessas tecnologias na produção de grandes peças, principalmente no sentido de otimização das ações de produção e montagem do objeto arquitetônico. Além disso, esse contato possibilitou a compreensão do ambiente industrial que abriga essas tecnologias e seu funcionamento, questões que também afetam o processo. Tais fatores são relevantes dentro do processo de *design*, pois novas organizações entre os sistemas são solicitadas ao inserirmos essas questões referentes a produção industrial dentro da unidade complexa na qual o objeto arquitetônico é desenvolvido, e o saber sobre o funcionamento dessa máquinas advém dos profissionais dessa empresa, *designers*, que dominam o conhecimento sobre a operação e trabalho com essas máquinas.

4.2. Momentos do processo de *design* e a alteração da unidade complexa

O processo de *design* para o desenvolvimento do pavilhão *Slice*, como já dito, ocorreu ao longo de seis meses e, nesse período, a unidade complexa na qual o processo se desenvolve é alterada em alguns momentos (diagrama 01), com a inserção, saída ou modificação dos sistemas que a

1

2

3

www.nomads.usp.br/territorios.hibridos
dia 23 de junho de 2012 [sábado]
10 horas da manhã nas quadras

4

5

6

7

8

1 Uma utilizada para coleta de dados no conjunto habitacional. Fonte: NOMADS.USP, 2012.

2 Primeiro modelos digital desenvolvidos pelos pesquisadores. Fonte: NOMADS.USP, 2012.

3 Cartaz de divulgação do evento OCUPA!.. Fonte: NOMADS.USP, 2012.

4 Moradores alterando valores paramétricos de propostas durante o evento OCUPA!. Fonte: NOMADS.USP, 2012.

5 Interface de comentários para trocas entre os envolvidos durante o evento OCUPA! Fonte: NOMADS.USP, 2012.

6 Utilização de TVs para visualizar modelos digitais e exemplos de pavilhões durante o evento OCUPA!t. Fonte: NOMADS.USP, 2012.

7 Atividades de modificação do espaço através do plantio de mudas. Fonte: NOMADS.USP, 2012.

8 Diversas alterações produzidas pelos moradores nos modelos digitais paramétricos. Fonte: NOMADS.USP, 2012.

constitui. Definiremos três momentos em que essa unidade complexa se altera: o primeiro, que dura da definição da meta do processo de *design* até o evento OCUPA!; o segundo, o *Workshop* Fabricação Digital; e o terceiro, o *Slice02*. Esses momentos são intervalos temporais definidos por alguma alteração na unidade complexa. Ainda assim, em todos os momentos são desenvolvidas ações das instâncias de concepção, produção e montagem. É importante entender que o processo de *design*, inevitavelmente, possui um desenvolvimento cronológico linear, no entanto, o conjunto das ações para o desenvolvimento do objeto arquitetônico não possui uma sequência linear, mesclando ações de concepção, produção e montagem em todos os momentos cronológicos do processo.

4.2.1 Da definição da meta ao evento OCUPA!

A definição do objetivo de desenvolver um pavilhão, parte da relação entre pesquisadores e moradores do conjunto habitacional CDHU, de São Carlos, sendo esses os dois principais sistemas que constituem a unidade complexa nesse momento I. Tendo definido a meta, no intuito de realizar as primeiras aproximações aos moradores e

começar o levantamento dos dados que seriam processados e elaborados como parâmetros do projeto a ser implantado na área pública, algumas ações foram tomadas. A primeira foi um levantamento que visava entender como os moradores percebem os espaços públicos dentro do conjunto habitacional. Para isso, os pesquisadores instalaram urnas (imagem 01), em todos os blocos do conjunto, com perguntas sobre o que os moradores gostariam para os espaços públicos, que poderiam ser respondidas em fichas a serem depositadas nessas urnas.

Esses dados possibilitaram uma primeira ideia sobre o que os moradores gostariam para as áreas públicas desse conjunto e, a partir deles, foi possível pensar no desenho de um primeiro modelo digital (imagem 02) paramétrico do objeto arquitetônico que conjugava sugestões arranjadas como parâmetros interligados. Tendo uma primeira proposta, se pôde pensar em estratégias para estabelecer trocas entre pesquisadores e moradores. Desenhou-se o evento OCUPA! (imagem 03), realizado no dia 23 de junho de 2012, que contou com atividades de intervenção no espaço construído, como o plantio de árvores em um terreno junto ao conjunto habitacional, além de atividades de recreação para estimular a participação dos moradores.

9

10

11

12

13

14

9 Pesquisadores conduzindo o início do *Workshop Fabricação Digital*. : Fonte: NOMADS.USP, 2012.

10 Apresentação de referências projetuais e modelos físicos. Fonte: NOMADS.USP, 2012.

11 Designers trabalhando no desenvolvimento do objeto arquitetônico. Fonte: NOMADS.USP, 2012.

12 Modelo do pavilhão desenhado em Rhinoceros+Grasshopper. Fonte: NOMADS.USP, 2012.

13 Modelo físico construído a partir dos primeiro parâmetros definidos para o pavilhão. Fonte: NOMADS.USP, 2012.

14 Interação entre designers de diferentes sistemas. Fonte: NOMADS.USP, 2012.

Essas atividades tiveram o intuito de incentivar os moradores a perceberem possibilidades de uso para atividades culturais, esportivas e de lazer de um ambiente do conjunto até então mal visto e preterido por grande parte dos residentes. Eles puderam, ainda, visualizar e propor, através de TVs e computadores, a construção de coberturas (imagem 4), através da alteração dos valores de parâmetros dentro de propostas arquitetônicas pré-desenhadas pelos pesquisadores. Além disso, meios digitais como redes sociais e interfaces de comunicação (imagem 5) também foram utilizados para estabelecer o diálogo entre moradores e pesquisadores, visando o desenvolvimento do pavilhão.

Essa aproximação entre sistemas da unidade complexa, buscou refinar e propor parâmetros para o desenvolvimento do objeto arquitetônico do pavilhão. Moradores contribuem no processo de *design* não apenas como uma fonte primária, na qual pesquisadores buscam informação para o desenvolvimento do objeto arquitetônico, mas também propondo alterações diretamente nos valores de parâmetros do objeto arquitetônico e visualizando essas alterações em modelos virtuais. A utilização do *design* paramétrico e da fabricação digital permitiu essa

participação dos moradores através da manipulação dos valores paramétricos, na interface de um programa computacional, previamente estabelecidos pelos pesquisadores que desenharam os modelos digitais.

4.2.2 O *Workshop* Fabricação Digital

O segundo momento do processo de *design* foi o *workshop* em que a unidade complexa sofreu sua primeira alteração em relação aos sistemas que a compunham. Os moradores deixaram de estar presentes e são inseridos os sistemas dos arquitetos externos, da Engraver e da Dalmak. Esses *designers*, 'co-laboram' no desenvolvimento do projeto do pavilhão durante duas semanas. No *Workshop* Fabricação Digital, tivemos a possibilidade de observar a interação entre *designers* e diversas questões intrínsecas ao desenvolvimento de projeto, específicas às ações de concepção, produção e montagem. Observamos como os meios digitais se inserem nesse contexto de trabalho através da utilização dos mais diversos, como equipamentos empregados em processos de *design* usuais – equipamentos de projeção, telas de visualização, computadores, programas computacionais de representação, etc. –, e ainda meios digitais específicos do

design paramétrico e da fabricação digital – programas computacionais de parametrização e máquinas de fabricação digital.

Além dos meios digitais incorporados ao desenvolvimento de objeto arquitetônico, o perfil dos *designers* pertencentes ao sistemas dos arquitetos externos é um aspecto importante nesse momento, sendo esse sistema formado de arquitetos externos, vindos de diversas escolas de arquitetura do país, com formação e cargas pessoais específicas. Além das diferenças de perfil na formação entre esses *designers*, o domínio deles em relação às tecnologias do *design* paramétrico e da fabricação digital também era díspar, como já foi dito. Essas disparidades entre os *designers* configurou um sistema extremamente heterogêneo de quem se esperava um trabalho coletivo ao longo das duas semanas de *workshop*.

Como fruto do trabalho dessas duas semanas foi desenvolvido um primeiro protótipo do pavilhão *Slice*, chamado de *Slice01* (imagem 15), um modelo parcial do objeto arquitetônico em escala 1:1. Muitas questões foram desenvolvidas durante essas duas semanas, inclusive questões que influenciaram o desenvolvimento planejado

do pavilhão de uma maneira inesperada. Essas questões se mostraram pertinentes no intuito de entender um processo de *design* que utiliza procedimentos ainda pouco explorados na área da arquitetura. Dentro da proposta do *workshop*, ainda foram exploradas algumas possibilidades, durante suas duas semanas de duração, sendo a primeira semana considerada uma semana com atividades programadas em relação, principalmente, à interação entre os *designers*, e a segunda semana um período sem programação prévia, aberto às demandas surgidas ao longo do desenvolvimento do objeto.

4.2.3 *Slice02*

No último momento do processo de *design* do pavilhão *Slice*, a unidade complexa teve a saída dos arquitetos externos e da empresa Engraver, e a inserção do sistema dos estudantes de graduação do IAU-USP. Essa etapa consistiu na continuidade do desenvolvimento do pavilhão *Slice*, a partir de avaliações realizadas sobre o protótipo *Slice01*, ainda com a utilização de programas computacionais e máquinas de produção digital. A principal alteração à unidade complexa diz respeito ao novo sistema inserido, formado por *designers* com perfis homogêneos em

16 Familiarização com o script do protótipo *Slice01*. Fonte: NOMADS.USP, 2012.

17 *Designers* desenvolvendo diferentes aspectos do objeto arquitetônico. Fonte: NOMADS.USP, 2012.

18 Interface do programa computacional Rhinoceros com os desenhos das chapas para produção. Fonte: NOMADS.USP, 2012.

19 Protótipo parcial em escala explorando materialidades. Fonte: NOMADS.USP, 2012.

20 Proposta de diagramação das peças para a criação de guias para a montagem. Fonte: NOMADS.USP, 2012.

21 *Designers* montando uma das partes do objeto final, *Slice02*, em escala 1:2. Fonte: NOMADS.USP, 2012.

relação a suas formações e conhecimentos. Além disso, o tempo de desenvolvimento das ações de concepção, produção e montagem foi alterado a partir da avaliação do *Slice01*, em que optou-se por estender o tempo para o desenvolvimento do objeto arquitetônico explorando mais ações durante o processo. Enquanto no *workshop*, os *designers* tiveram apenas duas semanas de desenvolvimento do objeto arquitetônico, nessa continuidade do experimento as atividades ocorreram durante seis semanas de trabalho, culminando com a finalização da montagem do objeto completo em escala 1:2, chamado de *Slice02* (figura 22).

4.3 Análise do processo de *design* do pavilhão *Slice*

Apresentados os principais sistemas envolvidos no processo de *design* do pavilhão *Slice* e contextualizado temporalmente o desenvolvimento do objeto arquitetônico, realizaremos a análise do processo através das cinco categorias definidas no capítulo anterior, - meios digitais, gestão, princípios da geração, materialização e objeto final – possibilitando leituras do experimento.

4.3.1 Meios digitais

Sobre a questão do acesso às informações referentes ao objeto arquitetônico na unidade complexa na qual se desenvolve o processo de *design*, a modelagem e representação possibilitadas no *design* paramétrico e na fabricação digital são importantes para a troca da informação entre sistemas. O *design* paramétrico automatiza alterações do objeto arquitetônico, a partir da modificação de valores de parâmetros possível graças aos programas computacionais parametrizados. Através da fabricação digital, é possível a visualização dessas alterações também por modelos físicos, produzidos de maneira igualmente rápida. Isso possibilita que as informações do objeto arquitetônico sejam apresentadas de diversas maneiras, proporcionando que até mesmo *designers* não habituados às linguagens de representação usuais da arquitetura (planta, cortes, vista, perspectivas), como do sistema moradores, possam tanto propor parâmetros, como também direcionar a alteração de seus valores, a partir do domínio da representação da informação do objeto. Os meios digitais possibilitam a troca de informações agregando qualidade a ela, abrindo a esses atores a chance de planejar o futuro de objetos de maneira

efetiva. Os meios digitais possibilitam qualidade às informações, através das diversas representações do objeto arquitetônico, seja em modelos digitais, possíveis de serem visualizadas em telas de TVs ou projeções, ou através de modelos físicos produzidos digitalmente.

É importante ressaltar que a partir das tecnologias do *design* paramétrico e da fabricação digital, não cogitamos a eliminação da participação de um *designer* com formação em práticas de projeto e construção de objetos (arquitetos, engenheiros, *designers* de produto, etc.), mas é importante lembrar que, através do uso de programas computacionais paramétricos e máquinas de fabricação digital, é possível integrar mais sistemas de áreas de formação distintas ao processo de *design*. Vislumbramos, por exemplo, a possibilidade de integrar advogados, psicólogos, biólogos, etc., profissionais de áreas de formação que não têm o domínio técnico sobre representações de arquitetura, mas que, a partir dos meios digitais podem vir ser propositivos colocando seu saber específico no processo de *design* não apenas limitado a sua área, mas com a possibilidade de proposição em outras áreas, sendo possível, inclusive, visualizar a influência de suas proposições no próprio desenho do objeto. Essa lógica é a base dos programas

computacionais que trabalham com a parametrização de modelos únicos da informação do objeto arquitetônico, possibilitando que diversos sistemas alimentem um modelo digital. A figura do *designer* com prática em projeto de objetos arquitetônicos continua sendo essencial para o desenho dos modelos paramétricos e ainda, em alguns casos, também exerce a função de controlador no processo de *design*, segundo a definição de Gordon Pask (1961), sendo o responsável por manter o foco do processo em metas estabelecidas e garantindo as trocas de informação para a efetivação do objeto arquitetônico.

Nesse experimento, foram explorados diversos programas computacionais, no intuito de conhecer tais programas e de entender sua importância no processo de *design* estudada. O principal programa computacional utilizado foi o *Rhinoceros*, um programa de modelagem de superfícies NURBS, *Non-Uniform Rational B-Splines*, que possibilita a proposição e visualização de superfícies de múltiplas curvaturas a partir da modelagem através de pontos de controle. Como corroborado por Kolarevic (2009), “o que faz as curvas e superfícies NURBS particularmente atraentes é a capacidade de controlar facilmente a sua

forma através da manipulação dos pontos de controle.”⁴⁰ Essas superfícies NURBS são essenciais para o domínio da modelagem das formas complexas do objeto arquitetônico, que derivam, por exemplo, da topologia, como o torus, a garrafa de Klein, entre outros.

Além do *Rhinoceros*, como interface de parametrização foi utilizado o *Grasshopper*. No intuito de entender o pensamento paramétrico é preciso uma interface computacional que, a partir do desenho de relações entre elementos geométricos - pontos, linhas e superfícies - gerem visualizações tridimensionais desse conjunto de elementos interligados. O *Grasshopper* trabalha com a proposição de algoritmos que relacionam elementos geométricos de maneira que a alteração do valor de um desses parâmetros altera, conseqüentemente, a estrutura do próximo, e assim sucessivamente. O *Grasshopper* possui uma interface de trabalho simples que não necessita de domínio de, por exemplo, linguagem de programação pura em linhas de comando, mas através de funções matemáticas pré-estabelecidas, possibilita discriminar

⁴⁰ Do original em inglês: “What makes NURBS curves and surfaces particularly appealing is the ability to easily control their shape by manipulating the control points.”

logaritmos para a parametrização de objetos arquitetônicos. O *Rhinoceros* e o *Grasshopper* trabalham em conjunto, sendo o *Grasshopper* responsável pela parametrização e o *Rhinoceros* pela visualização e modelagem tridimensional.

Além desses dois programas computacionais, foram utilizados no experimento o: *Ecotect*, um programa capaz de simular e avaliar questões relacionadas a conforto térmico em objetos arquitetônicos, ligado ao *Grasshopper* através do *plug-in* *Geco*; *Kangaroo*, um *Live Physics Engine*⁴¹ para simulação interativa, otimização e forma de averiguação de geometrias, diretamente ligado ao *Grasshopper*; e *RhinoNest*, que permite otimizar a posição e orientação de peças no uso de material para a produção em corte. Todos funcionam em conjunto com *Rhinoceros* e o *Grasshopper*, porém outros programas computacionais também foram explorados dentro do processo de *design* como: *Adobe Photoshop*, para a edição de imagens e montagens para a visualização de propostas do objeto arquitetônico; pacote *Office*, principalmente o programa

⁴¹ O termo *engine* diz respeito a um motor de processamento de dados, no geral gráfico. Um *Live Physics Engine*, diz respeito a um motor de processamentos de dados gráficos que simula condições físicas de peso e gravidade de resposta imediata.

Excel, para construção de tabelas com dados referentes ao objeto arquitetônico, e *Autocad Autodesk*, para a montagem dos desenhos para a produção tanto de protótipos em atelier como na indústria. Todos esses programas computacionais sempre são utilizados de maneira interligada, como uma rede em que cada um supre lacunas deixadas por outros, enriquecendo o processo de *design*.

Essa gama de programas computacionais dentro do processo de *design* possibilitou explorar uma postura que os considera não apenas como ferramentas, mas integrados ao processo, possibilitando o trabalho conjunto entre processamento de dados e o potencial criativo dos *designers* para desenvolver o objeto arquitetônico. No experimento, foi dito aos envolvidos que o objeto arquitetônico seria desenvolvido parametricamente através do *Rhinoceros+Grasshopper*. Isso exigiu dos *designers* uma alteração da postura, mesclando habilidades já adquiridas com habilidades novas, para pensar o objeto arquitetônico parametricamente. Como colocado por Woodbury (2010, p. 24):

O desenho é uma habilidade. Combinando vários esboços ortográficos e perspectiva para revelar a implicação de uma idéia de *design* é estratégia. Aqui estão seis habilidades dominadas por aqueles que conhecem e usam ferramentas paramétricas. Algumas têm analogias a habilidades de *design* históricas. Outras são novas para *design*. A maestria paramétrica requer todas elas.⁴²

O autor continua apresentando essas seis habilidades que competem aos *designers* que trabalham com o *design* paramétrico, que são: 1. Conceber fluxo de dados; 2. Trabalhar com partes relacionadas em um sistema; 3. Organização na identificação das partes; 4. Trabalhar com abstração no sentido de considerar o objeto arquitetônico apenas em relação a “*inputs* essenciais para remover as referências e uso de termos excessivamente específicos”⁴³ (WOODBURY, 2010, p. 30); 5. Pensar matematicamente e; 6. Pensar algoritmicamente.

⁴² Do original em inglês: “ Drawing is a skill. Combining multiple orthographic and perspective sketches to reveal the implication of a *design* idea is strategy. Here are six skills held by those who know and use parametric tools. Some have analogues to historical *design* skill. Others are new to *design*. Parametric mastery requires them all.”

⁴³ Do original em inglês: “ essential inputs to remove references to and use of overly specific terms

23 Interfaces dos programas computacionais Rhinoceros+Grasshopper. Modelo digital do *Slice01*. Fonte:

24 Análise do terreno de implantação realizado no programa computacional *Ecotect*. Fonte: NOMADS.USP, 2012.

25 Grupo criado na rede social Facebook. Fonte: NOMADS.USP, 2012.

26 Utilização de meios digitais e analógicos de maneira conjunta. Fonte: NOMADS.USP, 2012.

27 Designers trocando informações com a utilização de modelos digitais, modelos físicos e meios digitais como projeção. Fonte: NOMADS.USP, 2012.

No experimento *Slice*, essas habilidades foram estimuladas, principalmente, através da utilização dos programas computacionais apresentados. Apesar de, como colocado por Woodbury (2010), no *design* paramétrico habilidades já estabelecidas historicamente na área da arquitetura ainda serem necessárias ao *designer*, no início do *workshop* os arquitetos externos, por exemplo, foram estimulados a não trabalhar com habilidades como o desenho a mão livre. Essa proposta visou estimular esses *designers* a desenvolver aspectos das novas habilidades necessárias ao *design* paramétrico para que, posteriormente, as habilidades usuais, como o desenho de croqui, fossem retomadas.

Em contraponto, no momento III do experimento, como os estudantes de graduação já apresentavam conhecimento prévio e domínio sobre os programas computacionais de parametrização, as habilidades históricas e novas do *design* (WOODBURY, 2010) puderam ser exploradas a fundo e percebeu-se, em comparação com os arquitetos externos, que o domínio técnico desses programas computacionais é essencial para que, nesse processo de *design*, o desenvolvimento do objeto arquitetônico seja potencializado com maiores possibilidades de trocas entre

os envolvidos. Além disso, os *designers* somente se tornam efetivamente propositivos a partir do momento em que as novas habilidades são constituídas e, em especial, a partir do entendimento da lógica de funcionamento dos programas computacionais voltados à parametrização, o que requer a compreensão do seu funcionamento em rede.

Além dos meios digitais relacionados diretamente ao *design* paramétrico e à fabricação digital, também foram utilizados meios digitais difundidos e usuais, que fazem parte do cotidiano de muitos indivíduos. Nesse sentido, foram expressivos no desenvolvimento do pavilhão o uso de: 1. Redes sociais, como meio de relacionamento entre indivíduos; 2. Equipamentos de processamento como computadores, *tablets* e *smartphones* e; 3. Equipamentos de visualização, como projetores e TVs.

A rede social *Facebook* foi explorada para o desenvolvimento do objeto arquitetônico em função da sua difusão de acesso e alcance, que possibilitou que, mesmo sem a solicitação de criação de um perfil de cada um dos *designers*, todos já utilizassem previamente essa rede. Esse uso prévio permitiu explorar esse meio, na troca entre todos os *designers* envolvidos diretamente no processo de

design e também a visualização das atividades por outras pessoas convidadas a observar o desenvolvimento do objeto arquitetônico. Foi criado um grupo virtual interligando os perfis sociais dos *designers*, no qual todos poderiam alimentar a discussão e ainda divulgar suas atividades para seus contatos pessoais. Portanto, o grupo criado entre os envolvidos no processo de *design* era alimentado de maneira autônoma sem a necessidade de cobrança de inserção de material nessa interface, pois os *designers* inseriam conteúdo na rede no intuito de divulgar suas atividades, também, aos seus contatos pessoais, estabelecendo uma dinâmica de postagem de informações muito alta durante o desenvolvimento de objeto arquitetônico. Por um lado, atingiu-se um relato preciso e sistematizado cronologicamente das atividades de projeto, útil como registro para a pesquisa acadêmica e, por outro, a comunicação entre os *designers* envolvidos foi ampliada dando visibilidade às tomadas de decisões no processo de desenvolvimento do pavilhão.

Esse amplo acesso somente foi possível graças à difusão da utilização de ferramentas de comunicação portáteis. A utilização massiva de *notebooks*, *tablets* e *smartphones* possibilitou a conexão constante dos *designers* entre si e

com a rede social *Facebook*. Além disso, no sentido de registro, as ferramentas de audiovisual integradas a esses dispositivos otimizam a coleta de dados e, por consequência, a transmissão da informação referente ao desenvolvimento do objeto arquitetônico. A transmissão dessa informação de maneira tão simples possibilitou que as discussões sobre o objeto arquitetônico não se restringissem aos momentos presenciais, mas se ampliassem a momentos de discussões não-presenciais, síncronas e assíncronas, através, principalmente, de textos, imagens e vídeos, postados na rede *Facebook*.

A estratégia de utilização desses dispositivos e dessa rede social ampliou as dinâmicas de interação, possibilitando, inclusive, situações emergentes. Realizando uma leitura a partir do pensamento complexo, a unidade complexa formada pelos *designers* é aberta a influências do ambiente digital que vai além dos limites físicos do espaço de trabalho, como um atelier convencional, por exemplo. Os *designers* são influenciados pela observação de atores externos, através das postagens na rede social, alterando as tomadas de decisão relacionadas com o objeto arquitetônico. Considerando o fenômeno da emergência (HOLLAND, 1998; MORIN, 2011), temos aqui um ambiente

rico e propício a *inputs* que alteram as interações e geram auto-organização dentro da unidade complexa, possibilitando situações emergentes que agregam novidade ao processo de *design* e alimentam o desenvolvimento do objeto arquitetônico.

Nas trocas entre os *designers*, os meios de visualização digital possibilitaram também elevar a qualidade das informações transmitidas. No experimento, foram utilizados televisores de 42” e 56” , além de projetores digitais capazes de criar telas com mais de 70”. Esses equipamentos possibilitaram dois aspectos no desenvolvimento de objeto arquitetônico. O primeiro, para a visualização das alterações no objeto arquitetônico durante as discussões coletivas e, o segundo, para a visualização das alterações em tempo real, fora dos momento de discussão. Sobre o segundo aspecto, os *designers* que trabalharam na parametrização do pavilhão tinham seu computador ligado a um projetor, o que possibilitava que as alterações feitas no *script* do objeto fossem visualizadas coletivamente. Isso abre a possibilidade de qualquer *designer*, em qualquer sistema dentro da unidade complexa, presente nesse espaço de trabalho, intervir na modelagem a qualquer momento do

desenvolvimento, de maneira a questionar, sugerindo situações de troca entre os sistemas especialistas.

4.3.2 Gestão

Em qualquer processo de *design*, diversos interesses são envolvidos nos planos para o futuro de um objeto arquitetônico (CUFF, 1991), sejam eles das agências financiadoras, das empresas envolvidas, do público que utilizará o objeto, entre outros. No experimento, alguns interesses podem ser elencados dentro desse processo de *design*. Um deles é o do projeto de políticas públicas, de aproximar realidades distintas, como moradores, pesquisadores, arquitetos, empresas, etc.; outro, é o interesse de suprir necessidades do espaço urbano através da proposta de implantação de um objeto arquitetônico, desenvolvido a partir de leituras das rotinas de utilização desse espaço pelos moradores; ainda, o interesse de pesquisa exploratória, que, como já visto no capítulo anterior, torna alguns limites mais flexíveis; talvez, por fim, o interesse de algumas empresas em participar do processo visando a difusão das tecnologias nos meios de formação acadêmica. Esses interesses perpassam o processo de *design* como um todo e influenciam as escolhas e as

maneiras como os procedimentos advindos do *design* paramétrico são abordados.

Durante a primeira semana do *Workshop* Fabricação Digital, as atividades foram desenhadas para o estímulo à interação entre os *designers*, aproximando os envolvidos e visando a possibilidade de situações de trocas entre eles. Casos haja alteração às características dessas trocas, estimulada por um *input* externos e que agregue um caráter de novidade em relação a situação de troca anterior, pode-se dizer que se tratam de situações emergentes, que somente são possíveis no seio de sistemas ricamente organizados em que as partes estejam em constante interação (MORIN, 2011; HOLLAND, 1998). Como colocado por Holland (1998, p. 141-142) o fenômeno da emergência considera que:

1. Regras que são quase absurdamente simples podem gerar fenômenos emergentes coerentes;
2. Emergências focadas na interação são mais do que a soma das partes independentes;
3. Fenômenos emergentes persistentes podem servir como componentes de fenômenos emergentes mais complexos.⁴⁴

⁴⁴ Do original em inglês: "1. Rules that are almost absurdly simple can generate coherent, emergent phenomena; 2. Emergence centers on

Em vista disso, dentro dos interesses de pesquisa, a primeira semana do *workshop* foi desenhada por regras visando rotinas que estimulassem a interação entre os *designers*, e seu estabelecimento a partir de regras simples, podem vir a propiciar situações emergentes. Para a incorporação dessas regras por parte dos *designers*, os passos para o estabelecimento delas foi gradativo através de diversas atividades. Assim, a primeira semana teve início com uma apresentação, em que os pesquisadores introduziram as propostas do *workshop*, apresentando a meta do processo de *design*, no caso, a elaboração de um pavilhão a ser construído no espaço do conjunto habitacional de São Carlos. Para a explicação e visualização desse objetivo, foram apresentadas aos arquitetos externos referências de pavilhões construídos em diversos países, inclusive exemplos presentes no capítulo II dessa dissertação. Todas as referências de objetos arquitetônicos são exemplos de utilização dos procedimentos do *design* paramétrico e da fabricação digital no processo de *design* em arquitetura. A partir da apresentação da meta e a visualização de possibilidades do *design* paramétrico e da

interactions that are more than a summing of independent activities; 3. Persistent emergent phenomena can serve as components of more complex emergent phenomena."

fabricação digital para objetos arquitetônicos, foi realizada uma introdução teórica ao *design* paramétrico e à fabricação digital. Essa introdução teve como base os conceitos apresentados no primeiro capítulo dessa dissertação, que englobam questões do pensamento complexo, assim como definições de autores como Woodbury (2010) e Kolarevic (2009). Além da introdução de conceitos, devido à heterogeneidade dos *designers* do sistema dos arquitetos externos, foi necessária a introdução à utilização prática de programas computacionais paramétricos e máquinas de produção digital.

Além de servir como introdução a diversas questões, esse início de *workshop* teve como objetivo estabelecer as primeiras interações entre todos os *designers*. Todas as apresentações foram montadas no formato de discussão, cabendo aos arquitetos externos exporem suas experiências e opiniões em relação, principalmente, à proposta de um pavilhão, ao *design* paramétrico e à fabricação digital. Essa abertura às trocas entre os elementos possibilitou marcar a dinâmica de interações esperada dentro da unidade complexa nesse segundo momento do processo (diagrama 1, pg 36). Essa introdução busca atender ao que Morin (2005) define como a

necessidade de que as regras da unidade complexa estejam claras para todos os seus participantes desde o início do processo, e que todos manifestem seu acordo e compromisso em segui-las. A partir disso, se estabelece a organização da unidade complexa, que nesse caso consiste no conjunto de ações para o desenvolvimento do objeto nas instâncias de concepção, produção e montagem.

Com a introdução realizada, iniciaram-se as atividades voltadas ao desenvolvimento do objeto arquitetônico. Pode-se considerar que o processo de *design* do pavilhão teve início no momento em que cada envolvido, inclusive, anterior ao início do *workshop*, vislumbrou planos em relação ao futuro do objeto arquitetônico (CUFF, 1991). Por exemplo, no intuito de participar do *workshop*, cada um dos arquitetos externos já passaram a criar possibilidades de projeto de maneira individual, baseado em suas referências pessoais. O *workshop* tratou-se do momento em que essas possibilidades vislumbradas individualmente são coletivizadas e contribuem para o desenvolvimento do objeto arquitetônico, principalmente através das trocas.

Para a dinâmica de interações na unidade complexa, foram determinadas rotinas de trabalho que visavam garantir a

comunicação entre os *designers*, tanto dentro de seis sistemas como com *designers* de outros sistemas. Essas rotinas consistiam na alternância entre, diferentes formatos de trabalho coletivo e a apresentação de resultados. Assim, o sistema dos arquitetos externos possui uma dinâmica que agrupa seus *designers*, inicialmente em duplas para a criação de propostas a serem apresentadas e discutidas coletivamente aos envolvidos presentes na unidade complexa. Os *designers* do sistema de pesquisadores não desenvolveram proposta, pois o na discussão foi apresentado o primeiro modelo paramétrico (imagem 2) desenhado para evento OCUPA!. Nessa apresentação e discussão coletiva dos objetos arquitetônicos desenvolvidos pelas *designers*, dos cinco projetos apresentados, dois deles foram escolhidos para serem desenvolvidos e dentro do sistema de arquitetos externos, as duplas de *designers* se mesclaram e passaram a trabalhar como duas equipes de desenvolvimento de projeto.

Na sequência, as duas equipes desenvolveram suas propostas e novamente apresentaram o resultado ao coletivo no intuito de discutir os aspectos positivos e negativos de cada uma. A partir dos pontos levantados nas duas apresentações, os parâmetros começaram a se tornar

mais claros para os *designers* e uma proposta única, a partir das duas apresentadas, foi gerada para ser desenvolvida até o final da primeira semana. Desde o início do desenvolvimento de objeto arquitetônico, durante o *workshop*, algumas metas intermediárias foram estabelecidas. Uma delas foi que, para o final da primeira semana, deveria ser montado um modelo físico em escala reduzida da proposta do pavilhão.

As duas equipes se reúnem em um único grupo, sendo pleno o sistema composto pelos dez arquitetos externos, sem mais nenhum agrupamento. O sistema de arquitetos externos acabou por se dividir em outros sistemas em especialidades, com cada *designer* se posicionando no sistema que apresentasse as ações de desenvolvimento do objeto que mais lhe eram adequadas pelo seu perfil pessoal, criando subsistemas internos ao sistema de arquitetos externos. Esses subsistemas consistiram na divisão do sistema dos arquitetos externos em subsistemas especializados (diagrama 2). Uma parcela dos *designers* fixou-se no desenvolvimento dos scripts que descrevem e agenciam os parâmetros para o objeto arquitetônico; outra na elaboração de modelos físicos; e a última, na viabilização de materiais e de subconjuntos básicos para a

materialização do pavilhão. O sistema dos arquitetos externos, no intuito de alcançar eficiência para o desenvolvimento de projeto, assume posições setorizadas e especializadas (BERTALANFFY, 1978), nesses três subsistemas. Com isso, ao final da primeira semana, graças à eficiência proporcionada pelos subsistemas especializados, foi possível a construção de um protótipo parcial em escala 1:1 do pavilhão, que nessa primeira semana ainda não utiliza ferramentas de fabricação digital, assim o protótipo é produzido utilizando tecnologias analógicas de corte chapas em guilhotinas, como podemos ver na imagem 14.

Observando o comportamento do sistema dos arquitetos externos, a rotina de trabalho em duplas e equipes instaurada estimulou a interação entre os *designers*, marcando as regras para as interações que levam em consideração a troca entre eles com ações de concepção, produção e montagem. Segundo Holland (1998), quando padrões recorrentes são associados a eventos de interesse, estamos possibilitando propriedades emergentes ao sistema. Assim, no sistema dos arquitetos externos, foram criadas condições para o surgimento de situações emergentes através das rotinas associadas ao evento de interesse de produção e montagem do protótipo, esperado

2 Diagrama mostrando os subsistemas que surgiram no sistema dos arquitetos externos. Fonte: autor, 2013.

para o final da semana. Almeida (2008) diz ainda que a emergência somente é possibilitada a partir da auto-organização, que, no caso do sistema formado pelos arquitetos externos, se verifica no momento em que eles assumem uma nova divisão em subsistemas. Ou seja, as regras são absorvidas pelos *designers* e, a partir do estímulo da necessidade de produção e montagem de um protótipo em um prazo de tempo definido, o sistema sofre auto-organização que coloca uma nova maneira de utilizar essas regras, com as especializações em subsistemas, que possibilitaram a realização do protótipo parcial em escala 1:1. (imagem 28).

Outra questão importante sobre essas regras diz respeito ao estímulo do controle dentro do sistema, entendendo controle relacionado à circulação da informação. As rotinas colocadas pelos pesquisadores forçaram todos os *designers* a terem conhecimento das ações para o desenvolvimento do objeto e interagirem viabilizando a troca das informações desenvolvidas por cada *designer*. Essas rotinas colocadas aos *designers* são o controle do sistema (PASK, 1961), que garante a circulação da informação. A auto-organização no nível do sistema dos arquitetos externos, no fim da primeira semana de *workshop*, somente é possível

pela capacidade dos arquitetos externos de absorverem as lógicas colocadas e se rearranjarem de uma maneira muito mais eficiente para o processo de *design*. Porém, como colocado pelo pensamento complexo, essa auto-organização inicial pode levar a unidade complexa formada pelos *designers* à entropia, que pode ter efeito negativo, uma tendência à desorganização, em que, a partir das especializações e da acomodação dos *designers* em sua situação de eficiência, a troca da informação cessa entre todos os envolvidos. Tal situação foi verificada na segunda semana de *workshop*, mas, supõe-se que principalmente pela falta do estímulo por parte do controlador, papel do sistema de Pesquisadores, o que reduziu os momentos de discussão do objeto arquitetônico.

Era esperado que a unidade complexa formada pelos sistemas e seus *designers*, a partir do nível alcançado de especialização dos sistemas (BERTALANFFY, 1976; MORIN, 2005), contribuísse ao objeto, porém a troca de informações através da interação também deveria continuar possibilitando o fenômeno da emergência (HOLLAND, 1998) no processo de *design*. No entanto, o andamento da segunda semana nos evidenciou questões divergentes das esperadas inicialmente. Tendo uma meta

principal a ser alcançada, arquitetos externos permaneceram nos mesmos subsistemas estabelecidos ao final da primeira semana. As ações desenvolvidas por esses subsistemas dentro do processo de *design* eram interdependentes, principalmente considerando a mescla das instâncias de concepção, produção e montagem existente nos procedimentos do *design* paramétrico e da fabricação digital. Como já citado nos capítulos anteriores, processos de *design* que trabalham com o *design* paramétrico e com a fabricação digital são processos em que, por exemplo, a produção de protótipos e soluções técnicas construtivas depende da programação e de soluções voltadas aos *scripts* computacionais e vice-versa. Os *scripts* possibilitam a produção de protótipos parciais através de máquinas e nesses protótipos são testadas soluções que produzem alterações as quais, por sua vez, são inseridas novamente como linguagem computacional dos *scripts*. Além disso, a configuração de *scripts* e a proposição de soluções técnicas dada pelos protótipos deve orientar o pensamento por trás das ações de montagem do objeto arquitetônico.

Nessa segunda semana de *workshop*, a partir dos subsistemas especializados que surgiram do sistema

formado por arquitetos externos, as trocas de informações específicas de cada um reduziram-se e cada subsistema desenvolveu suas especialidades com menos conhecimento das atividades desenvolvidas pelo outro. Essa situação possibilitou entender com clareza ainda maior a importância da presença de um controlador inserido na unidade complexa, pois, nessa segunda semana, os pesquisadores não propuseram rotinas de trabalho, por imaginar que essas rotinas já teriam sido entendidas na semana anterior e absorvidas pelos participantes. Essa leitura sobre essa experiência levantou a questão da existência da entropia dentro da unidade complexa, uma tendência à desorganização, que acaba por tender a diminuição das trocas de informações entre os sistemas. Mesmo que tenha existido auto-organização inicial e eles tenham se posicionado em uma condição de especializações que deveriam tornar a unidade complexa mais eficiente. Porém a menor presença do controlador afetou a continuidade das dinâmicas de interação, pois a mesma especialização adquirida pelos *designers* os levou a uma condição de acomodação, que diminuiu as trocas de informações.

A dificuldade na comunicação entre os subsistemas parece ter sido uma das principais responsáveis pela ineficiência do

modelo do objeto arquitetônico resultante no final da segunda semana. Esse modelo, chamado *Slice01*, possuía uma estrutura com problemas na relação entre dimensionamento e qualidades dos materiais, o que levou o conjunto a um colapso, com grandes deformações em seus componentes, demandando o reforços estruturais provisórios e a necessidade de um suporte rígido de apoios para a sua montagem, alcançado com a instalação junto a um edifício preexistente, a unidade experimental 001, sede do Nomads.usp. A partir da avaliação dos problemas que o protótipo apresentou, soluções foram desenvolvidas no momento III do experimento e o objeto arquitetônico, chamado *Slice02*, pôde vir a ser finalizado.

No momento III a unidade complexa foi alterada, com a saída de alguns *designers* e inserção de outros, como visto no diagrama 1, além disso, o fluxo da informação entre os *designers* foi estimulado por diversos meios. Os pesquisadores estimularam a troca da informação como controladores, mas, além disso, estimulou-se uma rotatividade nas ações dos estudantes de graduação, fazendo com que os três tivessem contato com as diversas ações de concepção, produção e montagem, ganhando domínio da informação desenvolvida nessas ações, porém,

minimizando a importância e o papel das especializações. Tal dinâmica somente foi permitida graças, por um lado, ao perfil dos alunos de graduação e seu conhecimento prévio em relação aos procedimentos advindos do *design* paramétrico e da fabricação digital e, por outro, ao fato de todos os envolvidos apresentarem a mesma formação em projeto de arquitetura. A homogeneidade do perfil dos *designers* do sistema de estudantes de graduação possibilitou tal dinâmica, que se mostrou eficiente no sentido de alcançar o objetivo principal com o desenvolvimento do objeto arquitetônico em escala 1:2 (imagem 22), com eficiência estrutural.

Porém, nota-se que, apesar de alcançar a meta inicial - a montagem final do pavilhão - isso somente foi possível porque o tempo de desenvolvimento do projeto foi ampliado. Percebe-se que, caso existisse um limitante cronológico imposto, a não-existência de especializações dos *designers* talvez impossibilitasse o alcance da meta, pois nessa continuidade a falta de especialização prejudicou a eficiência em relação ao tempo de desenvolvimento. Nota-se, ainda, que os *designers* apresentavam tendência a buscar auto-organização, baseada em suas afinidades, gerando especializações, mas ela não era permitida

plenamente, pois os *designers* eram estimulados a mudarem regularmente de funções.

Percebeu-se também que apesar da eficiência em relação ao desenvolvimento do objeto arquitetônico nesse momento III, ele é menos rico em questão à aspectos voltados a situações emergentes. Leu-se que, possivelmente, graças a homogeneidade dos *designers* do sistema de estudantes, as trocas se davam dentro de conhecimentos muito similares, não agregando novidade a partir das trocas. Olhando segundo a perspectiva de Holland(1998), existiam emergências coerentes, porém elas não chegavam a afetar serem fenômenos emergentes mais complexos, que afetam a própria unidade na qual o processo de *design* se desenvolve.

O entendimento dos momentos II e III do experimento de maneira comparativa possibilitou vislumbrar compreensões sobre o processo de *design* pautado no *design* paramétrico e na fabricação digital e sua relação com o perfil dos *designers* envolvidos no processo. Nesse aspecto, quando usamos a lente da complexidade para entender as dinâmicas dos *designers*, surgem conclusões e novos questionamentos. Isso ainda é potencializado a partir da

comparação dessa experiência com relatos de práticas desenvolvidas por outros grupos de *designers* trabalhando objetos arquitetônicos sob essa mesma perspectiva.

4.3.4 Princípios geradores

Nas ações da instância concepção do *Slice*, as referências à biologia ou matemática são estabelecidas a partir de comparações superficiais a estruturas existentes na natureza ou padrões de repetição de desenhos da estrutura. Em diversos momentos durante o processo, o desenho de colmeias de abelhas foi usado como referência, ou ainda, se sugere que o desenho da estrutura evoca alvéolos, como os presentes em algumas estruturas biológicas. Diferentemente, por exemplo, do pavilhão *Dragonfly*, os *designers* do *Slice* não realizaram a leitura de uma referência a um nível comportamental e de propriedades, mas assim como no *[C]Space*, o resultado final do pavilhão remete a várias referências biológicas e matemáticas, como as citadas.

Em projetos estudados nessa pesquisa e, também, no experimento apresentado, as formas biológicas podem ser descritas, na maioria das vezes, por fórmulas matemáticas, e as formas arquitetônicas fruto do processo de *design* aqui

28

29

30

31

32

33

28 Primeiro protótipo produzido e montado no final da primeira semana de *workshop*. Fonte: NOMADS.USP, 2012.

29 Técnico da empresa Engraver presente no *workshop*. Fonte: NOMADS.USP, 2012.

30 Produção do protótipo *Slice01* na empresa Dalmak. Fonte: NOMADS.USP, 2012.

31 Barras espaçadoras e ferramentas utilizadas na montagem do *Slice02*. Fonte: NOMADS.USP, 2012.

32 Montagem de um modelo físico do pavilhão *Slice*. Fonte: NOMADS.USP, 2012.

33 Máquina de corte a laser industrial utilizada para a produção do *Slice01* e *Slice02*. Fonte: NOMADS.USP, 2012.

estudado dependem de fórmulas matemáticas processadas por programas computacionais. Assim, o objeto arquitetônico final, em processos de *design* como o do *Slice*, pode ser relacionar referências biológicas e a raiz na matemática para a geração formal, sendo difícil desvencilha-las. Pelo processo de *design* contar com os meios digitais integrados, essa possibilidade da descrição formal em formulas numérica, possibilitar a fácil utilização dessas referencias em diversos exemplos que encontramos, e foi possível experimentar tal relação entre biologia, matemática e *design* paramétrico também no processo de *design* do pavilhão *Slice*.

4.3.5 Materialização

Sobre as tecnologias de fabricação digital, as alterações nas dinâmicas de interação existentes na primeira semana do *workshop* tiveram consequências em relação à materialidade do objeto e às tecnologias de produção digital, que não foram exploradas como esperado. Por exemplo, os estudos e resultados adquiridos sobre a resistência do material escolhido para o objeto arquitetônico, definido pelo subsistema especializado nos modelos físicos, não foram repassados para a configuração

dos *scripts* do modelo digital, definido pelo subsistema responsável pela programação computacional desse modelo, colocando a ele dimensões que não seriam suportadas pelos materiais físicos do objeto arquitetônico. Sendo assim, o modelo físico não resistiu e apresentou deformações. Apesar da questão da dinâmica de interação entre os *designers*, a questão da observação da materialidade pode ser bem entendida nesse momento II do experimento. Os limites de deformação dos materiais podem ser bem estudados a partir de modelos dentro do processo. No caso do experimento, diversos modelos foram construídos possibilitando aos *designers* elaborar uma noção da estrutura do objeto. O nível dos modelos físicos mostrou que as ações de produção devem ocupar maior tempo no desenvolvimento do objeto arquitetônico. Isso diminui as chances de ocorrerem deformações que prejudiquem a materialização do objeto, tanto em relação à construtibilidade, em aspectos como materialidade e dimensão das peças, como nos seus procedimentos de montagem, como aconteceu no experimento.

O desenho do pavilhão *Slice* parte de geometrias complexas, com superfícies de dupla curvatura. O pavilhão final é constituído por um conjunto de 364 peças cortadas

por fabricação digital em chapas galvanizadas, e cada peça possui um desenho diferente, demandando que o posicionamento e encaixe de cada peça em relação às outras seja preciso. A proposição de um projeto com essas características somente é viável graças ao entendimento das tecnologias de produção digital. Além disso, sobre a materialização, no caso do experimento, a questão do meio digital possibilitando essa quantidade de peças foi conjugada com limites colocados à produção. As tecnologias disponíveis na região de São Carlos, durante o desenvolvimento do pavilhão, eram apenas as de corte de chapas metálicas, pois as indústrias locais não realizavam o corte de chapas de madeira com tecnologias digitais. Assim, esse fator limitante fez com que as escolhas de projeto considerassem a disponibilidade de corte de chapas metálicas por tecnologias digitais em paralelo à produção de peças por sistemas analógicos, como corte por serra circular, por exemplo. O entendimento dessa questão direcionou o projeto a integrar chapas cortadas a laser com espaçadores metálicos cortados por serra circular, pois entendemos que as chapas poderiam ter corte digital e apresentarem diferentes desenhos entre si e as barras metálicas, utilizadas como espaçadores entre as chapas,

deveriam possuir poucas variações em suas dimensões, pois a produção analógica não permite a fabricação de peças diferentes entre si de maneira viável. Portanto, no experimento, o entendimento das tecnologias de produção, fossem elas digitais ou não, com suas ações específicas, direcionaram as ações de concepção do objeto.

Especificamente sobre os meios digitais diretamente ligados à fabricação digital usados no experimento, percebeu-se que o domínio sobre as tecnologias das máquinas de produção digital direciona a formação de habilidades nos *designers*. A difusão dessas tecnologias no desenvolvimento do objeto arquitetônico causa alterações às habilidades usuais de concepção do arquiteto. “Os arquitetos desenharam o que podem construir, e constroem o que podem desenhar. Esta reciprocidade entre os meios de representação e de produção não desapareceu totalmente na era digital”. (KOLAREVIC, 2009, p. 32) A reciprocidade entre representação e produção foi ampliada a partir do momento em que é possível representar objetos arquitetônicos mais elaborados e produzir peças mais elaboradas de maneira rápida e precisa através dos meios de produção digital, em processos de produção *file-to-factory* (OOSTERHUIS, 2007).

No experimento dessa pesquisa, a presença da indústria possibilitou ampliar o entendimento das máquinas, não somente a partir da prática de utilização, mas através das informações disponibilizadas pelos *designers* da indústria, Engraver e Dalmak, contribuindo com os sistemas de pesquisadores, arquitetos e alunos. Duas escalas de entendimento das tecnologias foram possíveis: uma, do desenvolvimento de protótipos reduzidos, com dimensões da mesa de trabalho da ordem de centímetros e outra, da produção industrial, com mesa de trabalho ampla, de dimensões da ordem de metros. Por exemplo, as tecnologias de produção digital possibilitaram que formas complexas, como superfícies de dupla curvatura, fossem produzidas e submetidas a testes voltados à física dos materiais, de maneira muito simples, independente dessas formas. As possibilidades de testes foram, no entanto, pouco exploradas no experimento, principalmente no *workshop*, devido a pouca intimidade dos envolvidos com a utilização das máquinas, e o reflexo dessa pouca utilização colaborou com as deficiências estruturais encontrados no primeiro protótipo parcial em escala 1:1. Assim, entendeu-se no experimento que, a partir dessa possibilidade, o trabalho com modelos de diversas escalas e materialidades,

deve ser explorado para que as geometrias não-euclidianas sejam submetidas a testes precisos. A elaboração do desenho do objeto arquitetônico demanda entendimentos, por exemplo, estruturais que se situam além do cálculo plano, com imensa quantidade de variáveis, fazendo com que a proposição do objeto arquitetônico através do estudo de modelos físicos seja interessante e conjugada às simulações computacionais digitais.

Além da utilização de modelos físicos para testes, a presença desses modelos também foi explorada nas interações entre os *designers*. Como já abordado anteriormente, um fator importante para o funcionamento do sistema formado pelos *designers* é a circulação da informação entre eles (MORIN, 2011). A produção de modelos físicos do objeto arquitetônico, sejam eles parciais ou totais, possibilita que essa informação seja transmitida entre os sistemas de maneira precisa. O objeto arquitetônico se materializa e pode ser visualizado pelos *designers*, agregando, assim, qualidade à informação.

No experimento realizado, verificou-se a importância de entender o funcionamento das máquinas, para o processo de *design*, mas que é igualmente importante entender o

funcionamento industrial em si. No *workshop*, a Dalmak possibilitou que *designers* acompanhassem a linha de produção das peças do *Slice01*. Graças a isso, foi possível, no desenvolvimento do *Slice02*, incorporar o entendimento de rotinas industriais ao projeto. No *design* paramétrico e na fabricação digital, a informação do *design* também é a informação da produção (KOLAREVIC, 2009), de maneira que as rotinas da produção interferem no *design*, assim como as decisões de *design* podem solicitar adequações da indústria. As tecnologias da fabricação digital são flexíveis ao ponto que é possível a indústria alterar procedimentos, porém sem prejudicar sua linha de produção já estabelecida. No experimento isso foi verificado ao solicitarmos pequenas alterações do processo de corte, com ajustes da potência do laser, para realizar gravações nas peças dos protótipos. Tal alteração foi negociada pela conversa entre pesquisadores, arquitetos e a Dalmak, e viabilizada na empresa por não alterar sua linha de produção, apenas inserir uma novidade momentânea aos procedimentos dela.

4.3.6 Objeto final

Algo notado no experimento é a questão que as ações de montagem devem ser consideradas mais amplamente dentro do processo de *design* aqui estudado. A elaboração na quantidade de peças pode chegar a um nível que a montagem se torne algo exaustivo para os envolvidos. Essa constatação já existia na leitura de exemplos como o *Dragonfly* e o *[C]space*, e no *Slice* isso é confirmado. No caso do experimento as escolhas nas ações de concepção não consideraram as ações de montagem, tornando-as extremamente longas. No momento II, as ações de montagem do protótipo *Slice01* foram conturbadas, pois não haviam sido estudadas em protótipos menores, mostrando a importância do entendimento dessas ações de montagem mescladas às de concepção. No momento III, as ações de montagem do protótipo *Slice02* são bastante exaustivas, pois a quantidade de peças aumenta significativamente do *Slice01* para o *Slice02*. No primeiro, apesar dos problemas de dimensionamento e instabilidade estrutura na montagem, a quantidade de peças era da ordem de dezenas, pois apenas metade do protótipo foi produzido e a dimensão das peças eram maiores, já no segundo ela salta para centenas, para as 364 peças, todas diferentes entre si..

Durante a montagem do *Slice02*, com suas 364 peças, discutiu-se muito como a escolha, por exemplo, de desenho, de peças, de materiais, deveriam considerar os envolvidos na montagem final do objeto, de maneira a tornar essas ações menos exaustivas. Percebeu-se, por exemplo, que considerar a produção de peças que facilitem a montagem talvez fosse um caminho para viabilizar as ações, ou, ainda, a possibilidade do desenho de ferramentas que otimizem a montagem. Comparando-se essas questões constatadas na montagem do *Slice02* com as leituras de exemplos produzidas no capítulo anterior, percebem-se, talvez, dois caminhos. Um deles consistiria em considerar ações de montagem já estabelecidas na área da arquitetura e deixar essas ações mais abertas a alterações sugeridas pelos envolvidos diretamente na montagem, como é o caso do exemplo do *Mercede-benz Museum*, cuja montagem do objeto final integra a mão-de-obra, possibilitando a discussão entre mão de obra e arquitetos para viabilizar soluções voltadas a construção. O outro caminho é o de fechar as ações de montagem do objeto final a qualquer tipo de interferência, preparando-as através de muitos protótipos anteriores ao objeto final, e da criação de guias de montagem extremamente precisas,

colocando apenas envolvidos nas ações de montagem a capacidade de leitura dessas guias para a efetivação do objeto.

4.4 Alguns pontos importantes

A partir da análise realizada através dessas cinco categorias, parece importante ressaltar algumas questões. Um primeiro aspecto diz respeito ao perfil dos *designers* e seus sistemas dentro da unidade complexa na qual o processo de *design* se desenvolve. Como apresentado, o experimento teve a participação de diversos envolvidos muito diferentes entre si, principalmente considerando os sistemas de arquitetos externos e alunos de graduação. Essas diferenças observadas a partir do filtro das categorias possibilitou entender que dentro de um processo de *design* como esse, *designers* devem apresentar algumas características em comum para que a própria unidade complexa ganhe eficiência para a proposição do objeto arquitetônico. Essas características seriam o domínio de maneiras de trabalhar em rede, a abertura para a negociação entre *designers* e, ainda, a diferença de saberes entre eles.

O pensamento em rede é importante para que os atores trabalhem dentro de uma lógica de raciocínio que entenda que o todo é maior do que a soma das partes. Trata-se também de um pensamento sistêmico para que se consiga visualizar a relação entre as partes, com suas ligações, pois, tanto em relação ao projeto do objeto arquitetônico quanto as interações dentro da unidade complexa, essa visão contribui para que o objeto arquitetônico se desenvolva plenamente, com as ações nas instâncias de concepção, produção e montagem de maneira mesclada, abrindo caminho para o processo de *design* estudado aqui.

Esse pensamento em rede pode ser construído pelos *designers* de duas maneiras: uma, através da prática de utilização de programas computacionais paramétricos e, outra, através do entendimento teórico voltado a estudos de sistemas e complexidade, sendo, talvez, o mais eficiente aquele que mescla as duas vias. A maneira de trabalho proposta por esses programas faz com que, pela prática, o *designer* aprenda que a melhor maneira de se alcançar uma meta em um objeto arquitetônico é abrindo mão da determinação de características arquitetônicas, para pensar a lógica geométrica que embasa a criação de componentes do objeto. A lógica que entende o objeto arquitetônico

como um conjunto de pontos, linhas e superfícies, demanda do *designer* um pensamento não-linear que conjuga esses componentes diversos relacionados. Woodbury (2010) agrega a essa lógica geométrica a capacidade do pensamento logarítmico, que constitui uma habilidade que o *designer* deve desenvolver para propor objetos arquitetônicos a partir de passos precisos e finitos. Por outro lado, para que o *designer* desenvolva a prática do pensamento em rede é importante que ele compreenda a teoria dos sistemas e a complexidade. A ideia de tecer algo de maneira conjunta, colocada pela origem do termo complexidade, ilustra uma relação que se pode extrair da teoria para enriquecer a prática.

Outra característica que apontamos é a abertura dos *designers* à negociação desde o início do processo de *design*. Ao se estabelecer o trabalho entre *designers*, todos deve trazer para as relações interpessoais a possibilidade de fornecer informações que são de seu domínio e ainda receber informações de diversas outras áreas menos afins à sua. Essa característica da negociação parece pressupor que os *designers* devem prezar mais pelas soluções alcançadas de maneira coletiva do que individualmente, e mesmo as alcançadas de maneira individual, devem ser

coletivizadas alimentando toda a unidade complexa. A partir dessa postura, o processo de *design* de um objeto arquitetônico tem um desenvolvimento pleno que, inclusive, descentraliza o peso de decisões de projeto de alguns envolvidos estendendo-o para o todo. No experimento, tivemos exemplos dessa abertura, ou falta dela, de diversos envolvidos, por exemplo, os profissionais da empresa Dalmak, que apresentaram abertura a conversa sobre o funcionamento de suas máquinas e o entendimento do projeto arquitetônico proposto, possibilitando que dentro dos limites das máquinas fossem inseridas modificações em seu funcionamento que viabilizassem a produção do objeto. Por outro lado, tivemos contato com profissionais da área da engenharia, para a consultoria sobre o cálculo estrutural, que devido a um raciocínio linear presente na sua formação, não mostrou essa abertura a entender o objeto arquitetônico e não contribuiu com o seu desenvolvimento, apenas assumindo uma postura de não conhecimento daquela lógica estrutural proposta.

Sobre os *designers*, ressaltaremos ainda a importância, em um processo de *design* como esse, da presença de diversos saberes envolvidos no desenvolvimento do objeto

arquitetônico. Processos de *design* usuais já demandam esse envolvimento de diversos saberes. Nesse, contudo, não basta que o objeto arquitetônico seja alimentado por diversos saberes: é necessário que ele seja desenvolvido em conjunto por pessoas e grupos com conhecimentos de campos disciplinares distintos. Percebeu-se que o alcance desses diversos saberes para o desenvolvimento do objeto arquitetônico não está colocada, necessariamente, na formação de equipes de trabalho multidisciplinares, mas sim na busca de parcerias que tenham as duas características elencadas anteriormente. No experimento, notamos isso pela relação com a empresa Engraver, que, através do técnico, detentor do saber específico do funcionamento da máquina, alimentou indiretamente o desenvolvimento do objeto, mostrando possibilidades de ações de produção usando a tecnologia de corte a laser e indicando materiais a serem cortados e como realizar tais ações. Nos exemplos do capítulo anterior, o aspecto de desenvolvimento do objeto arquitetônico na ‘co-laboração’, fica claro com as diversas empresas, no geral, de consultoria, que trabalham no desenvolvimento dos objetos arquitetônicos. Empresas como AKT (envolvida no [C]space), e Arup Group (envolvida no *Water Cube*), são

exemplos desse trabalho para o desenvolvimento de objetos arquitetônicos que através da troca entre parte, enriquece o próprio objeto, porém isso somente é possível graças à abertura dessas empresas a negociação, à conversação entre os envolvidos.

Desenvolvimento do pavilhão *Slice02*. Fonte: NOMADS.USP, 2012

A black and white photograph showing two men in a workshop or office setting. They are seated at a desk with two laptops. The man in the foreground is looking at a laptop screen that displays a 3D architectural model of a curved, organic structure. The man in the background is also looking at a laptop screen. The scene is dimly lit, with light coming from the left, possibly a window or a desk lamp. The overall atmosphere is one of focused collaboration and design work.

Conclusões

Essa pesquisa se desenvolveu no limiar entre duas esferas. De um lado, conceitos definidos por diversos autores, e que conjugados embasam o pensamento complexo, configurando uma esfera teórica. Do outro, o desenvolvimento de objetos arquitetônicos através de exemplos e de ações e experiências concretas, configurando uma esfera prática. Entendeu-se que na esfera prática, os meios digitais que possibilitam as ações desenvolvidas no processo de *design* tem a mesma origem que a esfera teórica utilizada como arcabouço dessa pesquisa. A cibernética, teoria de sistemas e teoria da informação e comunicação, são tanto raízes para a criação de máquinas digitais construídas pelo homem, como a sustentação da complexidade. Assim, o arcabouço teórico estabelecido no capítulo I, não se trata apenas de uma ferramenta de leitura para ações práticas do processo de *design* específico estudado por essa pesquisa, esse arcabouço é a base dos meios digitais que por sua vez são indispensáveis nos procedimentos desse processo de *design*.

O objetivo dessa pesquisa foi entender o processo de *design*, que se utiliza de procedimentos advindos do *design* paramétrico e da fabricação digital para o desenvolvimento

de objetos arquitetônicos que possuem superfícies complexas, a partir do arcabouço teórico da complexidade e, ao final, estabelecer princípios para o desenvolvimento desse processo de *design*. O entendimento desse processo de *design* não se realizou apenas pelo filtro da complexidade, mas essa esfera teórica tornou-se essencial por fazer parte das bases dos próprios meios digitais intrínsecos a esse processo. Desvencilhar complexidade e meios digitais, nesse processo de *design*, torna-se difícil a partir dos entendimentos obtidos por essa pesquisa. Assim o objetivo de estabelecer princípios para o desenvolvimento desse processo de *design*, não apenas tomará o arcabouço teórico como referência, mas sim toma como facilitadora à possibilidade de aplicação desses princípios.

Ainda que alguns desses princípios sejam válidos para processos de *design* usuais, o processo de *design* específico estudado nessa pesquisa se desenvolve de maneira eficiente a partir deles. Esses princípios têm relação de dependência, porém, não se tratam de passos a serem seguidos para a efetivação do processo de *design*, mas sim de atitudes, em que alguns princípios são essenciais e outros agregam eficiência ao processo de *design*. Somente foi possível estabelecer nessa pesquisa tais princípios, a

partir do pensamento complexo, logo, a aplicação deles ao processo de *design* também depende do entendimento do *designer* sobre o pensamento complexo. Essa aplicação demanda, ainda, mudanças de posturas que estão enraizadas na formação dos *designers* e absorver mudanças de processo são muito mais difíceis do que simplesmente aceitar esses princípios como uma sequência de passos, porém, isso não viabilizará o processo de *design* de maneira plena.

Além do estabelecimento desses princípios, essa pesquisa alcançou entendimentos amplos, que deixam caminhos para o desenvolvimento de outras pesquisas voltadas ao tema, com diversas questões que circundam as estudadas aqui, para serem aprofundadas e desenvolvidas. Apontaremos também algumas dessas questões no intuito de que a divulgação dessa pesquisa estimule outros pesquisadores acadêmicos e, inclusive, profissionais do mercado da arquitetura que vislumbrem ampliar suas áreas de alcance através do processo de *design* estudado aqui.

5.1 Princípios para esse processo de *design*

Como indicado anteriormente, esses princípios consistem em, prioritariamente, condições que devem ser favorecidas para que processo de *design* estudado nessa pesquisa se desenvolva de maneira plena. O intuito não é definir uma carta definitiva que estimula pontos a serem seguidos para o desenvolvimento desse processo, pelo contrário, visa favorecer entendimentos que devem ser agregado ao processo de *design*, dentro das especificidades de cada *designer*, no intuito de facilitar a proposição dos objetos arquitetônicos fruto desse processo.

Esses princípios serão estruturados a partir de quatro questões que foram compreendidas ao longo desse estudo. Os termos utilizados para apresentar essas questões advém diretamente dos conceitos visitados no capítulo I, porém são entendidos principalmente a partir da observação e experimentação da prática no desenvolvimento de objetos arquitetônicos. Essas questões são: Informação, Organização, Emergência, Procedimentos.

5.1.1 Informação

Observar a informação dentro do processo de *design* aqui estudado tem grande relevância pelos procedimentos do *design* paramétrico e da fabricação digital possuírem meios

digitais como a base para as ações de desenvolvimento dos objetos arquitetônicos. Os meios digitais funcionam a partir de informação numérica, e principalmente da troca dela entre componentes e no processo de *design*, ao inserir-se o *designer* trabalhando com esses meios, todas as lógicas da informação entendida em rede é passada para o nível das interações humanas. Assim todos os entendimentos e princípios baseados na informação tem importância, e se diferencia de processos de *design* usuais, pelo enraizamento dos meios digitais no processo aqui estudado.

A informação que circula no processo de *design* em arquitetura, inclusive nos usuais, no geral, tem referência nas representações como, desenhos, modelos digitais e físicos. Nos processos usuais, as representações possuem importância tanto para o desenvolvimento quando para a montagem final dos objetos arquitetônicos. Porém, no processo de *design* estudado nessa pesquisa, as representações, principalmente, os modelos, ganham uma amplitude muito maior no processo, graças à importância delas para o desenvolvimento do objeto. Essa relevância ficou evidente nos exemplos apresentados no capítulo II e na experimentação do capítulo II, em que, o processo de *design* tem dependência de modelos para que as ações de

desenvolvimento nas instâncias de concepção, produção e montagem, possam acontecer de maneira mesclada. Assim, considerando a relação entre a informação e esses modelos, digitais e físicos, do objeto arquitetônico, e ainda a importância desses modelos dentro do processo de *design*, o domínio das informações presente nesses modelos é essencial para o desenvolvimento dos objetos.

Esse domínio significa que os envolvidos no processo de *design*, devem conhecer amplamente as informações do objeto arquitetônico, mesmo fora do recorte de suas especialidades. Como vimos ao longo dos três capítulos, o processo de *design* estudado nessa pesquisa se desenvolve dentro de uma unidade complexa que é constituída de sistemas que devem possuir especificidades, para a eficiência do processo. Essas especificidades correspondem a especialidades no desenvolvimento de algum aspecto do objeto arquitetônico, como, estruturas, vedações, circulações, materialidade, dentro muito outros, que são conhecimentos necessários para o desenvolvimento desses objetos. Assim, a presença de sistemas que dominam diversas especialidades dentro da unidade complexa, possibilita que no processo de *design*, seja alimentado por informações vindas desses sistemas. Essas informações,

que constituem os modelos, devem ser entendidas por todos, independentemente de sua especialidade, pois somente assim a informação vai ser trocada com qualidade dentro do processo de *design*.

Essa qualidade, diz respeito a uma informação que abre a chance para o receptor dela ser propositivo. No processo de *design*, consiste na informação vinda da especialidade de um sistema, poder ser absorvida por outro sistema, e esse ser propositivo a partir do entrelaçamento entre a informação vinda do emitente e a especialidade do receptor. Nesse processo de *design* é necessário que, um sistema, detentor de um saber, não apenas responda a imprevistos que surgem no processo de *design*, devendo também propô-los, ou seja, não apenas fornecer resposta, mas propor perguntas. Essa questão é enraizada na qualidade da informação, entendendo isso como a capacidade de propor perguntas a partir dela, além de obter respostas.

Entendendo a presença e a importância desses vários sistemas com especialidades diferentes, no processo de *design* estudado, os procedimentos do *design* paramétrico e da fabricação digital, possibilitam que modelos possam

alimentar a materialização do objeto arquitetônico. As informações da concepção são as informações da produção, nos referindo ao processo *file-to-factory*, e o modelo, portador dessas informações, devem ser alimentado por diversas especialidades presentes nos sistemas que formam a unidade complexa.

É necessário que os sistemas conversem entre si, possibilitando a construção de modelos que tenham informações entrelaçadas formando o objeto arquitetônico. Essa conversa entre os sistemas deve ser de duas vias, em que cada sistema deve fornecer as informações com qualidade, que devem ser compreendidas pelos demais e essa compreensão deve ser verificada por aquele que forneceu a informação. A partir da troca e da verificação constante é que se estabelece a conversa e é a partir da conversação que os modelos do objeto arquitetônico podem ser alimentados. No caso do *design* paramétrico essa situação é potencializada e pertinente devido aos meios digitais concentrarem a informação em um único modelo digital. A conversação é essencial, pois a negociação para a inserção de informações originadas nas especialidades é síncrona entre todos os envolvidos.

Uma última questão sobre a informação é a sua circulação dentro da unidade complexa na qual o processo de *design* se desenvolve. Ela deve ser garantida, inclusive, de diferentes maneiras, caso seja necessário, mas sempre através de um sistema que induza que os outros sistemas realizem a troca da informação. Aquilo que chamamos de controlador (PASK, 1961) dentro da unidade complexa, um sistema responsável por garantir que a informação circule, sustentando que todas as características anteriores sejam possíveis. Esse controlador deve estimular as interações, porém garantindo autonomia aos sistemas envolvidos na unidade complexa, pois as trocas estabelecidas de maneira imposta acabam por configurar hierarquias e impossibilitar propriedades importantes, como a possibilidade de criar situações novas baseados em outra maneira de se realizar as interações, afetando a organização e a possibilidade de situações emergentes, como será apontado a seguir.

5.1.2 Organização

Tratamos a organização dentro do processo de *design* estudado, como as ações para o desenvolvimento do objeto arquitetônico nas instâncias de concepção, produção e montagem. Essas ações devem ser acordadas previamente

por todos os envolvidos, sendo no processo de *design* estudado, as ações, principalmente, decorrentes dos procedimentos do *design* paramétrico e da fabricação digital. Como colocado por Morin (1998), a organização consiste nas ações, procedimentos, características que orientam as interações entre os sistemas dentro de uma unidade complexa. Sendo assim, essas ações para o desenvolvimento do objeto orientam as interações entre todos os envolvidos no processo *design*, estando diretamente relacionado com a troca da informação dentro da unidade complexa.

O acordo dessas ações, nesse processo de *design*, pressupõe dos envolvidos entender o processo de maneira *bottom up*. Como já apontado essas ações tem base em procedimentos do *design* paramétrico e fabricação digital, que dependem diretamente de meios digitais, isso coloca aos *designers*, que fazem parte dos sistemas presentes na unidade complexa, a postura de um pensamento em rede, que entende as partes interligadas. Isso se aplica às interações entre os envolvidos, que devem se realizar de maneira a construir o projeto do objeto arquitetônico, a partir das interligações de componentes e não pela

determinação de um desenho final, sucessivamente detalhado posteriormente.

No processo de *design* é necessário conhecer as ações acordadas, pois, entendeu-se que para o estabelecimento da organização em um sistema, ela deve ser entendida e absorvida por todos os envolvidos, assim, por no processo de *design* a organização se tratar de ações acordadas, o conhecimento delas é indispensável. No *design* paramétrico e na fabricação digital, os *designers* devem conhecer procedimentos que advém da tecnologia tanto dos programas computacionais quanto das máquinas, pois, somente assim as ações nas instâncias de concepção, produção e montagem, podem ser entendidas como a organização da unidade complexa na qual o processo se desenvolve.

Nas interações existentes entre os sistemas que compõe a unidade complexa, não deve existir níveis hierárquicos, pois isso acaba por impossibilitar o desenvolvimento de um processo *botton up* e o abole a equipotência nas proposições desses sistemas. No processo de *design* estudado, é importante que todos os envolvidos, a partir do domínio das ações de desenvolvimento, possam propor

questões ao objeto arquitetônico com o mesmo peso. Isso está relacionando às trocas de informações entre sistemas e à conversação entre as parte e somente a partir da equipotência das propostas é que isso pode ser efetivado plenamente no processo.

Essa equipotência das proposições surge exatamente por, no processo de *design*, os sistemas que formam a unidade complexa terem especializações, que são essenciais no desenvolvimento de um objeto arquitetônico. Cada um desses sistemas deve assumir uma função na qual é mais eficiente, como, desenvolvimento estrutural, plástico, da vedação, etc., e essa condição deve ser estimulada, pois entendeu-se que a partir dessas especializações é que os sistemas se diferenciam ganhando eficiência no desenvolvimento do objeto arquitetônico. Esse cenário criado, que conta com a organização existente na unidade complexa, com o acordo das ações pelos sistemas, as especialidades assumidas por eles e a informação que é estimulada a circular dentro da unidade, a partir de um *input* externo, como alterações no ambiente no qual o processo de *design* se desenvolve, ou ainda, uma alteração a um envolvido na unidade, pode ocorrer auto-organização da unidade, que consiste em uma nova maneira desses

sistemas interagirem, ainda baseado em regras, porém alteradas quando comparado ao momento anterior ao *input*.

5.1.3 Emergência

A partir da possibilidade da auto-organização dos sistemas dentro da unidade complexa, entendeu-se que esse novo comportamento em relação às interações com as trocas de informação, estimula o surgimento de novidades entre os sistemas que podem ser integradas ao todo da unidade complexa. Essas situações emergentes devem ser estimuladas no intuito de agregar, inclusive, qualidade ao objeto arquitetônico em aspectos como, inovação técnica, propriedades materiais diferenciadas, funcionalidades distintas do usual, etc.. Como já mencionado, essa situações emergentes surgem a partir da auto-organização que surge de um *input* externo a unidade complexa. Esse *input* pode ser estabelecido por imprevistos, por exemplo, ocorrido em qualquer uma das instâncias de concepção, produção e montagem.

Em processos usuais, os imprevistos tendem a serem considerados como algo que prejudica o desenvolvimento do objeto arquitetônico, como, problemas com

fornecedores, condições climáticas inesperadas, saída inesperada de um sistema da unidade complexa, impossibilidade de máquina de produção. Porém, nesse processo de *design* estudado, entendeu-se que esses imprevistos podem gerar situações emergentes que podem vir a agregar novidade ao processo e, inclusive, ao objeto com soluções que não seriam imaginadas anteriormente ao *input* à unidade complexa. Muito dessa postura é colocada pelas possibilidades do *design* paramétrico de inserir alterações ao objeto arquitetônico de maneira automatizada, a partir da alteração de algum valor paramétrico do modelo digital do objeto, e ainda as possibilidades da fabricação digital de produzir essas alterações de maneira igualmente, ou em alguns casos mais, eficiente.

Entendeu-se que quanto mais rico o ambiente de inserção da unidade complexa, no aspecto de possibilidades de *input*, maior as chances de nas relações internas à unidade complexa existir situações emergentes. Por isso no processo de *design* estudado, a importância dos meios digitais diversos utilizados, que agregam uma esfera digital, por exemplo, através de redes sociais, podem influenciar a unidade com *inputs* dos mais diversos.

Porém, no processo de *design* estudado, apesar da necessidade ao estímulo dessas situações, elas também devem ser controladas a partir das características próprias ao objeto arquitetônico, sendo alguns mais abertos a essas situações em todas as instâncias e outro menos. Objetos arquitetônicos desenvolvidos a partir de procedimentos do *design* paramétrico e composto, tecnicamente, por componentes exclusivamente produzidos por fabricação digital, tendem a ter menor abertura a situações emergentes nas ações que antecedem a montagem do objeto final, ponto visto nos exemplos de pavilhões como, *[C]space* e *Dragonfly*. Já objetos arquitetônicos desenvolvidos através de procedimento do *design* paramétrico, porém que contam com procedimentos de produção e montagem que mesclam técnicas usuais como as advindas da fabricação digital, tendem a ter maior abertura a situações emergentes, especialmente, nas ações de produção e montagem final do objeto, como nos casos dos edifícios *Mercedes-benz Museum* e *Water Cube*.

Não significa, ainda, que as situações emergentes são mais recorrentes em edifícios do que em pavilhões, mas sim que a quantidade de envolvidos e a qualidades ambientais presentes processo de *design* de um grupo de objetos

arquitetônicos é maior que em outros, e esse fator favorece ou limita o surgimento dessas situações. Caso ocorra o surgimento de uma propriedade ou qualidade nova que seja inserida na dinâmica da unidade complexa, ou no próprio objeto arquitetônico, a postura dos envolvidos na unidade complexa deve ser de aceitação a essa novidade, pois somente assim ela se estabelecerá plenamente e alterará a unidade. Essa postura de abertura ao imprevisto que venha a gerar novidades deve ser colocada a todos os envolvidos no processo de *design*, inclusive, setores usualmente mais rígidos, como empresas ou indústria. Esse aspecto corrobora a necessidade de abertura dos envolvidos no processo de *design* a troca da informação.

5.1.4 Procedimentos

No processo de *design* estudado, as ações acordadas entre os sistemas dentro da unidade complexa provêm, no geral, de procedimentos do *design* paramétrico e da fabricação digital. Alguns desses procedimentos são mais ou menos importantes dentro do processo de *design*, assim, os mais importantes, quando garantidos tornam o processo mais eficiente. Os objetos resultantes desse processo de *design* possuem superfícies complexas e essas têm qualidades

físicas materiais e estruturais, que possuem cálculos elaborados, com métodos diferentes do cálculo de estruturas usuais, assim, procedimentos de produção e montagem de modelos físicos diversos são importantes para validar essa novidade.

Entendeu-se que os modelos físicos devem ser explorados amplamente, para verificação, análises de comportamento, observação, testes de materiais, etc., todas as questões que a análise digital possa deixar lacunas ou dúvidas devido ao caráter de novidade que tais procedimentos têm dentro do campo da arquitetura. Porém, além da fabricação de modelos físicos, os modelos digitais também são importantes, inclusive, para a análise através de programas específicos voltados a, por exemplo, comportamento estrutura, térmico, material, etc.. Percebeu-se que as possibilidades colocadas pelos meios digitais, ampliam as questões de *design* colocadas ao objeto arquitetônico, porém, ampliam também a necessidade de fases, no processo, que verifiquem todas as questões novas, garantindo que o objeto arquitetônico tenha qualidades funcionais e materiais.

5.2 Perspectivas de pesquisa

Apesar do foco muito preciso no estudo de um processo de *design* da área da arquitetura, essa pesquisa buscou entendimentos maiores que podem ser aplicados a diferentes campos do conhecimento. Por tratar-se de entendimentos voltados a processo, desconsiderando características específicas do *design*, e ainda, pelo vínculo com a complexidade que coloca a noção de um pensamento que também pode ser aplicado a diversas áreas, essa pesquisa criou insumos que podem ser aplicados a diferentes assuntos.

Um dos insumos que podem ser desenvolvidos em diversas áreas são os entendimentos sobre a troca da informação entre diferentes atores dentro de sistemas, os aspectos de organização cibernética que orientam as interações dentro de sistemas ou a própria emergência, como questão que pode agregar novidade ao desenvolvimento de diversos assuntos. Porém, é na área de desenvolvimento de objetos arquitetônicos que essa pesquisa mais consegue ser importante, acrescentado material para a discussão.

Na área do desenvolvimento de objetos arquitetônicos, que abrange, principalmente, arquitetura e engenharias, assim

como o próprio escopo da pesquisa, que trabalho nas esferas da teoria e da prática, as questões estudadas aqui podem alimentar tanto pesquisa acadêmicas teóricas quanto explorações práticas, inclusive de mercado. Na pesquisa teórica, estudos voltados a outros processos de *design*, com outras características, ou ainda estudos específicos sobre a utilização somente do *design* paramétrico ou da fabricação digital, são possibilidades de caminhos a serem trilhados. Na prática profissional, arquitetos, engenheiro ou profissionais afins, podem a partir das questões estudadas aqui, como os entendimentos sobre a relação entre limites e possibilidades do *design* paramétrico e da fabricação digital, presentes no processo de *design*, buscar maneiras de modificar seus próprios processos internos a escritórios, estúdios e etc..

Nessas perspectivas apontamos possibilidades de estudos em esferas teóricas ou práticas, porém é observado que o maior ganho para a explorações derivadas dessa pesquisa, estão no entrelaçamento dessas duas esferas, que podem gerar pesquisas, tanto na academia quando no mercado, que entendam questões e às apliquem a diversos nichos da arquitetura, como instalações temporárias, abrigos, pavilhões, edifícios e, inclusive, fragmentos urbanos.

Por fim, como uma última consideração cabe voltarmos a Morin(2005), que indica que o nosso pensamento usual apresenta enormes carências, e diz que um pensamento mutilador conduz necessariamente a ações mutiladoras. “A patologia moderna da mente está na hipersimplificação que não deixa ver a complexidade do real” (MORIN, 2011, p. 15). Assim, o pensamento complexo surge como uma possibilidade para entender as lógicas das coisas que não podem ser explicada pelo raciocínio linear, no qual o vago ou o insuficiente não pode existir plenamente. Lógica essa que é muito mais presente nas coisas que nos cercam do que inicialmente venhamos a imaginar. Essa pesquisa abre caminhos para que esse pensamento possa se perpetuar, inicialmente no processo de *design*, mas se ampliando para processos de outras áreas. Talvez esse seja um dos frutos mais imediatos que possa se perpetuar, pois, compreendeu-se que as mudanças de processo, apesar de mais difíceis de serem realizadas, tendem a se manter.

Montagem do pavilhão *Slice02*. Fonte: NOMADS.USP, 2012

Referências

ALMEIDA, C. R. **Entre e Através**: Complexidade e Processos de *design* em Arquitetura. Dissertação de Mestrado. São Carlos: EESC-USP, 2006.

ASHBY, W. R. **An Introduction to Cybernetics**. Chapman & Hall, London, 1956. Internet (1999). Link <<http://pcp.vub.ac.be/books/IntroCub.pdf>>. Acesso em: 01/08/2013.

BERTALANFFY, L.V. **Teoria geral dos sistemas**. Tradução de Francisco M. Guimarães. Petrópolis: Vozes, 1977.

BURRY, J., BURRY, M. **The new mathematics of architecture**. Thames & Hudson, New York, 2012.

BURKE, A.; TIERNEY, T., (Ed.) **Network Practices**: New strategies in architecture and *design*. New York: Princeton Architecture Press, 2007.

CELANI, G. **CAD criativo**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2003.

CHATURVEDI, S. COLMENARES, E. and MUNDIM, T. S., 2011. Knitectorics, **V!RUS**, [online] n. 6. Disponível em: <<http://www.nomads.usp.br/virus/virus06/?sec=4&item=2&lang=en>> [Acessado 10 de Dezembro de 2011].

CUFF, D. **Architecture**: The story of practice. Cambridge: The MIT Press, 1991.

CRUZ, A., KNOPMAN, J. **Apostila Disciplina Projeto e Desenvolvimento de Algoritmos**. 2001. Disponível em: <<http://equipe.nce.ufrj.br/adriano/algoritmos/apostila/algoritmos.htm>> [Acessado em: 15/06/2011].

DUNN, N., **Digital Fabrication in architecture**. London: Laurence King Publishing Ltd, 2012.

EMMITT, S. **Design Management for Architects**. Oxford: Blackwell Publishing, 2007.

EMMITT, S.; PRINS, M.; OTTER, A.. (Org.). **Architectural Management**: international research & practice. Oxford: Wiley-Blackwell, 2008.

FLUSSER, V. **O mundo codificado**: por uma filosofia do *design* e da comunicação. Rafael Cardoso (org). Tradução: Raquel Abi-Sâmara. São Paulo: Cosac Naify, 2007.

FRANÇOIS, Ch., **Systemics and Cybernetics in a Historical Perspective**, Systems Research and Behavioral Science, Syst Res. 16, 1999. p.203-219.

HENSEL, M. **Emergent Technologies and design**: towards a biological paradigm for architecture. New York: Routledge, 2010

HOLLAND, J. **Emergence**: From Chaos to Order. New York: Basic Book, 1998.

KIRSCHNER, M., Variations in Evolutionary Biology. In SPUIBROEK, L. (Ed.), Research & *design*: The architecture of variation. New York: Thames & Hudson, 2009, p. 26-33.

KOLAREVIC, B., MALKAWI, A. (Ed.), **Performative Architecture**: Beyond Instrumentality. New York: Span Press, 2005.

KOLAREVIC, B. **Architecture in the digital age**: *design* and manufacturing. New York: Taylor & Francis, 2009.

KOLAREVIC, B. **Designing and Manufacturing Architecture in the Digital Age**. University of Pennsylvania. 2012. In: http://vhpark.hyperbody.nl/images/0/01/Designing_and_Manufacturing_Architecture_in_the_Digital_Age.pdf. Acesso em: 20/09/2013.

LEE, F.; DE BEAURECUEIL, A. Museu Mercedes-Benz e o modelo de arquitetura paramétrica . UNStudio . Stuttgart, Alemanha . 2002/2006. In: **Revista AU**, Edição 181, Editora PINI, Abril/2009. Disponível em: <http://au.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/181/un-studio-ben-van-berkel-tobias-wallisser-e-caroline-131089-1.aspx> Acessado em: 25/09/2013.

LOPES, R. S.; SANTOS, V. A. **Economia, cultura e criatividade**: tensões e contradições. 2011. Disponível em: <http://www.cartamaior.com.br/templates/materiaMostrar.cfm?materia_id=17484> Acesso em: 19/03/2011.

MARBLE, S. (Ed.). **Digital Workflows in Architecture: Design – Assembly – Industry**. Basel: Birkhauser, 2012.

MORIN, E. **O método 1**: a natureza da natureza. Tradução de Ilana Heineberg. Porto Alegre: Sulina, 2005.

MORIN, E. **Introdução ao pensamento complexo**. Tradução Eliane Lisboa. 4.ed. Porto Alegre. Sulina, 2011. (copyright, 1990)

MONEO, R. **Inquietações teóricas e estratégia projetual**: na produção de oito arquitetos contemporâneos. Tradução: Flávio Coddou. São Paulo: Cosac Naify, 2008.

NOJIMOTO, C. **Design para experiência**: Processos e sistemas digitais. Dissertação de Mestrado. São Carlos: EESC-USP, 2009.

OOSTERHUIS, K.; XIA, X.. **IA #1** (Interactive Architecture). Rotterdam: Episode-Publishers, 2007.

PASK, G. **An approach to cybernetics**. London: Hutchinson & Co. (Publishers) Ltd, 1961

PANGARO, P. Instructions For *Design* and *Design* Conversation. In: LUPPICINI, Rocci (ed.) **Handbook of Conversation Design for Instructional Applications**, Canada: University of Ottawa, 2008. p.35-48.

- PINON, H. **Representação Gráfica do edifício e construção visual da arquitetura**. in VITRUVIUS, 2009. Disponível em <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/09.104/81/pt>>. Acesso em: 15/10/2012.
- RAHIM, A., Uniformity and Variability in Architectural Practice. In SPUYBROEK, L. (Ed.), **Research & design**: The architecture of variation. New York: Thames & Hudson, 2009. p. 41-47.
- RESNICK, M. **Turtles, Termites, and Traffic Jams**: Explorations in Massively Parallel Microworlds. Cambridge: The MIT Press, 1997.
- REIS, A. C. F. **Cidades criativas, turismo cultural e regeneração urbana**. 2009. Disponível em <<http://www.gestaocultural.org.br/pdf/Ana-Carla-Fonseca-Cidades-Criativas.pdf>>. Acesso em: 15/07/2011.
- SAKAMOTO, T., FERRÉ, A. (Ed.) **From Control to Design: Parametric/Algorithmic Architecture**. Actar Birkhauser Distribution, New York, 2008.
- SCOTT, B., **Second order cybernetics**: an historical introduction, Kybernetes, 33, 9/10/2004, pp. 1365-1378.
- SPUYBROEK, L. (Ed.), **Research & design**: The architecture of variation. New York: Thames & Hudson, 2009.
- SPUYBROEK, L., **The architecture of continuity**. Rotterdam: V2_Publishing, 2008.
- SPUYBROEK, L. , The Structure of Vagueness. In . KOLAREVIC B., MALKAWI, A. (Ed.), **Performative Architecture**: Beyond Instrumentality, New York: Span Press, 2005. p. 162-176.
- SHANNON, C. E. Recent Developments in Communication theory. In: **Claude Elwood Shannon**: collected Papers. New York: IEEE Press, 1993. p. 190-193.

SHANNON, C. E. **A mathematical theory of communication**. Reprinted with corrections from The Bell System Technical Journal. vol. 27. p. 379-423, 623-656, jul. out. 1948.

TERZIDIS, K. **Algorithmic Architecture**. Oxford: Elsevier, 2006.

WISCOMBE, T. **Emergent Processes**. 2005a. Disponível em: <<http://www.emergentarchitecture.com/>> [Acessado em: 20 de agosto de 2011].

WISCOMBE, T. **Emergent Models of Architectural Practice**. 2005b. Disponível em: <<http://www.emergentarchitecture.com/>> [Acessado em: 20 de agosto de 2011].

WISCOMBE, T. Interview by Hernan Diaz Alonso. In: **SCI-Arc Magazine**, October 2011. Disponível em <http://www.tomwiscombe.com/writings/pdf/SCI_Arc_TomWiscombe.pdf>. Acesso em: 21/05/2012.

WISCOMBE, T. Interview by Ralf Broekman and Olaf Winkler. In: **BUILD Magazine**, March, 2012. Disponível em: <http://www.tomwiscombe.com/writings/pdf/Build_Text_Dec_2011.pdf>. Acesso em: 21/05/2012

WIENER, N. **Cibernética e sociedade**: o uso humano dos seres humanos. Tradução de José Paulo Paes. São Paulo: Editora cultrix, 1954. (copyright, 1950, 1954)

WIENER, N. **Cibernética**; ou controle e comunicação no animal e na máquina. Tradução de Gita K. Ghinzberg. São Paulo: Polígono e Universidade de São Paulo, 1970. (copyright, 1948)

WOODBURY, R. **Elements of Parametric design**. United States of America: Routledge, 2010.

VON FOERSTER, H., et al (eds.). **Cybernetics of Cybernetics**, BCL Report 73.38, Biological Computer Laboratory, Dept. of Electrical Engineering, University of Illinois, Urbana, 1974.