

Escola de Arquitetura
Universidade Federal de Minas Gerais

Estevam Quintino Gomes Júnior

AUTOMAÇÃO TRANSVERSAL

*Discussão sobre o uso de novas tecnologias para viabilizar a
produção auto-regulada da arquitetura*

Belo Horizonte
2018

Escola de Arquitetura
Universidade Federal de Minas Gerais

Estevam Quintino Gomes Júnior

AUTOMAÇÃO TRANSVERSAL

*Discussão sobre o uso de novas tecnologias para viabilizar a
produção auto-regulada da arquitetura*

Dissertação apresentada ao Núcleo de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Área de concentração: Teoria, produção e experiência do espaço.

Orientador: Prof. Dr. José dos Santos Cabral Filho

Belo Horizonte

2018

FICHA CATALOGRÁFICA

G633a Gomes Júnior, Estevam Quintino.
Automação transversal [manuscrito] : discussão sobre o uso de novas
tecnologias para viabilizar a produção auto-regulada da arquitetura /
Estevam Quintino Gomes Júnior. - 2018.
85f. : il.

Orientador: José dos Santos Cabral Filho.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais,
Escola de Arquitetura.

1. Automação - Teses. 2. Interação social – Arquitetura - Teses. 3.
Arquitetura e tecnologia - Teses. 4. Participação – Arquitetura - Teses. I.
Cabral Filho, José dos Santos. II. Universidade Federal de Minas Gerais.
Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 720.105

Dissertação defendida junto ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo - NPGAU
– da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, e aprovada em 25 de
setembro de 2018 pela Comissão Examinadora:

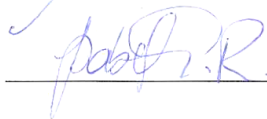
Prof. Dr. José dos Santos Cabral Filho (Orientador-EA/UFMG)



Prof. Dr. Sandro Canavezzi de Abreu (EA/UFMG)



Profª. Dra. Isabel Amália Medero Rocha (UFPB)



LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1	Manifestação espacial da desigualdade em São Paulo.	21
FIGURA 2	Manifestação espacial da desigualdade em Belo Horizonte.	21
FIGURA 3	Esquema que resume os modos de produção do espaço.	35
FIGURA 4	Diagrama de interação entre algumas variáveis da arquitetura.	37
FIGURA 5	Lebbeus Woods, 1991. Zagreb Free-Zone.	54
FIGURA 6	Graus de não-participação humana ou graus de automação.	56
FIGURA 7	Anatomia de uma máquina automática.	62
FIGURA 8	Captura de tela do simulador desenvolvido com base no homeostato do Ashby.	67
FIGURA 9	Captura de tela do menu do simulador de homeostato.	68
FIGURA 10	Captura de tela de uma unidade do simulador de homeostato.	69
FIGURA 11	Formas de classificação dos modelos.	84
FIGURA 12	Projeto Pérgola Tamboril.	92
FIGURA 13	Captura de tela do simulador de cem lâmpadas interligadas.	97
FIGURA 14	Teclado da Flatwriter.	100
FIGURA 15	Formulário para coletar informações sobre as atividades que seriam realizadas no Fun Palace.	102
FIGURA 16	Tradução do formulário do Fun Palace.	103
FIGURA 17	Walter Segal Model, 1985.	106
FIGURA 18	Construtor Universal, 1990.	107
FIGURA 19	Exemplos de uso da fabricação digital para produção de peças não seriadas.	111
FIGURA 20	Minibuilders.	113
FIGURA 21	Foto de um experimento com dois robôs cooperando para reorientar um sofá.	117
FIGURA 22	Vista conceitual dos robôs se organizando para formar uma mesa	117
FIGURA 23	Frames extraídos do vídeo explicativo do Ori Systems.	117
FIGURA 24	Foto de um experimento com os robôs cooperando para mover uma mesa.	117
FIGURA 25	Corte esquemático do Fun Palace mostrando a estrutura fixa e um exemplo de como os diferentes elementos programáticos poderiam ser instalados.	124
FIGURA 26	Jogo telepresencial Di-Dah-Dit.	140
FIGURA 27	Esquema de funcionamento do Long Distance Voodoo.	141

FIGURA 28	Esquema de comunicação e hardware necessário para conexão.	144
FIGURA 29	Esquema das possibilidades de mediação pelo servidor.	146
FIGURA 30	Primeiros esboços do Trambolho.	148
FIGURA 31	Vista da estrutura da interface sem sensores e atuadores acoplados.	151
FIGURA 32	Captura de tela do software para troca de dados entre espaços remotos.	152
FIGURA 33	Esquema de movimentação do robô e interação dos participantes.	153
FIGURA 34	Alguns dos modelos das pernas do Trambolho feitos com Lego.	155
FIGURA 35	Protótipos em escala real das conexões do Trambolho.	157
FIGURA 36	Protótipos em escala real das pernas do Trambolho.	158

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Qualidade de ajuste da arquitetura	18
1.2	Desigualdade social	20
1.3	Adaptabilidade da arquitetura nas grandes cidades	23
1.4	Automação na arquitetura	25
1.5	Estrutura do trabalho	27
2	DESIGUALDADE E QUALIDADE DE AJUSTE DA ARQUITETURA	31
2.1	A causa da inadequação da arquitetura ao contexto	31
2.1.1	<i>Modo personalizado</i>	36
2.1.2	<i>Modo mercantil</i>	39
2.1.3	<i>Autoconstrução</i>	41
2.1.4	<i>Além da moradia</i>	44
2.2	Contribuição da arquitetura para a reprodução da desigualdade	44
2.2.1	<i>Controle do processo de produção</i>	45
2.2.2	<i>Controle do usuário</i>	47
2.3	Considerações finais	53
3	MÁQUINAS AUTOMÁTICAS	57
3.1	Graus de automação	57
3.2	Anatomia de uma máquina automática	62
3.3	Homeostato	64
3.4	Simulador do homeostato	67
3.5	Consequências da automação	73

4	AUTOMAÇÃO DA ARQUITETURA	79
4.1	Levantamento de dados	80
4.2	Elaboração de modelos	83
4.2.1	<i>Modelo analógico e modelo digital</i>	85
4.2.2	<i>CAD e BIM</i>	87
4.3	Simulações	89
4.4	Modelagem paramétrica	90
4.4.1	<i>Algoritmo evolutivo</i>	94
4.4.2	<i>Arquitetura participativa</i>	99
4.5	Interfaces para interagir com o modelo	104
4.6	Fabricação digital	108
4.7	Automação residencial	116
4.7.1	<i>Reconfigurable House</i>	121
4.8	Automação transversal	123
4.8.1	<i>Fun Palace</i>	123
4.8.2	<i>Generator</i>	129
4.8.3	<i>Considerações finais</i>	131
5	TRAMBOLHO	133
5.1	Investigação inicial	134
5.2	Encontro e interação no ciberespaço	136
5.3	O espaço híbrido como alternativa	138
5.4	Interface para conexão remota de sensores e atuadores	142
5.5	Suporte físico e possibilidades de interação	149
5.6	Automação no Trambolho	154
6	CONCLUSÃO	159
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	164

RESUMO

O presente trabalho procura refletir sobre a automação de processos relacionados à produção espacial e ao seu efeito sobre a adaptabilidade da arquitetura. A adaptabilidade é uma propriedade da relação entre habitante e arquitetura que descreve a dificuldade de se transformar um espaço para adequá-lo às necessidades do morador. Quanto menor a adaptabilidade da arquitetura, maior a resistência do espaço à transformação. O conceito está relacionado tanto aos sistemas construtivos e materiais usados, como às capacidades física e intelectual do habitante de transformá-lo.

Uma baixa adaptabilidade dificulta que o processo de produção da arquitetura seja autorregulado, ou seja, que atue para corrigir os desvios (desajustes) causados por perturbações (mudanças no contexto ou nos desejos da pessoa) para manter-se dentro da meta (boa qualidade de ajuste). Qualidade de ajuste é uma forma de avaliar a relação entre o edifício e o contexto. Quanto mais desajustes na conexão entre as demandas do habitante e a arquitetura (por exemplo, instabilidade, goteira, pouca luz, muito calor, falta de privacidade), menor a qualidade de ajuste. Quando a adaptabilidade é alta, as pessoas corrigem os problemas do espaço assim que eles aparecem, como trocar uma lâmpada queimada, e o espaço permanece sempre bem ajustado. Já se a adaptabilidade é baixa, os desajustes se acumulam até que seja inevitável transformar o espaço.

A baixa qualidade das construções nas grandes cidades está relacionada à baixa adaptabilidade, resultado da fragmentação do processo de produção, da dificuldade de acesso aos materiais de construção e da velocidade de mudança do contexto. A fragmentação, ou seja, a divisão do trabalho manual e intelectual, deve-se à necessidade dos empresários de desarticularem politicamente os trabalhadores do canteiro de obras para diminuir os salários e aumentarem os lucros. Para tanto, foi preciso concentrar as decisões nas mãos dos arquitetos que, por sua vez, são controlados pelo mercado e pelos investidores. Os arquitetos, conscientes ou não, muitas vezes produzem espaços que estimulam a segregação entre pessoas de diferentes classes sociais e também contribuem para manutenção da desigualdade.

Por meio dessas observações, busca-se entender como a automação pode transformar o processo de reprodução da desigualdade através do espaço. Procura-se argumentar, com base na revisão da literatura sobre o tema e em exemplos da prática arquitetônica, que a automação pode tanto intensificar como minimizar a reprodução da desigualdade social e a redução da qualidade de ajuste. Por fim, é

apresentado o protótipo de interface construído pelo autor com vistas a sintetizar algumas das ideias discutidas nesta dissertação.

O resultado mostra que, se a automação for usada para dar mais controle ao usuário do espaço, mudando o processo de produção e diluindo a tomada de decisões, é possível que a adaptabilidade aumente e, conseqüentemente, melhore a qualidade de ajuste e mitigue os processos de reprodução da desigualdade. No entanto, como o desenvolvimento tecnológico está subordinado a forças econômicas e políticas, as formas de automação mais disseminadas reforçam as divisões existentes e não alteram o processo de produção. Conclui-se que é necessário continuar investigando as tecnologias computacionais e pautar o desenvolvimento de novas tecnologias para que sejam aplicadas de forma a garantir um maior envolvimento dos usuários na produção do espaço.

Palavras-chave: automação, arquitetura interativa, fabricação digital, arquitetura participativa, arquitetura adaptativa

ABSTRACT

This thesis is about how the automation of spatial production relates to the adaptability of architecture. Adaptability is a property of the relationship between inhabitant and architecture and describes the effort required to fit the space to the user's needs. The lower the adaptability of the architecture, the greater the resistance of the space to modification. The concept is related to the construction system and materials used, as well as to the resident's physical and intellectual skills needed to transform it.

A low adaptability increases the effort for creating a self-regulated production of space which can be described as acting to correct the deviations caused by disturbances (changes in the context or in the inhabitants' desires) to stay within the goal (good fit). Goodness of fit is a way of rating the relationship between building and context. The more misfits between the demands of the inhabitant and the architecture (for example, instability, gutter, too little light, too much heat, lack of privacy), the lower the quality of adjustment. When adaptability is high, people change the space as soon as the deviations appear, such as replacing a burned-out light bulb, maintaining the space always well-adjusted. If the adaptability is low, the misfits accumulate until it is inevitable to transform the space.

The generalized poor quality of the buildings in the big cities is partially caused by to the low adaptability which in turn is the result of: the division of labor on the process of production; the difficult accessibility of building materials; and the speed of change of the context. The division of manual and intellectual labor is due to entrepreneurs' need to politically dismantle workers at the construction site to reduce wages and increase profits. In order to do so, decisions had to be centralized in the hands of the architects, who in turn are controlled by the market and the investors. Architects, usually unconsciously, design spaces that increase segregation between people of different social classes and also contribute to the maintenance of inequality.

From these observations we try to understand how the automation of architecture affects the process that reproduces inequality. Based on a review of researches and in examples of the architectural practice, we found that automation of architecture can increase or decrease the reproduction of social inequality and the quality of adjustment depending on how it is done. Furthermore is presented an interface prototyped by the author that synthesize some of the ideas discussed in this thesis.

The results shows that if automation is used to give more control to the user it

could be able to increase the adaptability, consequently improving the goodness of fit and reducing the inequality. However, as technological development is subjected to economic and political forces, the more widespread forms of automation reinforce existing divisions and do not change the process of production. The conclusion shows the necessity to continue the investigation of the computational technologies and to promote the development of new ones that increase users participation in the production of the space.

Keywords: automation, interactive architecture, digital fabrication, participatory architecture, adaptive architecture

1 INTRODUÇÃO

Esta dissertação apresenta e discute alguns dos desdobramentos da automação da arquitetura e dos seus processos de produção. Para tanto, automação é entendida como a redução da assistência humana necessária para o funcionamento de uma tecnologia (BENNATON, 1986). Em outras palavras, quanto maior o grau de automação de uma tecnologia, menor a participação humana em seu desempenho. Embora a automação esteja frequentemente associada a ferramentas computacionais e tecnologias eletrônicas, essa não é a única ligação possível. Os moinhos de vento e de água, por exemplo, podem ser considerados dispositivos automáticos se comparados a moer grãos em um pilão, pois reduzem a participação humana, principalmente de sua força física.

No entanto, há uma grande diferença entre a automação proporcionada pelo moinho, que substitui a força motriz humana, e a automação oferecida pelos computadores, que substitui a capacidade intelectual humana na realização de cálculos e procedimentos lógicos. Para exemplificar o crescente grau de automação, Bennaton (1986) comparou três dispositivos equivalentes, ou seja, projetados para a mesma finalidade; neste caso, reduzir a sensação de calor: um leque, um ventilador e um aparelho de ar-condicionado. O leque está no primeiro estágio de automação, pois o ser humano contribui com seu discernimento e força física. Já o ventilador encontra-se em uma etapa posterior, pois o ser humano deixa de atuar como elemento motriz mas mantém o controle sobre a máquina, visto que ele pode e precisa ligá-lo e desligá-lo, mudar sua posição e orientação. No caso do ar-condicionado, a desvinculação humana é ainda maior, pois a própria máquina administra seu comportamento, aumentando ou diminuindo a intensidade de funcionamento, para manter a tempe-

ratura na meta definida mesmo diante de perturbações externas (como a incidência solar). Acrescentei à escala proposta por Bennaton o termostato que aprende, situando-o em um grau mais avançado, no qual a meta é definida pela própria máquina de acordo com a “observação” do comportamento das pessoas.

Com base nesse conceito ampliado de automação, é possível perceber que há muitos procedimentos automatizados na arquitetura: desde softwares para auxiliarem no projeto, passando por robôs que contribuem com a construção, até máquinas que abrem portas e controlam a iluminação de um ambiente.

Assim como automação pode ser aplicada de várias maneiras na arquitetura, seus desdobramentos também são muito diversos. Podem ir desde inovações estéticas no edifício até transformações das relações de trabalho no canteiro de obras. Para viabilizar a pesquisa, optei por avaliar, principalmente, como a automação altera um parâmetro da arquitetura ao qual chamei de adaptabilidade.

A adaptabilidade da arquitetura é um atributo que indica o grau de dificuldade do habitante para transformar determinado espaço. Quanto mais difícil, menor a adaptabilidade. Apesar de toda arquitetura ter o potencial de ser transformada, os investimentos econômico, energético, social e político podem variar significativamente. Essa resistência à mudança não é uma característica inerente da arquitetura, mas está conectada à relação entre o habitante e a arquitetura.

Para que tal ligação seja adaptativa, os habitantes precisam ter meios técnicos, materiais e intelectuais para realizarem as transformações. Se o investimento financeiro for fundamental para a transformação do espaço, quanto mais rica uma pessoa for, mais adaptativa é a relação entre ela e a arquitetura. No entanto, esses fatores não são absolutos. Por exemplo, certas sociedades, como algumas tribos indígenas e até mesmo algumas pessoas que moram no campo, apresentam um elo adaptativo com a arquitetura apesar de não terem dinheiro. Isso ocorre porque suas casas são construídas pelos próprios habitantes utilizando materiais encontrados no entorno. Nesse caso, os fatores mais importantes para a adaptabilidade são o conhecimento das técnicas construtivas e a proximidade dos materiais.

Todo edifício é composto por uma combinação de elementos fixos (como parede, telhado, muro etc.) e móveis (como janela, porta, mobiliário etc.). Embora o aumento de adaptabilidade possa estar associado à quantidade de elementos móveis, essa correlação nem sempre é verdadeira. Por exemplo, arquiteturas que contam com poucos elementos móveis, como um iglu ou uma cabana de barro, aparentam ser difíceis de se modificar. Todavia, sua relação com o habitante nativo é altamente

adaptativa, pois ele domina as técnicas construtivas e tem acesso direto aos materiais necessários. Assim, para lidar com as mudanças de temperatura, o esquimó constantemente abre buracos no iglu ou os fecha com pedaços de neve. Quando a neve do teto começa a derreter por causa do calor, ele faz um buraco que permite a entrada de um pouco de ar frio.¹ (ALEXANDER, 1973, p. 49, tradução nossa). Além disso, não há mecanismos culturais, políticos e materiais que dificultem a transformação; construir e alterar o espaço são tarefas incorporadas ao cotidiano. Nas caçadas de inverno, por exemplo, o esquimó faz um iglu novo a cada noite.

Essas características também podem ser observadas em outras produções vernaculares, como a cobertura de tenda dos índios norte-americanos que raramente dura mais do que uma única estação; as paredes de barro da cabana de Tallensi que precisam de manutenção frequente; ou as elaboradas habitações comunais das tribos amazônicas que são abandonadas a cada dois ou três anos, e novas são construídas.² (ALEXANDER, 1973, p. 50, tradução nossa).

Em contrapartida, existem edifícios com várias partes móveis ou feitos com sistemas construtivos reutilizáveis, fáceis de montar e desmontar, mas que são pouco ou nunca alterados mesmo diante de uma inadequação. Isso ocorre porque outros fatores aumentam a resistência à transformação. O usuário pode não se sentir apto a transformar o espaço ou “[...] o esforço de ajuste é maior do que o de se adaptar, pessoalmente ou socialmente, às piores condições de deixar a coisa não ajustada [...]”³ (JONES, 1991, p. 202, tradução nossa). Quando isso ocorre, as pessoas tendem a fazer concessões e alteram suas demandas até que os problemas se acumulem e seja inevitável transformarem o espaço.

Como a adaptabilidade depende da conexão do usuário com a arquitetura, colocar uma pessoa de uma grande metrópole numa cabana de barro ou um indivíduo de uma tribo numa casa projetada por um arquiteto não torna a relação adaptativa, pois a cultura do habitante e a arquitetura são incompatíveis, seja por não conhecer os métodos construtivos, seja por não saber como operar seus mecanismos (ex.: uma

1 “The Eskimo reacts constantly to every change in temperature inside the igloo by opening holes or closing them with lumps of snow. [...] Think of the moment when the melting snow dripping from the roof is no longer bearable, and the man goes to do something about it. He makes a hole which lets some cold air in, perhaps.” (ALEXANDER, 1973, p. 49).

2 “The Eskimo, on winter hunts, makes a new igloo every night. The Indian’s tepee cover rarely lasts more than a single season. The mud walls of the Tallensi hut need frequent daubs. Even the elaborate communal dwellings of the Amazon tribes are abandoned every two or three years, and new ones built.” (ALEXANDER, 1973, p. 50).

3 “The adjustments they offer are seldom used because the effort-of-adjusting is greater than that of adapting, personally or socially, to the worse conditions of leaving the thing unadjusted.” (JONES, 1991, p. 202).

porta, uma janela etc.).

O grau de adaptabilidade da arquitetura, portanto, está vinculado diretamente com a qualidade de ajuste das edificações e indiretamente com a desigualdade social.

1.1 QUALIDADE DE AJUSTE DA ARQUITETURA

A qualidade de ajuste da arquitetura é uma tradução livre do conceito *goodness of fit*, proposto por Christopher Alexander em seu livro *Notes on the Synthesis of Form* (1973). É preciso fazer duas breves ponderações sobre essa tradução. A primeira é que a tradução mais precisa seria “qualidade de ajuste da forma” e não da arquitetura. Acredito que Alexander optou pela palavra “forma” por ser mais abrangente (incluindo, também, outras áreas do design) e/ou por considerar que arquitetura representa mais do que a forma. A segunda é que a qualidade de ajuste não é da arquitetura (ou da forma), mas da relação entre a arquitetura e o contexto, como explicado adiante. Apesar dessas colocações, optei por empregar “qualidade de ajuste da arquitetura” em vez de “qualidade de ajuste da relação entre a forma e o contexto” para simplificar a leitura; espero que sem prejudicar o significado.

Segundo Alexander (1973, p. 18-19), dividindo um conjunto em forma e contexto: a forma é a parte do mundo sobre a qual temos controle e decidimos moldar para solucionar um problema; e o contexto é o que define o problema e indica as demandas sobre a forma. Qualidade de ajuste é uma propriedade da relação entre forma e contexto que define se ambas satisfazem às demandas feitas uma pela outra.⁴ (ALEXANDER, 1973, p. 19, tradução nossa). Na definição apresentada por Alexander, o componente humano da equação fica oculto. Para explicitá-lo, proponho reformular o conceito de contexto para as necessidades e os desejos dos indivíduos que surgem conforme a interação com a natureza e com a sociedade. Por exemplo, o clima frio exige instrumentos para aquecer o corpo (roupa, fogueira, abrigo), e conflitos entre grupos requerem meios de proteção (armas, cerca, muro). Algumas dessas demandas podem ser resolvidas com objetos; e outras, com espaços. Quando a arquitetura satisfaz todas as demandas impostas a ela, a relação entre ela e o contexto tem uma

4 “The form is a part of the world over which we have control, and which we decide to shape while leaving the rest of the world as it is. The context is that part of the world which puts demands on this form; anything in the world that makes demands of the form is context. Fitness is a relation of mutual acceptability between these two. In a problem of design we want to satisfy the mutual demands which the two make on one another. We want to put the context and the form into effortless contact or frictionless coexistence.” (ALEXANDER, 1973, p. 18-19).

boa qualidade de ajuste. Alexander (1973, p. 27) propõe que:

[...] o estado de cada desajuste potencial pode ser resumido em uma variável binária. Se o desajuste ocorre, a variável assume o valor 1, se ele não ocorre, a variável assume o valor 0. Cada variável binária representa um tipo possível de desajuste entre a forma e o contexto. O valor que essa variável assume, 0 ou 1, descreve um estado de coisas que não está apenas na forma ou apenas no contexto, mas uma relação entre os dois. O estado dessa relação, ajustado ou desajustado, descreve um aspecto de todo o conjunto. É uma condição de harmonia e bom ajuste do conjunto que nenhum dos possíveis desajustes ocorra. Este fato pode ser representado exigindo que todas as variáveis recebam o valor 0.⁵ (ALEXANDER, 1973, p. 27, tradução nossa).

A qualidade de ajuste, portanto, é o conjunto de variáveis binárias que retratam pontos da ligação entre arquitetura e contexto. Ela pode ser representada por uma escala: quanto mais desajustes, menor a qualidade de ajuste. Em analogia aos seres vivos, pode-se dizer que uma casa com alta qualidade de ajuste tem uma relação adaptada com o contexto. Uma casa muito quente ou muito fria, uma sala de aula barulhenta, uma família com carro em uma casa sem garagem, uma cozinha difícil de limpar, goteira, superlotação e falta de privacidade são exemplos de desajustes entre a arquitetura e a vida e os hábitos dos moradores.

Toda relação, adaptada ou não, está sujeita a perturbações que podem mudar sua qualidade de ajuste. Isto ocorre devido ao contexto estar sempre se modificando, já que tanto o usuário como os sistemas com os quais ele convive são dinâmicos. Quando as necessidades, o clima e a cidade que cerca o edifício mudam, uma conexão que era adaptada pode deixar de ser. Para mantê-la constantemente adaptada, o usuário pode alterar suas demandas ou transformar a arquitetura.

Como apontado por Alexander, a qualidade de ajuste não é inerente à arquitetura, mas é uma propriedade da vinculação entre a arquitetura e o contexto. Ou seja, nenhuma arquitetura é boa ou ruim isoladamente, ela precisa ser analisada dentro das circunstâncias em se encontra. Por exemplo, se uma casa que tem uma relação adaptada com o clima tropical for transportada para um local com clima desértico ou polar, ela apresentará desajustes. Segundo Alexander (1973, p. 27):

5 "If we divide an ensemble into form and context, the fit between them may be regarded as an orderly condition of the ensemble, subject to disturbance in various ways, each one a potential misfit. [...] We may summarize the state of each potential misfit by means of a binary variable. If the misfit occurs, we say the variable takes the value 1. If the misfit does not occur, we say the variable takes the value 0. Each binary variable stands for one possible kind of misfit between form and context. The value this variable takes, 0 or 1, describes a state of affairs that is not either in the form alone or in the context alone, but a relation between the two. The state of this relation, fit or misfit, describes one aspect of the whole ensemble. It is a condition of harmony and good fit in the ensemble that none of the possible misfits should actually occur. We represent this fact by demanding that all the variables take the value 0." (ALEXANDER, 1973, p. 27).

Projetar não é criar uma forma que atenda a certas condições, mas criar uma ordem no conjunto em que todas as variáveis recebam o valor 0. A forma é simplesmente a parte do conjunto sobre a qual temos controle. É somente por meio do que podemos criar ordem no conjunto.⁶ (ALEXANDER, 1973, p. 27, tradução nossa).

A associação da arquitetura contemporânea das grandes cidades com o contexto normalmente apresenta mais desajustes se comparada à ligação da arquitetura vernacular com seu contexto. Isso ocorre porque o contexto muda mais rapidamente nas cidades grandes e a relação do habitante com o edifício é menos adaptativa. Em nossa sociedade, vários fatores contribuem para que ela seja menos adaptativa (isto é, aumentam a resistência à mudança), como o custo e a disponibilidade de material e mão de obra, as técnicas usadas, a legislação, a cultura de transformar o espaço e o distanciamento das pessoas do processo de produção do espaço. Relações mais adaptativas normalmente se refletem em uma qualidade de ajuste maior, já que o morador pode fazer correções sempre que necessário sem que, para isso, precise recorrer a intermediários para projetar e construir, como o arquiteto ou o pedreiro. Dessa forma, a arquitetura permanece sempre bem ajustada.

1.2 DESIGUALDADE SOCIAL

O termo desigualdade social normalmente é utilizado para se referir apenas à desigualdade de distribuição de renda. Embora a renda seja um índice importante, o termo é empregado aqui com um sentido mais amplo, indicando a distribuição de todos os recursos disponíveis entre indivíduos e grupos de uma sociedade. Isto é, desde a distribuição da propriedade da terra até o acesso a serviços como educação, saúde e saneamento básico.

No Brasil, a desigualdade social é alarmante e pode ser claramente observada na cidade pelo contraste entre favelas e condomínios de luxo (FIGURA 1) e pelo agrupamento de pessoas da mesma faixa de renda em lugares distintos (FIGURA 2). Mas o espaço não é apenas a manifestação visual da desigualdade, como também contribui para sua manutenção e reprodução. Isso ocorre tanto no processo de construção, que promove a concentração de renda pela exploração da mão de obra no canteiro, como pelo controle do comportamento das pessoas por meio da organi-

6 “The task of design is not to create form which meets certain conditions, but to create such an order in the ensemble that all the variables take the value 0. The form is simply that part of the ensemble over which we have control. It is only through the form that we can create order in the ensemble.” (ALEXANDER, 1973, p. 27).

FIGURA 1 – Manifestação espacial da desigualdade em São Paulo.



FONTE: Tuca Vieira, 2004.

Disponível em: <www.tucavieira.com.br/A-foto-da-favela-de-Paraisopolis>. Acesso em: 8 set. 2018.

LEGENDA: De um lado do muro, a favela de Paraisópolis, do outro, um condomínio de luxo do bairro Morumbi.

FIGURA 2 – Manifestação espacial da desigualdade em Belo Horizonte.



FONTE: Google, 2010.

LEGENDA: A esquerda da Avenida Nossa Senhora do Carmo está a favela Morro do Papagaio, cuja renda familiar é de até dois salários mínimo (LANSKY, 2012). À direita está o bairro de bairro de classe média e alta Sion.

zação do espaço.

Segundo Ferro (2006, p. 333), a exploração da mão de obra provavelmente começou no final do período medieval, quando se percebeu, de modo mais ou menos claro, que “[...] o dinheiro que entrava no canteiro de obras saía com lucro, e que, pagando menos aos operários ou fazendo-os trabalharem mais, fora do que era o costume das corporações, a vantagem aumentava” (FERRO, 2006, p. 333). O resultado é o aumento da desigualdade de renda, que se reflete na desigualdade social. Para viabilizar a exploração do trabalho, era interessante desarticular os trabalhadores, que se organizavam em corporações de ofício. A estratégia utilizada foi “[...] quebrar a autonomia do canteiro, dividir e especializar as tarefas, misturar os trabalhadores qualificados com os imigrantes chegados em quantidade, sem formação, sem ferramentas e sem meios de subsistência” (FERRO, 2006, p. 333). Embora já existissem artesãos especializados, como o carpinteiro e o cantareiro, as atribuições no canteiro eram mais flexíveis. Ferro (2006) defende a hipótese de que o surgimento do desenho técnico e a formação do arquiteto moderno estão ligados à necessidade de segmentação do trabalho e de hierarquização do canteiro. O arquiteto, que a princípio pode ter se beneficiado com essa divisão, também é frequentemente explorado hoje em dia, trabalhando a serviço de grandes construtoras e do mercado imobiliário.

Embora de maneira limitada, uma relação mais adaptativa entre arquitetura e usuário pode contribuir para reduzir a exploração da mão de obra no canteiro, visto que parte do trabalho seria realizado pelos próprios habitantes, sem uma divisão clara entre concepção (trabalho intelectual) e execução (trabalho manual).

Além da desigualdade oriunda do processo construtivo, a arquitetura também contribui para a reprodução da desigualdade pelo controle do comportamento das pessoas. Esse argumento se fundamenta no pressuposto que o diálogo entre pessoas de grupos sociais diferentes (classe, raça ou orientação sexual) é importante para reduzir a discriminação, criar empatia e promover a cooperação, construindo a base para uma transformação socioespacial. No entanto, grande parte desses relacionamentos diários se desdobra em opressão (como no elo entre patrão e empregado), contribuindo para a manutenção de uma sociedade desigual e reduzindo a possibilidade de uma produção democrática do espaço.

O desfecho da interação está associado a vários fatores culturais. Entre eles, está a arquitetura que apresenta características que segregam pessoas de diferentes grupos sociais e moldam como elas devem se comportar, podendo conduzir a interação tanto para o diálogo, como para a opressão. Os arquitetos, em geral inconscien-

temente, reforçam as normas sociais por meio de sua prática, rotulando ambientes antes abstratos para determinar o comportamento do usuário.

Nesse caso, uma relação mais adaptativa pode diminuir a reprodução da desigualdade social ao reduzir o controle do arquiteto e das instituições sobre o local. Os espaços produzidos seriam majoritariamente planejados e construídos pelas próprias pessoas que irão usá-lo, reduzindo a possibilidade de reproduzir normas sociais impostas. O impacto de se aumentar a adaptabilidade na construção de casas e habitats privados pode ser pequeno. Porém, em lugares públicos – que precisam ser negociados entre várias pessoas, mudam de uso frequentemente e são o local de encontro e convívio entre diversos grupos sociais – esse impacto pode ser maior. Mas criar espaços mais democráticos depende, também, da conscientização e da reflexão das pessoas sobre a arquitetura. A produção vernacular, por exemplo, apesar de apresentar uma relação adaptativa, gera espaços que contribuem para reprodução da sociedade tal qual ela é, pois o processo construtivo é comandado por rígidas tradições.

1.3 ADAPTABILIDADE DA ARQUITETURA NAS GRANDES CIDADES

Na sociedade atual, principalmente nas grandes cidades, predominam as relações pouco adaptativas. Vários fatores contribuem para aumentar a resistência do espaço à mudança, como o custo e a disponibilidade de material e mão de obra, as técnicas usadas, a legislação, a cultura de transformação dos lugares e o distanciamento das pessoas do processo de produção do espaço. A relevância dessas condições varia conforme os modelos de produção espacial.

Classifiquei os modos de produção em três grupos que acredito serem capazes de abranger a maior parte da produção habitacional no Brasil: o **modo personalizado**, no qual o arquiteto em diálogo com o cliente, que também é o futuro morador, desenvolve um projeto individualizado conforme suas exigências e preferências; o **modo mercantil**, no qual o cliente, que não é um futuro morador, financia a construção e estabelece as demandas do público-alvo (como número de quartos e faixa de renda) para que o arquiteto desenvolva o projeto; e a **autoconstrução**, na qual o morador é quem planeja e também constrói (ou coordena a construção) de sua casa, transformando-a com o passar do tempo para adequar às suas necessidades. Essa classificação é detalhada no Capítulo 2.

A produção personalizada consegue resultados satisfatórios, pois há abundância

de recursos. Mas como o habitante depende de intermediários para projetar (arquiteto e engenheiro) e executar o projeto (pedreiro, pintor, eletricista etc.), o processo de transformação do espaço é lento e a relação é pouco adaptativa, levando os desajustes a se acumularem. No modo mercantil, o morador nem participa diretamente da concepção. Ele apenas compra ou aluga um espaço pronto e fica limitado a operar os mecanismos existentes (que garantem um mínimo de adaptabilidade) e a se organizar dentro dos limites estabelecidos pelo arquiteto. Já na autoconstrução, há uma proximidade maior do residente com o planejamento e o processo construtivo. Porém, a falta de recursos para alterar o ambiente (conhecimento técnico, material, tempo, dinheiro, espaço etc.) faz que a relação seja pouco adaptativa.

A segmentação das funções promovida ao longo dos anos no canteiro de obras com a finalidade de aumentar os lucros também ocorreu em outras áreas da sociedade (embora as causas não sejam necessariamente as mesmas). Por exemplo, a divisão do trabalho dentro das fábricas; a segmentação do conhecimento acadêmico em campos como biologia, química, física; e até mesmo a separação do tempo em atividades de lazer, trabalho, ócio etc. Esse compartilhamento pode ter contribuído para o rápido avanço da tecnologia e do conhecimento humano, mas impossibilitou que um indivíduo domine toda a informação disponível.

O conhecimento fragmentado dificulta uma relação adaptativa entre usuário e arquitetura, pois a maioria das pessoas acaba se especializando e dedicando a maior parte de seu tempo a atividades que não estão ligadas à produção do espaço. Além disso, a centralização do projeto nas mãos do arquiteto por meio de mecanismos legais também desestimula a autoconstrução, colaborando para aumentar a resistência do espaço à transformação. Apesar de toda conexão entre usuário e arquitetura ser ao menos um pouco adaptativa – já que há vários elementos móveis como portas, janelas, luminárias, cadeiras, mesas etc. –, isso não é suficiente para absorver todas as mudanças que ocorrem com o passar do tempo. Para que a relação seja mais adaptativa e a qualidade de ajuste aumente, é necessário reduzir a resistência à transformação, que é afetada tanto por aspectos físicos da arquitetura, como pela cultura de produção do espaço.

O caminho da divisão de tarefas e da especialização do conhecimento parece não ter volta. E mesmo que fosse possível tal cenário, é importante analisar se isso é desejável, já que essa segmentação também trouxe benefícios. Proponho que uma das formas (talvez a única maneira) de viabilizar a relação adaptativa entre habitante e arquitetura em uma sociedade caracterizada pela fragmentação de tarefas seja

recorrer à automação.

Como explicado no próximo tópico, a automação pode ser aplicada na arquitetura de várias maneiras. Para melhorar a adaptabilidade, ela precisa ser empregada de modo a diminuir o fracionamento do processo de produção do espaço. No entanto, a automação não é panaceia para a adaptabilidade. Há fatores além da fragmentação do processo que contribuem para aumentar a resistência do espaço à mudança. Além disso, a falta de recursos financeiros, que é um dos principais motivos pelo qual a autoconstrução é pouco adaptativa, também é um fator que dificulta o acesso a novas tecnologias.

1.4 AUTOMAÇÃO NA ARQUITETURA

Como exposto anteriormente, o conceito de automação vai além do uso de robôs e computadores avançados. Mas a versatilidade dos computadores, a sua disseminação e a intimidade crescente das pessoas com essas novas interfaces podem contribuir grandemente para a automação de vários processos relativos à produção da arquitetura. A automação, por si só, não é algo bom ou ruim, suas consequências dependem de como ela é desenvolvida e aplicada. Por isso, seus diversos desdobramentos precisam ser levados em conta quando se propõe automatizar algum procedimento.

Por um lado, a automação de uma atividade pode libertar os humanos de atividades mecânicas, monótonas e compulsórias, reduzir a carga de trabalho e gerar tempo livre na rotina para desfrutar a vida, dedicando-a a atividades facultativas, criativas e prazerosas. Por outro lado, essas máquinas não estão à disposição de todas as pessoas, e a organização social pode transferir o tempo economizado para um único grupo. Além disso, essas invenções não surgem e se disseminam por acaso, elas são estimuladas apenas quando favorecem os interesses econômicos de uma parcela da população. A automação da produção industrial pode reduzir empregos, aumentar a concentração de renda e a dependência humana das máquinas até o ponto de passarmos a agir em sua função, e não o contrário.

Proponho dividir a automação dos processos de produção do espaço em duas categorias: a **automação pontual**, que procura elevar a eficiência de uma parte do processo ou livrar as pessoas de tarefas repetitivas; e a **automação transversal**, que busca unificar todo o processo, questionando as divisões existentes e minimizando a resistência do espaço à transformação.

Exemplos de automação pontual são abundantes: os sistemas mecânicos de aquecimento de água e de refrigeração do ar; a iluminação pública que acende quando o sol se põe; a bomba que enche automaticamente a caixa d'água quando ela se esvazia e o extravasor⁷ (popularmente conhecido como “ladrão”) que remove água quando ela está muito cheia; a iluminação de garagens e da área de circulação de um prédio que liga quando detecta a presença de uma pessoa; os vários utensílios que nos cercam, como geladeira, máquina de lavar, computador, televisão, robôs aspiradores etc.; os softwares que ajudam os arquitetos a projetarem; as máquinas e os robôs usados na construção civil.

Isoladamente, a automação pontual não produz arquiteturas mais adaptativas. Mas ela pode, eventualmente, contribuir para criar um processo de produção contínuo. Por exemplo, a automação completa da construção utilizando grandes impressoras 3D de concreto possibilita que pessoas sem o conhecimento de técnicas construtivas criem sua própria arquitetura. No entanto, se os sistemas construtivos empregados forem os tradicionais, como o concreto armado ou a alvenaria estrutural, mudar o espaço no futuro continua sendo tão difícil quanto numa construção tradicional e a relação não se torna adaptativa.

Por isso, é preciso pensar na automação transversal, que busca reduzir a resistência à transformação. A automação do projeto, da simulação e da transformação espacial reunidas num contínuo possibilita a produção de uma arquitetura adaptável mesmo numa sociedade na qual as pessoas não têm tempo nem conhecimento para transformar o espaço. Faz-se necessário propor e desenvolver sistemas construtivos e também adaptar as tecnologias existentes para que, gradualmente, os outros atores se afastem do processo (atuando indiretamente por meio do desenvolvimento dos softwares e hardwares necessários). Os arquitetos e os operários da construção civil, ao invés de projetarem e construirem espaços acabados, podem trabalhar criando sistemas construtivos, aplicativos e robôs necessários para que as pessoas produzam seu próprio espaço. Ou seja, a automação não implica a eliminação do arquiteto, mas desloca-o de sua função de criador de espaços acabados para desenvolvedor de ferramentas que aumentem a adaptabilidade da arquitetura. Ao abrir mão do controle do resultado, os espaços se tornam imprevisíveis, assim como as

⁷ O extravasor de água é um sistema de tubos que escoam o excesso casual de água em caixas de água, reservatórios de água, evitando transbordamentos. Ele deve estar conectado acima do furo de alimentação; ou seja, por um lado, a boia controla o nível da água, quando está baixa na caixa e ainda bloqueia a entrada da água quando o nível atingir sua altura. Por outro lado, o extravasor ajuda no caso de a boia não funcionar por algum motivo.

relações que ocorrem nele. Isso pode incomodar as instituições que utilizam o controle pelo espaço para manutenção de seus privilégios.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O **primeiro capítulo** trata de dois assuntos principais. Um deles é discutir o motivo pelo qual a arquitetura da sociedade contemporânea, principalmente nas grandes cidades, apresenta uma qualidade de ajuste menor se comparada à arquitetura vernacular. Alexander (1973) propõe a hipótese de que sociedades não autoconscientes, que não têm uma visão crítica sobre a própria produção espacial, conseguem produzir edifícios com boa qualidade de ajuste porque o processo de produção da forma é autorregulado (ou homeostático), ou seja, capaz de corrigir os desvios (desajustes) para se manter na meta (boa qualidade de ajuste). Em contraste, a nossa sociedade autoconsciente tem dificuldade em produzir espaços com boa qualidade de ajuste apesar da grande quantidade de conhecimento relacionado ao assunto. Isso se dá em parte porque o vínculo das pessoas com espaço é pouco adaptativo e o processo deixar de ser autorregulado.

O segundo tema é a contribuição da arquitetura para a reprodução da desigualdade social que ocorre de duas formas: pela exploração da mão de obra no canteiro e pelo controle do comportamento do usuário. Ambas as alternativas têm uma origem comum: a fragmentação do processo de produção espacial. Ou seja: a divisão temporal clara entre as etapas projeto, construção e uso do espaço; a separação das pessoas envolvidas em cada uma dessas fases; e a cisão do trabalho intelectual e manual. Com essa segmentação, o processo de produção passou a ser ditado por um projeto realizado pelo arquiteto, desarticulando politicamente os operários do canteiro e aumentando a exploração. Além disso, o usuário passou a ter uma contribuição menor no projeto.

A origem dessa fragmentação aconteceu no final do período medieval. Apesar de mesmo na antiguidade já existir certa separação entre construtores e usuários, a divisão entre trabalho intelectual e manual somente se consolidou com a formação do arquiteto moderno, como tratado por Ferro (2006). Essa fragmentação contribuiu para a redução da adaptabilidade da arquitetura e, conseqüentemente, para a qualidade de ajuste. Não obstante, centralizar o projeto nas mãos do arquiteto facilita que as instituições do poder determinem o espaço e controlem o comportamento dos usuários.

No **segundo capítulo**, é explicado o que é automação e suas consequências com base na definição proposta por Bennaton (1986), que pode ser resumida como: quanto menos um engenho depende da assistência humana, mais automático ele é. Proponho uma nomenclatura fundamentada em um texto de Dubberly *et al.* (2009) para os graus de automação exemplificados por Bennaton (1986). Apresento o Homeostato, uma máquina desenvolvida por Ross Ashby inspirada no funcionamento do cérebro humano para demonstrar que é possível criar sistemas artificiais que aprendem. Apresento, também, o simulador de Homeostato que desenvolvi para estudar a máquina do Ashby. Por fim, trato das consequências da automação citando o exemplo da máquina de lavar. As considerações são embasadas principalmente em um texto da Betty Friedan (1971) e em uma palestra de Rosling (2010).

No **terceiro capítulo**, são apresentados exemplos de automação da produção arquitetônica, desde as aplicações mais difundidas como os softwares CAD e os edifícios inteligentes até experimentos restritos à esfera acadêmica, traçando uma análise crítica de cada um dos casos. Também é discutida a conexão entre automação e as questões apontadas no primeiro capítulo. Os experimentos expostos, em sua maioria, são exemplos de automação pontual e estão classificados segundo a etapa em que ocorrem (projeto, construção ou uso do espaço).

Para automação do projeto, há uma subdivisão de categorias: levantamento de dados, elaboração de modelos, simulações, modelagem paramétrica (algoritmo evolutivo e arquitetura participativa) e interfaces para interagir com o modelo. O uso de dispositivos automáticos na arquitetura é abordado conforme diversos autores, como Pedro Arantes (2010), Nicholas Negroponte (1970 e 1975), John Frazer (1995) e Yona Friedman (1971). No tocante aos experimentos relacionados à construção, há a categoria fabricação digital que é basicamente a construção auxiliada por computador. Sobre dispositivos relacionados ao uso da arquitetura, reservei a categoria automação residencial, na qual é disposta a *Reconfigurable House*, um experimento realizado por Usman Haque. Também retomo o tema da automação transversal, mostrando dois projetos do arquiteto Cedric Price: o *Fun Palace* e o *Generator*. Apesar de não terem sido construídos, eles são bem documentados e contêm várias das ideias que poderiam servir como sugestões para projetar novos edifícios, principalmente agora que as tecnologias informacionais estão bem desenvolvidas e relativamente baratas.

No **quarto capítulo**, é exposto o experimento Trambolho, que desenvolvi como Trabalho de Conclusão de Curso. Trata-se de uma interface de telecomunicação que

proporciona um ambiente onde pessoas de diferentes grupos sociais podem interagir sem reproduzir a opressão comum na interação presencial e em outros meios de telecomunicação. Para isso, foi desenvolvida uma interface híbrida entre espaço físico e ciberespaço, visando a inclusão do corpo e do espaço na telecomunicação. Um protótipo funcional foi construído e, apesar de alguns problemas, demonstrou a viabilidade do sistema.

A instalação é composta por uma estrutura mecânica móvel e diversos sensores e atuadores que podem ser usados pelas pessoas para transformar o espaço, aumentando a adaptabilidade da arquitetura por meio da automação. O projeto também foi uma busca por um caminho de atuação do arquiteto que não contribua para manutenção da desigualdade e eleve a qualidade de ajuste dos espaços.

A **conclusão** indica que a automação de processos relacionados à arquitetura pode melhorar a adaptabilidade, embora dependa da forma como ela é aplicada. O uso de máquinas de maneira pontual, melhorando a eficiência de certas tarefas, não aumenta a adaptabilidade e ainda pode diminuir os empregos e ampliar o lucro dos donos dos meios de produção, intensificando a reprodução da desigualdade. Não obstante, pode fortalecer as divisões existentes no processo e dificultar a participação dos usuários.

Já a aplicação da automação de maneira transversal, ou seja, pensando em processos que integrem todas as etapas da produção espacial e incluam o habitante como centro da tomada de decisões, é capaz de melhorar a adaptabilidade, tornar o processo de produção novamente autorregulado e produzir espaços com boa qualidade de ajuste. A automação transversal também contribui indiretamente para a redução da desigualdade social, pois substitui, ao menos parcialmente, alguns dos intermediários ligados à produção espacial (como arquitetos, engenheiros e pedreiros), possibilitando que o processo de transformação do espaço ocorra em ciclos menores, quase continuamente.

Em vez de projetar espaços prontos para serem consumidos, o papel dos arquitetos nesse cenário seria desenvolver interfaces e aplicativos, traduzindo conceitos e cálculos em imagens e representações gráficas que podem ser entendidas e manipuladas por leigos. Além disso, o profissional também poderia criar máquinas para auxiliar na transformação do espaço e sistemas estruturais e construtivos adequados para mudanças constantes e compatíveis com as máquinas. No entanto, a automação não soluciona todos os problemas; pois, embora a exploração no canteiro possa diminuir diante da substituição dos operários pelas máquinas, essas pessoas serão

deslocadas para as fábricas que produzem as máquinas onde possivelmente continuarão sendo exploradas. A automação pode parecer algo distante, porém, como delineado no presente trabalho, muitos dispositivos já existem: desde aplicativos que facilitam o levantamento do espaço até robôs construtores. E os arquitetos podem trabalhar para integrar essas aplicações pontuais em um processo transversal.

2 DESIGUALDADE E QUALIDADE DE AJUSTE DA ARQUITETURA

Esta dissertação procura refletir sobre a automação da produção espacial e o seu efeito sobre a qualidade dos espaços e a desigualdade social. Os conceitos de qualidade espacial e desigualdade social, assim como sua conexão com o processo de produção do espaço, são apresentados na introdução e aprofundados neste capítulo. Essas duas questões servem como base para discutir os impactos da automação na arquitetura.

2.1 A CAUSA DA INADEQUAÇÃO DA ARQUITETURA AO CONTEXTO

A introdução apresenta o termo qualidade de ajuste da arquitetura, proposto por Alexander (1973), para avaliar a relação entre a arquitetura e o contexto. O contexto são as demandas (necessidades e desejos) dos indivíduos que surgem de acordo com a interação com a natureza e com a sociedade. Uma boa qualidade de ajuste significa que não há problemas ou atritos entre a arquitetura e o modo de vida dos habitantes.

Parte das demandas das pessoas refere-se à sua sobrevivência. Algumas delas são sanadas pelo próprio corpo; outras, com o uso roupas e objetos; e as demais, pela arquitetura. Ashby (1960, p. 42) propõe que o comportamento de um ser vivo é adaptado se ele age para manter seus índices fisiológicos dentro dos limites necessários para que permaneça vivo. O corpo humano, por exemplo, precisa conservar sua temperatura na faixa de 35,5°C a 37,0°C. Caso ultrapasse esses limites, é sinal de que há um problema (como febre ou hipotermia) que pode, em casos extremos, levar à morte. Para preservar a temperatura interna estável, existem mecanismos

biológicos inatos, como: a ofegância, o suor e a ruborização (aumento da circulação sanguínea próxima à pele), que diminuem a temperatura corporal; tremores e reações metabólicas, que elevam a temperatura; e o arrepio e a palidez (redução da circulação sanguínea próxima à pele), que ajudam a conservá-la.

Para descrever o processo de regulação desses índices pelos mecanismos internos e inatos dos seres vivos, o fisiologista Cannon (1929) criou o termo **homeostase**⁸. Ashby (1960, p. 61) propõe generalizar esse conceito para qualquer mecanismo que reduza a oscilação desses índices, incluindo o comportamento aprendido, tal como se esquentar no sol, fazer uma fogueira, confeccionar e usar roupas ou construir e habitar a arquitetura.

Nesse sentido, a arquitetura é uma extensão do habitante e, para ser adaptada, ela precisaria agir para manter seus índices fisiológicos em equilíbrio, minimizando o impacto das mudanças climáticas no ambiente interno. Há vários elementos arquitetônicos que se comportam dessa maneira. As paredes, por exemplo, reduzem a troca de calor entre interior e exterior. Dependendo da sua espessura, podem retardar a entrada do calor, conservando a temperatura amena durante o dia e esquentando a casa durante a noite. O teto, ao desviar a chuva, mantém a pele do habitante constantemente seca. O vidro das janelas, o brise, a cortina e a iluminação artificial ajudam a deixar a iluminação apropriada e minimizam o efeito das mudanças causadas pelo movimento do sol e das nuvens. As janelas podem ser abertas e fechadas para alterar a circulação de ar e auxiliar na manutenção da temperatura, assim como os sistemas ativos de refrigeração (ar-condicionado) e aquecimento (lareiras e aquecedores). Já as chaminés removem a fumaça dos ambientes, deixando o nível próximo do ótimo, que é zero (ASHBY, 1960, p. 62).

No entanto, a arquitetura não se resume à preservação do equilíbrio dos índices fisiológicos de seus habitantes. As demandas dos habitantes vão além do contexto climático e incluem a constituição familiar, as necessidades pessoais, a mediação da sua interação com outras pessoas, a cultura da qual faz parte, o modo de construir e os materiais disponíveis na região.

Alexander (1973, p. 30-31) cita como exemplo de arquitetura bem adaptada a cabana Musgum, construída por tribos africanas na região norte da parte francesa de Camarões. Sua forma hemisférica é a mais eficiente para a menor transferência

8 Embora Cannon tenha cunhado o termo esse fenômeno já havia sido estudado por outros fisiologistas. Ele foi descrito pela primeira vez pelo francês Claude Bernard (1813-1878) que o denominou *milieu intérieur* (meio interno) (CANNON, 1929).

de calor, conservando o interior razoavelmente bem protegido do sol equatorial. Sua forma possui uma série de nervuras verticais que atuam como reforço estrutural, guia para a água da chuva e ponto de apoio para que o construtor tenha acesso à parte superior durante sua construção em vez de uso de andaimes descartáveis, como ocorre em locais onde a madeira é abundante. Esses “andaimes” continuam sendo usados até meses depois, quando é necessário escalar a cabana para repará-la. A implantação é cuidadosa, pois qualquer descontinuidade com o terreno pode resultar em desabamento devido às tensões da erosão. Já o agrupamento das cabanas reflete a organização social dos habitantes. A cabana de cada homem é circundada pelas cabanas de suas esposas e de outras pessoas subordinadas a ele, formando uma espécie de muro ao redor do chefe, protegendo-o de invasores e animais selvagens. A construção, a operação e a manutenção da cabana, as restrições das condições do entorno e também a rotina dos habitantes refletem no seu formato.

Em geral, a arquitetura vernacular⁹, construída por culturas que Alexander (1973) chama de não autoconscientes, costuma apresentar relações mais adaptadas com o contexto do que a arquitetura produzida por arquitetos em culturas autoconscientes. Isso pode ser observado tanto na escala do edifício – a cabana Musgum, os iglus dos esquimós e as ocas dos indígenas da Amazônia (ALEXANDER, 1973) –, como na escala urbana – as cidades Positano, Mykonos, Gasin e Mojacar (NEGROPONTE, 1975, p. 103).

Nessas culturas, a adaptação ocorre de maneira inconsciente, ou seja, a arquitetura não é construída e testada sistematicamente para decidir a forma mais adequada. Ela se cria e se adapta constantemente, num processo de tentativa e erro, similar à evolução. Embora não seja completamente aleatório, já que as mudanças são baseadas em conhecimentos prévios. Segundo Alexander (1973, p. 37), esse processo tem uma estrutura que o torna homeostático (autorregulado), fazendo que produza formas bem adaptadas consistentemente, mesmo diante da mudança.

Para que isso aconteça, são necessárias duas características fundamentais. A primeira é que as falhas sejam rapidamente identificadas e corrigidas. Isso é possível porque o morador também é o construtor e os materiais usados são de fácil acesso. Dessa forma, ele está capacitado a transformar sua moradia sempre que algo se mostra insatisfatório (ALEXANDER, 1973, p. 48-49). A segunda é que rígidas tradi-

9 Arquitetura vernacular pode ter vários nomes: Negroponte (1975) a chama de indígena; Alexander (1973), de não autoconsciente; e Frazer (1995), de vernacular. Outros nomes incluem anônima, espontânea, rural, sem pedigree (RUDOLFSKY, 1964), popular (WEIMER, 2012) e autoconstrução.

ções comandem o processo de construção e façam com que ele resista a mudanças. Isso garante que as correções sejam pequenas e localizadas e não globais, o que poderia provocar uma reação em cadeia de desajustes (ALEXANDER, 1973, p. 52).

Também é necessário que haja tempo para que a adaptação ocorra, ou seja, os ajustes precisam ser mais rápidos do que as mudanças no contexto (ALEXANDER, 1973, p. 50–51). A relação entre arquitetura e contexto é dinâmica e circular. Tanto a forma como o contexto mudam continuamente e permanecem mutuamente bem ajustados (ALEXANDER, 1973, p. 37).

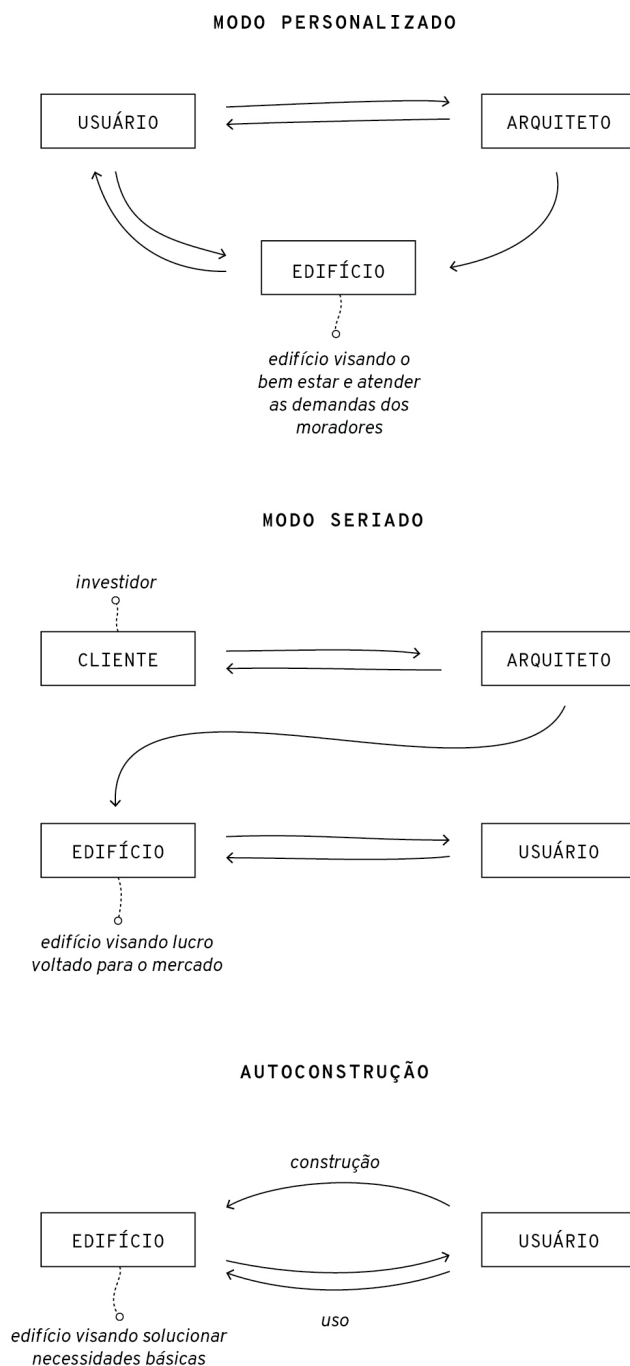
Nas sociedades autoconscientes, como a que vivemos, é fácil encontrar exemplos de arquitetura que não estão adaptadas ao contexto. De modo geral, isso incide porque o ciclo homeostático é interrompido e a produção de formas inadequadas não é apenas possível, mas provável.

A reação à falha se torna cada vez menos direta, os materiais não estão próximos e disponíveis, as construções são mais permanentes e a frequência de reparos e ajustes diminui. O edifício não é construído pelos habitantes e, quando há falhas, elas precisam ser relatadas e descritas diversas vezes até que o especialista as reconheça e faça algum ajuste permanente. Essas mudanças reduzem a sensibilidade a falhas e a velocidade de resposta, de modo que os defeitos agora devem ser consideráveis antes de induzir a correção (ALEXANDER, 1973, p. 55).

Somado a essas transformações, a tradição se dissolve, a resistência à modificação arbitrária enfraquece e mudar apenas por mudar torna-se aceitável. Em vez de a forma permanecer constante enquanto apenas um de seus aspectos é corrigido ao apresentar uma falha, diversas alterações são feitas simultaneamente, e a interação entre elas acaba fugindo do controle. A cultura, que se transformava lentamente, dando tempo suficiente para adaptação, agora se modifica tão rapidamente que o processo não consegue acompanhar (ALEXANDER, 1973, p. 56).

O modo de produção do espaço nas culturas autoconscientes não é igual em todos os casos, e nem todas as características que interrompem o processo autorregulado citadas precisam estar presentes. Isso faz com que os problemas dos edifícios variem. Alguns podem ser bem apropriados ao clima e mal adaptados às necessidades dos usuários. Outros podem ser bem adaptados às demandas sociais e terem uma estrutura propensa ao colapso. Outros podem ser adequados às restrições financeiras do consumidor e inadequados ao clima.

Existem várias maneiras de classificar o modo de produção. Para descrever suas particularidades, optei por dividir em três grupos que tentam resumir a produção

FIGURA 3 – Esquema que resume os modos de produção do espaço.

FONTE: elaboração própria.

LEGENDA: Os construtores foram omitidos propositalmente para simplificar o esquema.

habitacional (FIGURA 3) no Brasil: o modo personalizado, no qual o arquiteto entra em diálogo com o cliente (que também é o futuro morador) e desenvolve um projeto personalizado; o modo mercantil, no qual o cliente, que não é um futuro morador, financia a construção e estabelece as demandas do público-alvo (como número de quartos e faixa de renda) para que o arquiteto desenvolva o projeto; e a autoconstrução, em que o morador é quem planeja e também constrói (ou coordena a construção) de sua casa, transformando-a com o passar do tempo para adequar às suas necessidades.

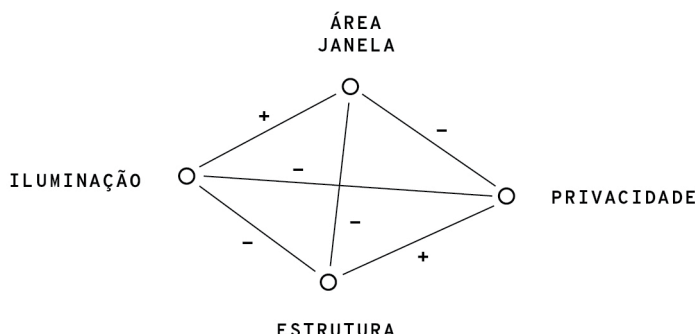
2.1.1 Modo personalizado

O modo de produção se configura como personalizado quando o arquiteto entra em diálogo com o cliente, que também é o futuro morador, e desenvolve um projeto sob medida para suas demandas (desejos e necessidades). Nesse modelo, o arquiteto oferece um atendimento direto e individual ao cliente. O resultado costuma ser satisfatório, pois há abundância de espaço, tempo e dinheiro, e a meta é criar um ambiente que atenda às demandas dos moradores e proporcione seu bem-estar. No entanto, é comum encontrar alguns desajustes.

Uma das causas dos desajustes é que a tradução das demandas do cliente em uma solução espacial é feita pelo arquiteto e, como em todo processo de tradução, podem advir distorções (NEGROPONTE, 1975, p. 102). Essas distorções podem ser maiores ou menores dependendo da atitude do profissional (se é paternalista ou não) e do grau de envolvimento do cliente no projeto (mais ou menos participativo). Processos participativos evitam que os clientes dependam das virtudes do arquiteto em compreender suas necessidades e possibilitam que os espaços criados acomodem melhor suas demandas específicas. No entanto, o processo participativo necessariamente não soluciona a adequação ao clima e não muda o fato das mudanças futuras serem difíceis.

Alexander (1973) propõe que o surgimento de desajustes está relacionado à interação entre as variáveis da arquitetura. Por isso, ajustar uma variável pode provocar novos problemas. Por exemplo, aumentar o número de janelas para solucionar a falta de iluminação pode reduzir a privacidade. Ou estender a área das janelas é capaz de tornar a casa mais propensa a entrar em colapso¹⁰ (FIGURA 4) (ALEXANDER, 1973,

10 "If there is not enough light in a house, for instance, and more windows are added to correct this failure, the change may improve the light but allow too little privacy; another change for more light

FIGURA 4 – Diagrama de interação entre algumas variáveis da arquitetura.

FONTE: adaptação do gráfico feito por Alexander (1973, p. 2).

LEGENDA: Neste diagrama, cada um dos quatro parâmetros escolhidos (área da janela, iluminação, privacidade, capacidade estrutural) é representado por um ponto. Caso a alteração do valor de um dos parâmetros repercuta em outro, uma linha é desenhada ligando os pontos. Quando há um conflito escreve-se um menos ao lado da linha. Por exemplo, aumentar a área da janela reduz a privacidade. Quando há um reforço escreve-se um mais ao lado da linha. Mesmo neste problema simples com quatro variáveis há quatro conflitos.

p. 42, tradução nossa).

Esse exemplo é simples, porém, um edifício real tem centenas de variáveis amplamente interligadas, e qualquer mudança em uma provoca um efeito em cadeia que desestabiliza as demais. Como toda arquitetura é uma sobreposição de necessidades, desejos e funções – manter os habitantes secos, a temperatura amena, proteger contra animais selvagens, criar espaços privados, servir como meio de expressão estética etc. –, para alcançar um resultado satisfatório é preciso que o arquiteto solucione todas as questões simultaneamente. Como o número de combinações possíveis é enorme, a resposta para os problemas se torna inviável tanto por tentativa e erro como por decisões fundamentadas dos arquitetos¹¹ (ALEXANDER, 1973, p. 59).

Diante de tal complexidade, a opção mais comum do arquiteto é priorizar um aspecto em detrimento de outros. Por exemplo, ele começa o projeto com uma forma que considera esteticamente interessante e tenta encaixar o programa. Ou opta por uma implantação que garante boa iluminação e ventilação, mas não consegue um bom aproveitamento do terreno.

Para solucionar os problemas capazes de ser evitados com pequenas mudanças no projeto, são criados vários artifícios que podem encarecer a construção e a

makes the windows bigger, perhaps, but thereby makes the house more likely to collapse.” (ALEXANDER, 1973, p. 42).

11 “The designer’s attempt is hardly random as the child’s is; but the difficulties are the same. His chances of success are small because the number of factors which must fall simultaneously into place is so enormous.” (ALEXANDER, 1973, p. 59).

manutenção do edifício. Por exemplo, por algum motivo, o arquiteto coloca as janelas de uma sala de aula viradas para o pátio da escola. Para evitar que o barulho do ambiente atrapalhe o outro, ele preenche as paredes com isolamento acústico e instala janelas antirruído, que precisam ficar sempre fechadas, aumentando o custo de construção. Isso gera um problema de ventilação e temperatura que é resolvido utilizando sistemas mecânicos como o ar-condicionado, que também eleva o custo de construção e de manutenção devido ao consumo de energia elétrica.

Alexander (1973) propôs um método para que os arquitetos consigam desenvolver projetos com boa qualidade de ajuste. Para isso, é necessário agrupar as variáveis da forma em subsistemas mais ou menos independentes de modo que o problema seja solucionável em tempo útil. Isso ocorre automaticamente no processo não autoconsciente, pois os indivíduos têm pouco controle sobre o processo, o que dificulta que alterem o padrão de adaptação implícito no sistema.

No entanto, como as demandas estão sempre se modificando, mesmo uma arquitetura adaptada irá, eventualmente, apresentar um desajuste. E como a relação do habitante com o espaço não é adaptativa por causa da fragmentação e da especialização do processo de produção, do acesso aos materiais e das transformações culturais, a arquitetura tende a permanecer desajustada até que o cliente contrate novamente o arquiteto.

Nesse modo de produção, o profissional tem mais liberdade e controle se comparado ao modo mercantil e, por isso, também tem mais responsabilidade sobre o resultado. Mas ele não é totalmente livre, pois suas ações estão sujeitas a restrições de ordem tecnológica (como as técnicas e os sistemas construtivos), comercial (como a disponibilidade de material e mão de obra), política (como as leis que regulam a construção), social (como o gosto, a moda e a cultura local), além das determinações do contratante. E o mercado, a disponibilidade de materiais e o predomínio de certas técnicas construtivas, são ditados mais pelos fornecedores e pelas escolhas das grandes construtoras do que pelas necessidades das pessoas e dos desejos dos arquitetos.

É possível inferir que esse modelo é pouco comum no Brasil conforme pesquisa realizada pelo Datafolha (2015) encomendada pelo CAU/BR (Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil). Os resultados mostram que menos de 15% dos entrevistados que realizaram reformas ou construções utilizaram os serviços de um arquiteto ou engenheiro na obra e apenas 7% do total de entrevistados já contrataram um

arquiteto.¹² A principal razão citada para a não contratação dos serviços de arquiteto e urbanista, aproximadamente 45%, é de natureza financeira: falta de dinheiro e valor alto. Em geral, o serviço do arquiteto é economicamente inacessível para grande parte da população. Mesmo que sua contratação reflita na redução do valor total da obra, as pessoas mais pobres costumam ter demandas mais urgentes e não conseguem acumular dinheiro para investir em um projeto que precede a construção.

2.1.2 Modo mercantil

A produção mercantil é aquela na qual o cliente, que é um empresário e não necessariamente um futuro morador, financia a construção e estabelece as demandas do público-alvo (como número de quartos e faixa de renda) para que o arquiteto desenvolva o projeto.

O modo mercantil acomoda boa parte da classe média e uma parcela dos mais pobres. Por ser produzido em série, consegue reduzir o preço da habitação diluindo alguns custos fixos, como o serviço do arquiteto, entre um número maior de pessoas. Todavia, para ser produzido em série, ele também precisa reduzir a variedade. Por isso, os apartamentos ou as casas são projetos genéricos pensados para um indivíduo ou uma família média, que varia conforme o público-alvo (faixa de renda e tamanho da família) determinado pelo investidor. Como as pessoas têm diferentes arranjos familiares, estilos de vida, necessidades e desejos, o espaço ideal para suas atividades cotidianas varia substancialmente. A não ser que o apartamento seja aberto e generoso, com espaços fáceis de transformar e adaptar, o edifício tende a não acomodar bem a maior parte das famílias. Mesmo que acolha, as demandas se modificam ao longo do tempo e, se a relação não for adaptativa, a família precisará se mudar.

Como a prioridade, nesses casos, é aumentar o lucro do investidor e não o bem-estar das pessoas, a qualidade espacial desses imóveis tende a ser pior do que a do modelo personalizado. Os esforços são direcionados para aumentar o uso do terreno, o número de unidades e reduzir o gasto da construção (mas não o gasto de manutenção), mesmo que isso signifique abrir mão de criar espaços mais abertos e adaptados ao contexto.

12 As entrevistas da pesquisa quantitativa foram realizadas entre os dias 9 e 12 de junho de 2015, com 2.419 pessoas em 177 municípios visitados. A margem de erro é de dois pontos percentuais (DATA-FOLHA, 2015).

A qualidade desses edifícios varia conforme a faixa de renda do público-alvo. Prédios de luxo tendem a ter espaços mais generosos e versáteis, que aceitam uma grande diversidade de usos, enquanto apartamentos mais baratos costumam ter áreas menores, mais determinadas e difíceis de ajustar. Os materiais e as técnicas usados para baratear a construção, como alvenaria estrutural, também tornam mais difícil transformar o espaço. Um exemplo são os conjuntos habitacionais construídos para realocação de pessoas que moram em ocupações e áreas de risco, que, normalmente, limitam-se aos requisitos mínimos do Código de Obras¹³.

Apesar de, internamente, um conjunto de casas ou um prédio multifamiliar não ter uma grande variedade de unidades, a cidade oferece diversidade suficiente para acomodar boa parte dos arranjos familiares, hábitos e desejos. Ainda assim, existem três problemas a serem considerados. O primeiro é que mudar-se (de casa) ou reformar seu espaço quando ele se torna inadequado nem sempre é uma opção por motivos que incluem a falta de dinheiro e tempo, a proximidade do local de trabalho, o acesso ao transporte público e a outros serviços, questões emocionais etc. O segundo é que as demandas da população também se transformam como um todo. Por exemplo, o número total de pessoas em uma cidade que moram sozinhas e querem apartamentos menores pode aumentar enquanto o número de famílias grandes que dividem uma casa pode diminuir. O terceiro refere-se ao surgimento de novas demandas para as quais não há nenhum espaço adequado. Portanto, a facilidade de transformar um espaço é tão ou mais importante do que a variedade de espaços.

O processo participativo de projeto é uma alternativa que possibilita aos futuros usuários criarem espaços personalizados para suas demandas e resulta um aumento da variedade. No entanto, as futuras modificações continuam tão difíceis quanto em edifícios tradicionais. Apesar disso, o processo participativo poderia aumentar a adaptabilidade, pois dissemina o conhecimento sobre planejamento e construção entre as pessoas, iniciando uma transformação na relação das pessoas com o processo de produção do espaço.

Por um lado, nesse modo de produção, as escolhas do arquiteto têm um impacto maior, já que as pessoas têm menos recursos e se mudarem (de casa) nem sempre é viável. Por outro lado, o arquiteto tem ainda menos liberdade, pois, além das restrições anteriores, ele está subordinado ao empreiteiro e ao mercado.

13 O Código de Obras é um instrumento legal que estabelece os parâmetros mínimos de segurança, conforto e habitabilidade que devem ser seguidos pelas construções de uma cidade.

2.1.3 Autoconstrução

A autoconstrução ocorre quando o morador é quem planeja e também constrói (ou coordena a construção) de sua casa, transformando-a com o passar do tempo para adequá-la às suas necessidades. Algumas intervenções e reformas da classe média são feitas sem a intermediação de arquitetos e engenheiros e, por isso, podem ser consideradas autoconstrução. No entanto, esse modo é mais comum na parcela mais pobre da população que não tem acesso nem ao arquiteto nem à moradia produzida em série.

Há uma diferença, também, entre a autoconstrução da classe média, que costuma ser executada em espaços previamente projetados por arquitetos, e a autoconstrução da classe baixa, desenvolvida desde a fundação da construção e, em alguns casos, até na criação de vias e infraestrutura urbana.

Frequentemente, as pessoas pobres constroem sua própria casa ocupando terrenos abandonados, reservados para a especulação imobiliária ou desprezados pela urbanização formal.¹⁴ Segundo o Censo Demográfico 2010 (IBGE, 2011), aproximadamente 6% da população brasileira (11.425.644 pessoas) mora em aglomerados subnormais¹⁵, conhecidos como favelas, invasões, grotas, baixadas, comunidades, vilas, rressacas, mocambos ou palafitas, o que corresponde a 5,6% (3.224.529) do total de domicílios do Brasil. Nesses ambientes, predominam a autoconstrução, embora não exclusivamente.

Nesse método, “não prevalece uma divisão entre trabalho intelectual e material. Quem concebe o espaço é a mesma pessoa que constrói e, em geral, usa.”¹⁶ (BAL-

14 Como nas margens ou sobre rios, córregos, lagos ou mar (palafitas), em praias, dunas, manguezais, unidades de conservação, aterros sanitários, lixões ou áreas contaminadas, faixa de domínio de rodovia, ferrovia, gasodutos, oleodutos e linhas de transmissão de alta tensão (IBGE, 2013, n.p.). “Na maior parte dos casos, ocupavam áreas menos propícias à urbanização, como encostas íngremes no Rio de Janeiro (RJ), áreas de praia em Fortaleza (CE), vales profundos em Maceió (AL)” localmente conhecidos como grotas”, baixadas permanentemente inundadas em Macapá (AP), manguezais em Cubatão (SP), e igarapés e encostas em Manaus (AM)”. (IBGE, 2011, n.p.).

15 “É um conjunto constituído de, no mínimo, 51 unidades habitacionais (barracos, casas etc.) carentes, em sua maioria de serviços públicos essenciais, ocupando ou tendo ocupado, até período recente, terreno de propriedade alheia (pública ou particular) e estando dispostas, em geral, de forma desordenada e densa. A identificação dos aglomerados subnormais deve ser feita com base nos seguintes critérios: a) Ocupação ilegal da terra, ou seja, construção em terrenos de propriedade alheia (pública ou particular) no momento atual ou em período recente (obtenção do título de propriedade do terreno há 10 anos ou menos); e b) Possuírem pelo menos uma das seguintes características: urbanização fora dos padrões vigentes – refletido por vias de circulação; estreitas e de alinhamento irregular, lotes de tamanhos e formas desiguais e construções não regularizadas por órgãos públicos; ou precariedade de serviços públicos essenciais. Os aglomerados subnormais podem se enquadrar, observados os critérios de urbanização e/ou de precariedade de serviços públicos essenciais, nas seguintes categorias: invasão, loteamento irregular ou clandestino, e áreas invadidas e loteamentos irregulares e clandestinos regularizados em período recente.” (IBGE, 2011, n.p.).

16 “[...] the division between intellectual work and material work does not prevail there. People who conceive spaces are the same ones who build them and, in general, also the ones who use them.”

TAZAR, 2009, p. 42, tradução nossa). A separação entre formulação das demandas, planejamento, construção e uso não existe ou é muito reduzida, e os papéis de planejador, construtor e usuário podem ser assumidos pela mesma pessoa.

As casas normalmente são construídas pelos próprios moradores, em processos de mutirão ou por operários da construção civil (pedreiro, eletricista, bombeiro etc.) contratados sem intermediários. Os intermediários podem ser, por exemplo, arquiteto, engenheiro ou mestre de obras, como acontece normalmente no modo personalizado. Diferente dos modos que incluem o arquiteto, nos quais é planejada e executada uma grande e única intervenção; aqui, as mudanças são pequenas e constantes. Nem sempre por escolha, mas devido à escassez de tempo e dinheiro.

A autoconstrução proporciona uma forma de liberdade que não está presente nos outros modos, já que os habitantes não são influenciados pelo arquiteto, como no modelo personalizado, e nem são obrigados a escolher apenas entre o que é oferecido no mercado, como no modo mercantil.¹⁷

Segundo Baltazar (2009, p. 41), as casas na favela estão sempre se alterando e expandindo para se adaptarem às mudanças de necessidade. No entanto, isso não quer dizer que as pessoas sejam mais livres do que em outros sistemas de produção, pois ainda existem restrições, principalmente de disponibilidade de espaço e de recursos financeiros. Como colocado por Baltazar (2009, p. 42, tradução nossa): “o espaço é criado pela necessidade e não pela escolha, além de envolver valor de troca e um mercado singular”.¹⁸

Apesar desse modo de produção se assemelhar ao processo autorregulado das culturas não autoconscientes, principalmente pela ausência do arquiteto, os edifícios não apresentam uma qualidade de ajuste tão alta. Problemas ambientais e técnicos, como infiltração e falta de iluminação e ventilação, são causados, principalmente, pela insuficiência de áreas disponíveis. À medida que a ocupação se adensa, torna-se difícil criar aberturas para circulação de ar e luz direta do sol. A ocupação de áreas de risco sem as estruturas necessárias também é comum e coloca em perigo a vida dos moradores. Nesses locais, também é frequente a falta de iluminação em áreas públicas, calçamento das vias e saneamento básico – como esgoto e água encanada – que podem gerar graves problemas de saúde e são a evidência do descaso do Estado com

(BALTAZAR, 2009, p. 42).

17 “Nevertheless, there is a kind of autonomy of individuals and groups in favelas that does not exist in the formal city.” (BALTAZAR, 2009, p. 42).

18 “It should not be seen in a romantic perspective, as if it were really free. In fact, this space is created out of necessity and not by choice; it involves value exchange and a peculiar market.” (BALTAZAR, 2009, p. 42).

essa parcela da população.

Parte desses problemas estão relacionados à interrupção do processo autorregulado de produção, causada pela dificuldade de acesso ao material construtivo e pela falta de conhecimento dos sistemas e das técnicas relacionados a eles.

Nas grandes cidades, as matérias-primas fornecidas gratuitamente pela natureza são escassas. O que é relativamente fácil de encontrar são materiais processados, como tijolo, cimento e vidro, que não estão ao alcance financeiro de todas as pessoas. Mesmo que exista uma relação mais direta com a construção, a dificuldade em conseguir material reduz a velocidade que alterações ou reparos são realizados quando um problema é identificado. As casas são alteradas apenas quando há disponibilidade simultânea de tempo e dinheiro.

A organização da casa e as tecnologias usadas na produção informal (técnicas, sistemas construtivos e materiais de construção) seguem, na maioria das vezes, a mesma lógica das construções formais.¹⁹ Essas tecnologias são incompatíveis com a adaptação constante, pois são otimizadas para o modo de produção temporalmente segmentado, que visa a exploração do trabalho, obtenção de lucro e criação de espaços rígidos que dependem de um grande investimento para transformação.

Atualmente, mesmo no campo, onde as mudanças de contexto ainda são mais lentas e a arquitetura vernacular é relativamente bem adaptada, os materiais e as técnicas locais estão sendo gradualmente substituídos (onde já não o foram completamente) por matérias-primas e técnicas “estrangeiras” (como tijolo e argamassa). Tais materiais deixam o processo construtivo mais rápido e fácil, mas são inadequados para adaptação constante e tornam as pessoas dependentes de fornecedores externos.

Ao andar pelo interior de Minas Gerais, por exemplo, é comum encontrar pessoas morando em casas feitas de taipa de mão com acréscimos ou reparos realizados com tijolo furado e argamassa, a substituição da telha cerâmica por telha metálica ou de fibrocimento e, até mesmo, a troca de esquadrias de madeira pelas pré-fabricadas de alumínio e PVC. O resultado, em geral, é a redução da qualidade de ajuste do edifício, ao menos no que concerne ao conforto ambiental, embora esses materiais possam facilitar a construção. A tradição construtiva também se perde à medida que não é reproduzida por pessoas de outras gerações.

19 “[...] almost all its materials, techniques and patterns do no more than imitate the formal practices.” (BALTAZAR, 2009, p. 42).

2.1.4 Além da moradia

Apesar dos modelos descritos serem baseados na produção de moradia, que representa a maior parte do ambiente construído, a produção de edifícios comerciais, lojas e espaços públicos (parques e praças) não é muito diferente. O modo mercantil se aplica no caso de empreendimentos comerciais. Os usuários do espaço raramente estão envolvidos no processo de projeto, e o edifício é pensado para gerar o maior lucro possível ao empreendedor. A diferença é que a circulação diária de pessoas é maior e os escritórios e as lojas mudam de endereço com mais frequência do que as famílias. Consequentemente, é importante que os locais sejam mais generosos e fáceis de adaptar.

No caso da produção de espaços públicos, o modo de produção é algo entre o personalizado e o mercantil. Ele não se caracteriza como personalizado, pois o cliente não é necessariamente quem usa o espaço, mas um representante dos usuários (por exemplo, um prefeito eleito). Não obstante, ele não é mercantil, pois a meta não é o lucro (ou não deveria ser), e sim a criação de espaços de qualidade para a população.

Outros casos excepcionais são o que Arantes (2010) chama de “arquitetura da exceção”. São construções que se enquadram tanto no modelo personalizado como mercantil nas quais o arquiteto tem ainda mais liberdade²⁰ por ser contratado a fim de criar um ícone para um governo, uma cidade ou uma corporação. Nesse caso, o impacto visual externo do edifício tem uma grande importância em detrimento das outras necessidades.

2.2 CONTRIBUIÇÃO DA ARQUITETURA PARA A REPRODUÇÃO DA DESIGUALDADE

A segunda questão a ser tratada neste capítulo refere-se a como espaço projetado contribui para a reprodução da desigualdade social. Isso ocorre de duas maneiras: pelo controle do processo de produção ou do do comportamento usuário. Ambas estão relacionadas à inadequação do espaço ao contexto. O controle do processo de produção interrompe o método autorregulado, e o controle do usuário é um dos fatores que impede que ele volte a ser autorregulado. O detalhamento dessas formas

20 A liberdade inicial de propor formas pode se converter em restrições ainda mais rígidas, pois muitos arquitetos acabam ficando aprisionados em estilos que criaram, sendo contratados para reproduzir certos efeitos.

de controle é desenvolvido nos próximos tópicos.

2.2.1 Controle do processo de produção

Uma das formas de controle do processo de produção se dá por meio da especialização, ou seja, da divisão entre trabalho intelectual e manual, que é viabilizada pelo desenho técnico. Essa divisão está diretamente ligada à consolidação da figura do arquiteto moderno, que começou entre o final do período medieval e o início do Renascimento.

Na autoconstrução vernacular, por exemplo, os próprios habitantes são os construtores. Em geral, as intervenções são executadas assim que aparecem sem a realização de um projeto prévio. Mesmo nas grandes construções erguidas antes do surgimento do arquiteto moderno, como catedrais, palácios, igrejas, muralhas, monumentos, castelos etc., não havia distinção firme entre trabalho intelectual e manual. Até aproximadamente o apogeu do gótico, o canteiro de obras poderia ser caracterizado como “[...] um grupo de trabalhadores, que tem praticamente o mesmo nível, competências muito abertas e muito pouca hierarquia” (FERRO, 2006, p. 330). Mesmo os especialistas tinham capacidade de circular por outras áreas e a divisão de tarefas era flexível: o arquiteto sabia manejar tanto o cinzel como a régua de agrimensor, e o talhador de pedras poderia, se tivesse a oportunidade, projetar planos (RECHT, 1989, p. 24 *apud* FERRO, 2006, p. 330).

O desenho existia, mas era elementar (simples), apenas com indicações de implantação e dimensões. Não era necessário detalhar os elementos, pois a maior parte das decisões era tomada durante a construção, que poderia durar centenas de anos e mudar diversas vezes de rumo.²¹ Não se tinha, portanto, uma ideia completa do que seria a construção quando finalizada e era comum usufruir do espaço durante a construção, a reforma ou a expansão.

A divisão entre os papéis de planejador, construtor e usuário e a separação temporal entre planejamento, construção e uso se iniciaram quando percebeu-se, de modo mais ou menos claro, que “[...] o dinheiro que entrava no canteiro de obras saía com lucro, e que, pagando menos aos operários ou fazendo-os trabalharem mais, fora do que era o costume das corporações, a vantagem aumentava” (FERRO, 2006,

21 “Até o início do século XIII, a construção podia dispensar desenhos em pequena escala e a forma se fazia durante a construção do edifício, “bastava pôr-se de acordo quanto a algumas medidas de base, dadas pelo arquiteto, e quanto à indicação da disposição geral notificada com a ajuda do desenho.” (MÜLLER, 1989, p. 237 *apud* FERRO, 2006, p. 332).

p. 333).²² Para isso, era necessário organizar os processos construtivos, transformar o artesão em operário e reduzir sua atividade a operações manuais determinadas por decisões alheias (BALTAZAR; KAPP, 2006). Consequentemente, o arquiteto moderno surge onde circula mais dinheiro, nas grandes construções²³ a serviço de grupos ricos e poderosos (Igreja, governo, príncipes, reis), antes de se espalhar para outras parcelas da população, primeiro para as casas burguesas e depois para grande parte da população de classe média e baixa por meio da arquitetura produzida em série.

Como salienta Ferro (2006), o arquiteto foi se definindo aos poucos, aumentando cada vez mais o número de desenhos, afastando-se do canteiro e se distinguindo dos demais participantes da construção, ao criar uma divisão mais nítida entre trabalho intelectual e manual. O desenho passou da geometria construtiva, da forma como resultado dos processos construtivos, para a geometria formal do arabesco gratuito, que antecipa o resultado final adaptando o processo de construção às formas desejadas (FERRO, 2006, p. 331).

A criação de novos estilos arquitetônicos²⁴ e técnicas construtivas pode estar relacionada com a necessidade de garantir o monopólio do arquiteto sobre a configuração final e, consequentemente, ampliar os ganhos financeiros dos investidores. Alguns estilos foram claramente desenvolvidos mais para abrandar conflitos sociais e lutas de classe nos canteiros do que em resposta direta a necessidades construtivas²⁵ (FERRO, 2002, p. 15).

Outra estratégia para controle da construção é a regulação estatal. Nas grandes

22 “Para pagar menos, era interessante quebrar a autonomia do canteiro, dividir e especializar tarefas, misturar os trabalhadores qualificados com os imigrantes chegados em quantidade, sem formação, sem ferramentas e sem meios de subsistência, rompendo, assim, a homogeneidade ancestral.” (FERRO, 2006, p. 333).

23 Parafraseando Ferro (2006, p. 333): a construção de muralhas e catedrais estimulava o desenvolvimento econômico e muitas pessoas tiraram proveito: dos mestres de obras que exploravam aprendizes, artesãos e imigrantes que vinham do campo em busca da “liberdade” urbana; até os comerciantes que tinham ganhos indiretos com os operários que precisavam comer, morar, vestir etc.

24 A noção de estilo começou com a ordem clássica por Brunelleschi, linguagem “estrangeira” à dos trabalhadores, que “[...] responde à necessidade, para a nova estrutura de produção, de descartar e calar a expressão autônoma dos trabalhadores da construção” (FERRO, 2006, p. 334). A única coisa que legitima o renascimento do antigo é “[...] a necessidade de submeter o trabalho à exploração do capital, a necessidade de instaurar uma manufatura no lugar da cooperação simples” (FERRO, 2006, p. 339).

25 A mudança para o concreto e o ferro ocorreu no fim do século 19, exatamente quando houve um forte movimento operário na Europa que demandava, sobretudo, o controle do processo produtivo da arquitetura (FERRO, 2002, p. 15). Esse movimento está relacionado ao início dos sindicatos que, por sua vez, eram dominados por trabalhadores da construção civil. Os sindicatos mais fortes na França, por exemplo, eram dos trabalhadores de madeira e em pedra. “Não é por acaso que a arquitetura muda de materiais fundamentalmente: passa para o concreto e para o ferro, destruindo, tirando a força desse pessoal dentro do canteiro.” (FERRO, 2002, p. 16). E também há uma mudança de linguagem, mudando essencialmente a decoração no momento em que os operários estão fortes, dando início à arquitetura contemporânea. Como contraponto ao ecletismo, no qual há uma aproximação do arquiteto com o canteiro, surge a arquitetura moderna, de casas brancas e lisas (primeiro do Le Corbusier, do Adolf Loos etc.) (FERRO, 2002, p. 16).

cidades brasileiras, por exemplo, é necessário que qualquer transformação espacial que altere a área construída seja previamente aprovada em órgãos competentes. Tais intervenções devem ser comunicadas por meio de plantas, cortes e elevações seguindo as normas de desenho técnico, o que, por si só, já elimina boa parte da população que não domina tais códigos. Para serem aprovados, os modelos precisam ser assinados por um arquiteto ou engenheiro devidamente registrado e em dia com seus respectivos conselhos profissionais²⁶ e estarem de acordo com as diretrizes que coordenam a construção (como Código de Obras e o Plano Diretor Municipal²⁷). Depois de construída a edificação deve corresponder ao desenho aprovado. Caso sejam identificadas e denunciadas mudanças que não estejam de acordo com a legislação vigente, o responsável pela construção pode ser multado. No caso de reformas e alterações na fachada de edifícios, a lei de direitos autorais exige, também, a autorização do arquiteto que fez o projeto original ou seu representante legal²⁸ (CAU/BR, 2013, p. 164).

O afastamento do usuário do processo construtivo e a divisão entre trabalho manual e intelectual são alguns dos fatores que interrompem o processo autorregulado de criação da forma, dificultando que surjam espontaneamente formas adequadas ao contexto. A divisão também contribui para a reprodução da desigualdade social já que ela é feita exatamente para extrair o lucro do trabalho na construção civil.

2.2.2 Controle do usuário

Além da desigualdade oriunda do processo construtivo, a arquitetura também contribui para a reprodução da desigualdade por meio do controle do comportamento das pessoas. Esse argumento se fundamenta no pressuposto que o diálogo entre pessoas de grupos sociais diferentes (classe, raça ou orientação sexual) é importante para reduzir a discriminação, criar empatia e promover a cooperação, construindo a base para uma transformação socioespacial. No entanto, grande parte dessas in-

26 Conselho Profissional são órgãos públicos criados pelo governo para regulamentar e fiscalizar o exercício de determinada profissão. Para exercer uma profissão que tenha um conselho, é necessário, além do diploma ou de outro documento equivalente, estar registrado e em dia com os pagamentos anuais do conselho. Os arquitetos são regulados pelo CAU (Conselho de Arquitetura e Urbanismo) e os engenheiros pelo CREA (Conselho Regional de Engenharia e Agronomia) e pela CONFEA (Conselho Federal de Engenharia e Agronomia).

27 Em 2001, o Plano Diretor Municipal se tornou obrigatório para todas as cidades brasileiras com mais de 20 mil habitantes.

28 “Art. 16. Alterações em trabalho de autoria de arquiteto e urbanista, tanto em projeto como em obra dele resultante, somente poderão ser feitas mediante comprovação do consentimento por escrito do autor original ou, se existirem, de todos os coautores originais.” (CAU/BR, 2013, p. 164).

terações diárias reproduzem a organização hierárquica e desdobram-se em alguma forma de opressão inconsciente; como acontece nas relações cotidianas entre patrão e empregado, garçom e cliente, morador e porteiro, nas quais um indivíduo está subordinado ao outro por questões culturais, sociais ou econômicas. Em vez de tais contatos proporcionarem momentos nos quais os participantes podem se conhecer e ter empatia pelo outro, eles permanecem fechados ao diálogo. Isso colabora para a manutenção de uma sociedade desigual politicamente e economicamente e inviabiliza a produção democrática do espaço. Apesar do desfecho desse convívio estar ligado a vários fatores culturais, a arquitetura tem um papel relevante, pois apresenta características que segregam pessoas de diferentes grupos sociais e moldam como elas devem se comportar, podendo conduzir a interação tanto para o diálogo (relação horizontal) como para a opressão.

O controle do comportamento do usuário pelo espaço se dá por meio de restrições espaciais físicas (materiais) e simbólicas (socioculturais), seja o espaço projetado por um arquiteto ou não. E também coopera para a reprodução da desigualdade social e para dificultar intervenções no espaço.

Fisicamente, a arquitetura controla os corpos, ora impedindo, ora permitindo a circulação e a ocupação dos espaços, criando e conectando ambientes, minimizando o efeito das variações externas no ambiente interno. Também pode restringir os usos pela ausência de recursos, dificultando que os usuários se apropriem e transformem o espaço. Um exemplo é a planta livre da arquitetura moderna que, apesar das poucas barreiras físicas, é restritiva pela ausência de recursos.

Simbolicamente, a arquitetura expressa as normas sociais por meio de códigos espaciais, indicando onde podemos ou não transitar, o que é público e o que é privado, como se vestir e como se comportar. Quando projetado por um arquiteto, o edifício é uma forma de comunicação entre ele e o usuário, ou indiretamente entre a sociedade e o usuário (sendo o arquiteto um intermediário). A dimensão simbólica é contextual, ou seja, o significado da mensagem varia conforme a cultura na qual o receptor está imerso.

As restrições físicas (ordens) e simbólicas (sugestões) operam simultaneamente e podem reduzir ou aumentar o engajamento necessário para realizar uma atividade. Por exemplo, um auditório prevê uma palestra, e uma mesa redonda antevê uma interação horizontal. É possível desobedecer essas regras espaciais e perverter o uso previsto realizando uma festa em um auditório ou proferindo um discurso em uma mesa redonda. No entanto, o engajamento necessário é maior se comparado a um

espaço adequado a esse tipo de apropriação.

As restrições espaciais delimitam as ações, influenciam os hábitos, controlam e normalizam as relações e regulam o comportamento. Tais restrições aparecem em todas as escalas: do acesso controlado pelo portão de um prédio às fronteiras de um país. Woods (1996, p. 280) faz uma afirmação um pouco exagerada mas que resume essa ideia: “[...] a cidade pode ser entendida como uma rede de espaços projetados que proíbem as interações sociais, os pensamentos e, se possível, até os sentimentos dos indivíduos.”²⁹

Arquitetura e sociedade são sistemas dinâmicos que se controlam circularmente. A primeira é produto do trabalho humano e, portanto, resultado de processos sociais; sendo que as relações sociais, em sua maioria, são formadas em meio à arquitetura.

A relevância da arquitetura para a formação da sociedade varia conforme o investimento material e simbólico de uma cultura na configuração do seu espaço físico. Na sociedade contemporânea, o investimento é grande e, por isso, o espaço tem uma importante contribuição na estruturação social, garantindo o cumprimento das regras, regulando os encontros e mediando a interação. A tradição arquitetônica estabelecida se fundamenta no controle de usos e no comportamento dos usuários. E os espaços projetados e funcionalmente determinados prescrevem as ações dos indivíduos, reduzem a liberdade de escolha, são incapazes de acompanhar a dinâmica dos acontecimentos e limitam os eventos possíveis.

A segregação dificulta o diálogo entre classes sociais distintas, privilegiando os encontros quando a interação é hierárquica. Nas grandes cidades brasileiras, a separação espacial é evidente. Caldeira (2014) explica que a consolidação das periferias manteve as classes sociais fisicamente separadas. O que inclusive garantiu que as residências de pessoas de diferentes classes sociais ficassem afastadas, tal como as áreas de consumo como shopping centers e regiões comerciais. Mesmo com essa separação, as pessoas de diferentes classes sociais se encontram diariamente, fruto, principalmente, da prestação de serviços como trabalhos domésticos ou na construção civil. Mas o encontro depende do deslocamento de ao menos uma delas, e o sentido desse fluxo é, em geral, das regiões ocupadas por segmentos de baixa renda para os locais de rendas média e alta. O deslocamento contrário raramente acontece (LACERDA; BERNARDINO, 2014, p. 205). Lacerda e Bernardino (2014, p. 205)

29 “The network of designed spaces, the city, is an intricate behavioral plan proscribing social interactions of every kind, and proscribing, therefore, the thoughts and, if possible, the feelings of individuals.” (WOODS, 1996, p. 280).

traçam um paralelo entre a mobilidade urbana atual e a circulação existente entre a casa grande e a senzala, observada no período escravocrata brasileiro: “[...] enquanto os escravos, sobretudo as mulheres, se deslocavam, embora não livremente, para exercer atividades domésticas na casa grande, os integrantes da família senhorial não frequentavam a senzala.” (LACERDA; BERNARDINO, 2014, p. 205).

O espaço físico também manifesta essas hierarquias e prescreve as interações na escala do edifício. Isso acontece, por exemplo, na separação entre as áreas de circulação e convivência de moradores e funcionários de um condomínio:

Quando a presença de pessoas de diferentes classes sociais coincidia, sempre foi possível criar sistemas perversos para regular encontros e garantir separações, sendo um dos mais cruéis deles o que duplicava e separava as áreas de circulação em edifícios entre a “social” e a “de serviço”. (CALDEIRA, 2014, p. 18).

Como esses acordos socioespaciais tácitos nem sempre são respeitados, existem instituições, entre elas a polícia, para fiscalizar o uso e reprimir ações não programadas que possam perturbar a ordem social. Um exemplo é a série de “rolezinhos” que ocorreram pelo Brasil em 2013. Como explicado por Abreu (2015), esses eventos, organizados nas redes sociais, foram encontros de centenas de jovens da periferia em shopping centers, em sua maioria periféricos, e parques públicos. A presença desses jovens, que buscavam um espaço seguro para se encontrar, perturbou a organização e as interações e normas prescritas pelo espaço (grupos pequenos de pessoas que frequentam o shopping para consumir), provocando um grande desconforto nos lojistas e na administração do shopping, que não souberam como agir.

Baseados em preconceitos, os lojistas acionaram a segurança particular do shopping e, em alguns casos a polícia, para conter a entrada ou expulsar os jovens. Apesar do medo de vandalismo e assaltos nos primeiros eventos, não houve nenhuma queixa de roubo registrada por parte das lojas. Ainda assim, os responsáveis pelos shoppings recorreram à Justiça e conseguiram obter autorização para proibir a entrada de jovens menores desacompanhados.

Por um lado, eventos como os “rolezinhos” promovem inconscientemente a contestação das autoridades constituídas e dos modos de regulação e separação preexistentes no cotidiano. Por outro lado, a resposta a tais situações, seja dos lojistas, seja dos frequentadores, seja das autoridades, é uma opressão consciente, embora pouco refletida, no intuito de não deixar abalar as bases da cidade estruturada para segregar e reproduzir desigualdades (CALDEIRA, 2014, p. 19). As relações de poder,

principalmente quando se desdobram em conflito, evidenciam os contrastes sociais, mas colocam os envolvidos em posições defensivas e fechados ao diálogo.

No entanto, nem todo espaço projetado é tão restritivo. Algumas áreas urbanas, como praças e parques, têm suas funções definidas com maior flexibilidade, proporcionando um ambiente para interações menos programadas entre as pessoas e entre elas e o ambiente. Mas nem sempre pessoas de classes sociais diferentes frequentam esses espaços, já que o acesso está normalmente condicionado à proximidade geográfica. Algumas exceções ocorrem, seja pela centralidade dos parques ou devido à ocupação informal (favelas) em áreas centrais da cidade ou de fronteira com bairros de classe média e alta. Tais ocupações acabam proporcionando a aproximação física de pessoas de classes sociais distintas, com reações diferentes em cada contexto.

O Parque Municipal de Belo Horizonte, por exemplo, é um local central onde apropriações não usuais por grupos de classe baixa foram reprimidas. Durante “rolezinhos” no parque, os jovens, embora libertos dos olhares repressores dos clientes e seguranças dos shoppings, eram vigiados à distância por guardas municipais e, em algumas ocasiões, revistados. Eventualmente, apareciam representantes do Juizado da Infância e da Juventude, que solicitavam a alguns jovens que deixassem o parque, sob pretexto de preservar a integridade física e psicológica da criança e do adolescente (ABREU, 2015).

O Parque da Barragem Santa Lúcia, também em Belo Horizonte, foi construído em um espaço residual entre a favela do Morro do Papagaio, cuja renda familiar é de até dois salários mínimos, e os bairros de classe média São Bento, Vila Paris, Santa Lúcia e Santo Antônio, cuja renda familiar varia entre 26 e 67,3 salários mínimos (LANSKY, 2012). O estudo realizado por Lansky (2012) relata alguns momentos nos quais há interação entre pessoas de classes sociais diferentes. Um deles acontece nas feiras semanais onde, em geral, os moradores do Morro são funcionários e os moradores do bairro são consumidores. Outro exemplo é o uso compartilhado dos aparelhos de ginástica por pessoas de diferentes classes sociais, que revezam, conversam e interagem nos intervalos. E o último exemplo é o Clube de Trocas, espaço da praça entorno da banca que diversas pessoas frequentam para trocar figurinhas adesivas. Esses encontros contam com a presença de pessoas de várias idades e origens; mas, como o jogo depende de um investimento financeiro, os jovens do Morro podem participar apenas mediante a doação de figurinhas por outras pessoas. Para os jovens e adultos ricos, o jogo tinha um fim em si mesmo; enquanto para al-

guns jovens do Morro, o objetivo era vender as figurinhas e conseguir algum dinheiro (LANSKY, 2012).

Ainda que o parque seja menos restritivo do que a maioria dos espaços funcionais da cidade, as interações tendem a reproduzir relações de poder. Um espaço menos determinista, por si só, não garante uma interação horizontal, pois a postura das pessoas é definida por uma combinação de fatores como a cultura e a linguagem.

Tanto os espaços públicos com os espaços privados dificultam o encontro e contribuem para que as interações cotidianas entre pessoas de classe social, gênero, raça ou orientação sexual distintas reproduzam a desigualdade, configurando relações assimétricas (luta de classes, machismo, racismo, homofobia). Essas interações assimétricas, por sua vez, colaboram para a manutenção da organização social e dos privilégios de determinados grupos.

As pessoas que usam o espaço, normalmente, não participam da sua elaboração. Esses locais projetados, funcionalmente determinados, prescrevem as ações e reduzem a liberdade de decisão. Mesmo que os futuros usuários estejam envolvidos no processo de concepção, é o arquiteto quem produz o desenho e tem controle sobre o resultado final, e as pessoas ficam à mercê das suas intenções.

Apesar de o arquiteto ter uma parcela de responsabilidade na criação dos espaços, ele é controlado por uma série de outros sistemas e traduz as demandas abstratas de instituições, empresas e grupos sociais em organização espacial. Seus movimentos são, na maioria das vezes, programados, e ele acaba se tornando “[...] um funcionário em uma cadeia de comando, cuja tarefa mais importante, do ponto de vista das instituições sociais, é rotular espaços que antes eram abstratos e sem sentido, determinando suas funções e indicando aos usuários como se comportar”³⁰ (WOODS, 1996, p. 279, tradução nossa). Quanto mais as decisões sobre o espaço ficam concentradas nas mãos de um único grupo social, seja por meio de determinações legais, seja pelo projeto do arquiteto, mais o espaço tende a refletir os interesses desse grupo e favorecer a manutenção da desigualdade.

Uma arquitetura mais restritiva, na escala do edifício ou da cidade, desencoraja os habitantes a se engajarem em transformações espaciais, impedindo que a produção da forma aconteça num processo autorregulado. As restrições também auxiliam

30 “The architect is a functionary in a chain of command whose most important task (from the standpoint of social institutions) is to label otherwise abstract and “meaningless” spaces with “functions,” that are actually instructions to people as to how they must behave at a particular place and time” (WOODS, 1996, p. 279).

a manutenção da sociedade tal qual ela é³¹, pois aumentam o engajamento necessário para o comportamento de maneira não programada.

Aqueles que visam à criação de uma sociedade democrática devem buscar o desenvolvimento de espaços que possibilitam a comunicação horizontal entre indivíduos, abrindo “[...] campo para diálogos que perturbem os discursos entorpecentes” (FLUSSER, 2008, p. 67). No entanto, apenas a arquitetura não é suficiente para que se estabeleçam diálogos, já que não existe nada funcionalmente libertário por natureza.

Liberdade é uma prática³² (FOUCAULT, 1982, n.p., tradução nossa). Estruturas livres estão sujeitas a serem usadas como meio para reprodução das relações de poder e serão utilizadas dessa maneira, visto que como é impossível se posicionar criticamente no tocante a todas as ações cotidianas, acabamos agindo automaticamente e reproduzindo o *status quo*. Por isso, espaços abertos como um parque podem ser usados para relações opressivas. Também é possível – porém, exige maior engajamento – promover uma prática libertária dentro de uma estrutura hierárquica, por exemplo, utilizar uma prisão como espaço comunitário. Portanto, surgirão mais efeitos positivos quando houver convergência entre uma estrutura com potencial libertador e uma prática dos usuários voltada para o exercício da sua liberdade.

2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

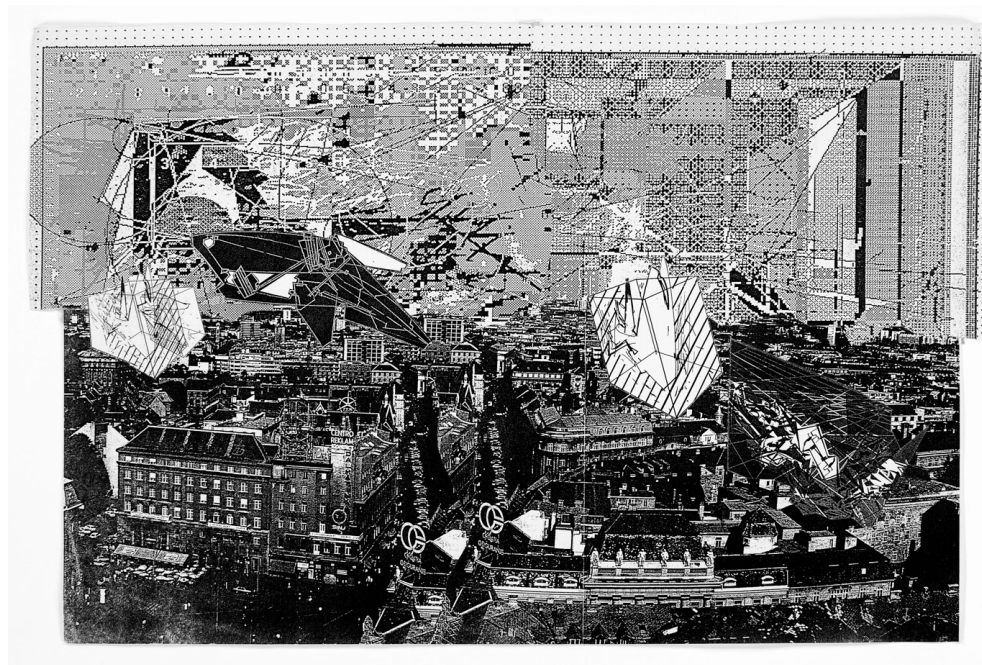
Na sociedade autoconsciente em que vivemos, os padrões sociais, a cultura e a tecnologia se transformam cada vez mais rapidamente. Isso se reflete nos problemas espaciais que aumentam em quantidade, complexidade e dificuldade. A inadequação espacial afeta de maneira diferente cada classe social.

Apesar dos problemas mencionados, oriundos da divisão do trabalho, o progresso tecnológico é irreversível e trouxe muitos benefícios, como materiais e técnicas construtivas mais eficientes, novas formas de expressão estética e automação de tarefas manuais. Mesmo que seja desejável voltar para um modo de produção vernacular, talvez, isso não seja possível diante da especialização e divisão de tarefas. Na sociedade atual, para criar e manter relações adaptadas entre arquitetura e contexto e produzir mudanças sociais, é necessário repensar o modo de produção

31 “While architects speak of designing space that satisfies humans needs, it is actually human needs that are being shaped to satisfy designed space and abstract systems of thought and organization which design is based” (WOODS, 1996, p. 279).

32 “[...] I think that it can never be inherent in the structure of things to guarantee the exercise of freedom. The guarantee of freedom is freedom” (FOUCAULT, 1982, n.p.).

FIGURA 5 – Lebbeus Woods, 1991. Zagreb Free-Zone.



FONTE: Woods (1996, p. 287). Disponível em: <archpaper.com/2016/07/lebbeus-woods-zagreb-free-zone>. Acesso em: 08 set. 2018.

do espaço a fim de tornar o processo novamente autorregulado. Isso somente será possível diminuindo as restrições físicas e simbólicas que aumentam a resistência à transformação.

Uma das formas de reduzir as restrições físicas da arquitetura é substituir sistemas rígidos, como alvenaria estrutural e concreto armado, por processos construtivos modulares que podem ser facilmente montados, desmontados e reutilizados. Outra maneira seria criar e implementar novos elementos móveis (para além das portas e janelas) que possibilitem uma adequação, mesmo que limitada, do espaço.

Com vistas a mitigar as barreiras simbólicas, é necessário deixar de rotular os espaços determinando seu uso. Uma arquitetura indeterminada pode minimizar o controle dos habitantes e diminuir a exploração no canteiro, já que os próprios usuários vão transformar o espaço.

Woods (1996) sugere a criação de *freespaces* (FIGURA 5), zonas onde a interação entre os indivíduos não é preestabelecida e a espacialidade não convencional demanda uma postura ativa do usuário, que precisa inventar novas atividades e novas maneiras de ocupar o lugar. Assim, o espaço, além de ser livre de significados e propósitos predeterminados, propõe às pessoas que repensem suas práticas. No en-

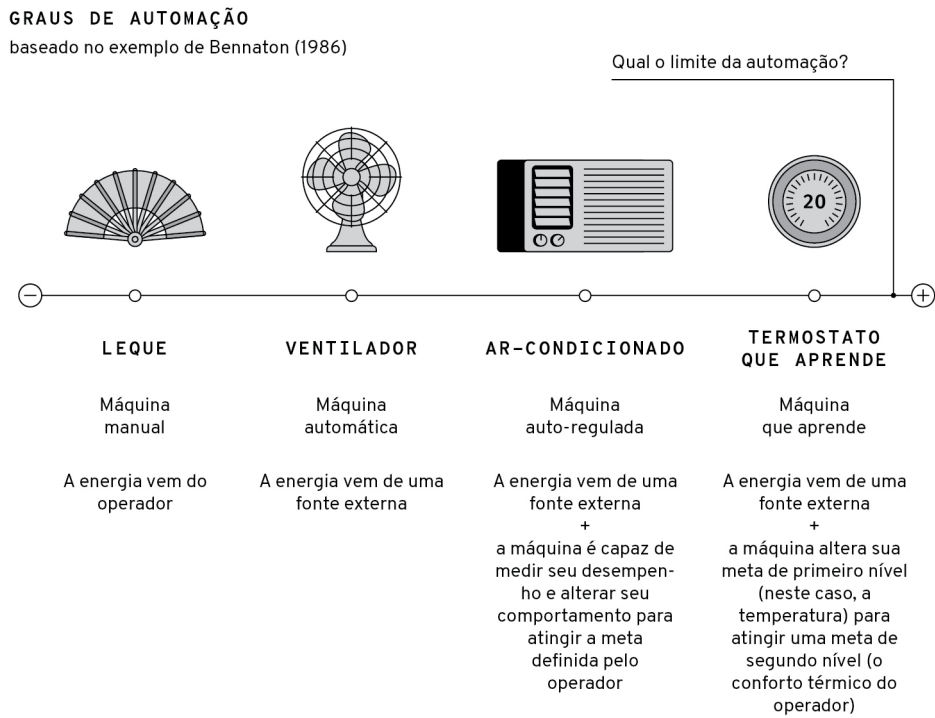
tanto, Woods não questiona o processo de produção e, como atua mais na dimensão simbólica, proporciona apenas um aumento parcial da adaptabilidade.

Para a elevar a adaptabilidade do espaço, o arquiteto deve mudar a forma como encara a arquitetura. Ele precisa enxergá-la não como um espaço acabado, mas como uma ferramenta que auxilia pessoas sem conhecimento técnico a produzirem seus próprios espaços transitórios, que podem ser constantemente transformados. Desafiando o modelo de produção e consumo, que coloca distinções firmes entre o projetista, o cliente, o proprietário e o mero ocupante. Embora o arquiteto esteja submetido a várias forças e não possa propor o que quiser, tais formas de controle nem sempre são claras e a interdependência das variáveis espaciais gera diversas contradições. Por isso, ele tem certa liberdade para subverter a lógica imposta.

Essas mudanças afetam, principalmente, os modos que incluem o arquiteto, mas também se refletem na autoconstrução, já que o desenvolvimento de ferramentas de projeto, técnicas e materiais de construção compatíveis com um processo autorregulado poderiam ser absorvidos pelo mercado e disponibilizados para todas as pessoas, barateando, ainda, o serviço do arquiteto. Claro que isso não depende apenas do desenvolvimento tecnológico, mas também de interesses econômicos e políticos, que poderiam restringir o acesso.

Nos próximos capítulos, abordo como a automação, principalmente por meio do computador, está inserida no processo de produção do espaço, destacando quando ela aponta para continuidade do sistema como ele é e quando assinala para sua transformação.

FIGURA 6 – Graus de não-participação humana ou graus de automação.



FONTE: elaboração própria baseado no exemplo de Bennaton (1986, p. 51–55).

3 MÁQUINAS AUTOMÁTICAS

O capítulo anterior trata de duas questões: a reprodução da desigualdade social por meio da exploração da mão de obra no canteiro e do controle do comportamento do usuário; e a origem da baixa qualidade de ajuste da arquitetura nas grandes cidades. Neste capítulo, o foco é a automação, outro conceito também apresentado na introdução. A definição do termo é destrinchada, e suas consequências são discutidas de maneira geral para, no capítulo seguinte, abordar especificamente a automação da arquitetura.

3.1 GRAUS DE AUTOMAÇÃO

Embora seja comum associar a ideia de automação a processos altamente tecnológicos que envolvem robôs e computadores avançados, o conceito é um pouco mais abrangente. Em linhas gerais, quanto maior o grau de automação de uma tecnologia, menor a assistência humana necessária para seu funcionamento ou mais indireta é a participação do homem (BENNATON, 1986).

Estamos cercados por dispositivos automáticos, assim, sua origem é bem anterior ao computador, que automatiza procedimentos intelectuais por meio de cálculos matemáticos e operações lógicas. Sua origem remonta à automação de procedimentos puramente mecânicos, que existem desde que o homem aprendeu a converter as forças da natureza, como o vento e a correnteza, em força motriz para que, por exemplo, o moinho transforme grãos em farinha, irrigue arrozais e drene terras alagadas.

Para ilustrar essa diferença, Bennaton (1986) compara o leque, o ventilador e o ar-condicionado (FIGURA 6). As três são máquinas equivalentes, ou seja, projeta-

das para a mesma finalidade que, nesse caso, é reduzir a sensação de calor. O que as distingue, além de sua forma física, é o seu grau de automação. Acrescentei à escala de Bennaton o termostato que aprende, um dispositivo acoplado à sistemas de climatização (ar-condicionado ou calefação) e que pode ser considerado um grau superior de automação.

Na ordem apresentada, essas máquinas revelam um índice crescente de automação e, ao mesmo tempo, indicam uma redução da responsabilidade humana para seu funcionamento. É possível distinguir alguns graus de automação de um procedimento. O leque, assim como outras ferramentas, está no primeiro estágio, pois sua operação depende do discernimento e da força física humana. Já o ventilador encontra-se em uma etapa posterior, pois o ser humano deixa de atuar como elemento motriz mas mantém o controle sobre a máquina, já que ele pode e precisa ligá-lo e desligá-lo, mudar sua posição e orientação. No caso do ar-condicionado, a desvinculação humana é ainda maior, visto que a própria máquina administra seu comportamento, aumentando ou diminuindo a intensidade de funcionamento para conservar a temperatura na meta definida mesmo diante de perturbações externas. O termostato que aprende é diferente do ar-condicionado porque sua meta é definida pela própria máquina de acordo com a “observação” do comportamento das pessoas.

Como Bennaton não incluiu esse último grau, não generalizou as definições e nem nomeou as fases, recorri a alguns termos que Dubberly *et al.* (2009) utilizam para definir o funcionamento dos sistemas. A classificação de sistemas proposta por Dubberly *et al.* (2009) foi resumida em três grupos que atendem à necessidade dessa pesquisa: sistema linear, sistema autorregulado e sistema que aprende.

Como sistema é um termo amplo que se refere tanto a engenhos construídos por humanos como a organismos biológicos, optei por trocá-lo por máquina, referindo exclusivamente a construções humanas, além de ser a palavra empregada por Bennaton (1986) no título do capítulo que fala sobre automação.³³ Máquina é entendida em seu sentido amplo, como qualquer dispositivo usado para realizar uma tarefa ou, como colocado por Beer (1959, p. 25), “[...] qualquer sistema com propósito”.³⁴ Nesse caso, as categorias seriam: máquinas lineares (como o ventilador), máquinas autorreguladas (como o aparelho de ar-condicionado) e máquinas que aprendem

33 Embora o termo “máquina biológica” possa ser encontrado em alguns textos, ele normalmente se refere a sistemas biológicos artificiais ou é usado como analogia para facilitar o entendimento de sistemas biológicos a partir das máquinas.

34 “By now it will be clear that we are using the word ‘machine’ as a name for any purposive system.” (BEER, 1959, p. 25).

(como o termostato que aprende). Para incluir o leque e outras ferramentas, adicionei ao início da escala a categoria máquinas manuais. Dubberly *et al.* (2009) propõem a categoria sistemas estáticos que são definidos como aqueles que não podem agir no ambiente. Prefiro o termo “manual”, pois enfatiza que a máquina precisa ser operada em detrimento do termo “estático” o qual destaca que ela é inerte.

Os engenhos que ocupam o **grau zero**³⁵ da escala de automação, ou seja, a ausência de automação, são chamados de **máquinas manuais**. Eles se caracterizam por dependerem tanto do discernimento como da força física humana, ou seja, o operador é a principal fonte de energia para executar o trabalho. Essa categoria engloba os utensílios e as ferramentas que estendem as capacidades humanas (BENNATON, 1986, p. 56) mas são estáticos, ou seja, não podem agir. Por isso, sozinhos, eles têm pouco ou nenhum efeito no ambiente. Alguns estendem os sensores humanos: a balança permite fazer medidas mais precisas; a luneta possibilita enxergar mais longe; e o microscópio, a ver mais detalhes. Outros incluem os atuadores humanos: o leque transforma o movimento do braço em brisa para refrescar; a alavanca multiplica a força aplicada a ela; e a bicicleta possibilita o deslocamento em velocidades maiores do que a pé e gastando menos energia.

Do **primeiro grau em diante**, os mecanismos são sistemas dinâmicos, ou seja, eles podem agir e alterar sua relação com o ambiente que o cerca. São considerados **máquinas automáticas**, pois o homem deixa de ser a força motriz (fonte primária de energia) mas mantém o controle total sobre suas ações. Por exemplo, a energia exigida para que o ventilador gire e refresque o ambiente provém da rede elétrica, mas ainda é necessário alguém para ligar e desligar, escolher a velocidade, sua posição e orientação. Assim como o ventilador, a furadeira é alimentada pela energia elétrica, mas o operador liga e desliga, controla a intensidade e a direção do giro e ainda precisa pressioná-la contra a superfície que será furada, demandando um pouco mais da força física humana.

Máquinas de **primeiro grau** são chamadas de **máquinas lineares**, caracterizadas por não sentirem o efeito que produzem no ambiente. Dessa forma, não podem verificar seu desempenho e corrigir sua ação. Para que o ciclo de retroação (*feedback*) esteja completo, é necessário incluir o componente humano que controla o processo. Uma moto, por exemplo, transforma a energia potencial do combustível

35 Como colocado por Ashby (1960, p. 15): para integrar uma escala, podemos tratar a ausência de um atributo como sua presença em grau zero. “Por exemplo, ‘ar parado’ pode ser convertido em vento soprando a 0 km/h, e ‘escuridão’ pode ser convertida em iluminação de 0 lumens”. (ASHBY, 1960, p. 15, tradução nossa).

(gasolina, diesel ou álcool) em movimento mas carece de um condutor para mantê-la de pé e guiá-la, cabe ao motorista examinar a pista, os outros veículos, as pessoas, os indicadores no painel e as placas para tomar decisões e fazer ajustes na direção.

Máquinas de **segundo grau** são denominadas **máquinas autorreguladas**, definidas por sentirem o efeito que produzem no ambiente. Dessa forma, podem alterar sua ação para atingir uma meta. Nelas, os dispositivos de controle determinam o comportamento do atuador com base em informações coletadas pelos sensores. O ciclo de retroação (*feedback*) fecha-se na própria máquina.

Compare o ventilador com o ar-condicionado. Os ventiladores, depois de ligados, funcionam ininterruptamente e, quando esfria muito, é necessário levantar para desligá-los. Já o ar-condicionado faz isso sem a necessidade de intervenção humana, desliga quando a temperatura atinge a meta definida e religa caso ela suba além de certos limites. Para isso, basta que o operador determine o valor desejado (BENNETT, 1986).

Dispositivos como o ar-condicionado que mantém constante a temperatura de determinado sistema são chamados de termostatos. Outros exemplos são a geladeira e os aquecedores de ar e de água. Seu modo de operação é simples e semelhante aos processos homeostáticos que realizam o controle térmico dos seres vivos. Os termostatos possuem sensores que detectam quando a temperatura desvia do desejado e enviam um sinal que interrompe ou ativa a ação de um atuador que, no caso do ar-condicionado, é simplesmente um motor elétrico.

Outro exemplo de máquina autorregulada é o piloto automático usado em navios e aviões. Em geral, o operador do sistema estabelece os limites de algumas variáveis, e diversos mecanismos agem para corrigir eventuais erros. No caso do navio, o piloto estipula a velocidade e a direção que ele deve seguir. Uma bússola detecta desvios que podem ser causados pelo movimento do mar e pelo vento e move o leme para ajustar sua direção. Já no avião, além da direção e da velocidade, o piloto automático mantém estável a altitude e a inclinação vertical e horizontal. Para isso, ele conta com sensores como barômetro (medidor de pressão), giroscópio (deslocamento para os lados) e girômetro (inclinação para a frente ou para trás) e controla o leme (que altera a guinada), o profundor (que muda a altitude) e os ailerons (que modificam a inclinação lateral). O piloto automático não substitui os pilotos humanos, ele apenas automatiza tarefas repetitivas e cansativas, deixando-os livres para se concentrarem nas operações mais amplas, como monitorar a trajetória, o clima e o funcionamento dos sistemas.

Existem tantos mecanismos automáticos presentes no cotidiano que quase não nos damos conta. A boia e o extravasor, por exemplo, atuam para manter constante o nível da caixa d'água. A boia é o sensor que mede o nível; quando ele cai, ela abre uma válvula para entrada de água. Já o extravasor remove a água caso ela ultrapasse o limite. Há, também, os postes de iluminação pública que possuem sensores de luminosidade que acendem a lâmpada quando o ambiente está escuro. Por fim, existe a válvula das panelas que libera o vapor quando a pressão ultrapassa certo limite, mantendo-a constante (BENNATON, 1986, p. 52).

Máquinas de **terceiro grau** são nomeadas como **máquinas que aprendem**, que se configuram por terem pelo menos dois ciclos de retroação (*feedback*) encadeados. A diferença entre máquinas autorreguladas e máquinas que aprendem é o tipo de adaptação. Ambas possuem comportamentos adaptativos, ou seja, buscam estabilidade em um ambiente dinâmico. No entanto, os mecanismos de adaptação têm naturezas diferentes. As máquinas autorreguladas são análogas aos mecanismos adaptativos de nascença, ou seja, os reflexos do nosso corpo, como tremer quando faz frio para manter a temperatura do corpo estável. Já as máquinas que aprendem são análogas aos mecanismos que desenvolvemos durante a vida.

Apesar dos exemplos citados até agora serem de máquinas simples (com um único *input*, *output* e meta), as máquinas podem ser compostas de múltiplas máquinas de diferentes graus, diversos *inputs*, *outputs* e metas. Assim, uma máquina que aprende pode conter vários sistemas autorregulados e lineares e, ao testar cada um na tentativa de alcançar sua meta, ela aprende como suas ações afetam o ambiente. Nesse caso, aprender significa saber qual sistema tem o melhor desempenho ao combater cada distúrbio com base em experiências passadas³⁶ (DUBBERLY *et al.*, 2009, p. 72).

Em tese, não há limites para a automação de um procedimento, sendo possível criar máquinas cada vez mais autossuficientes, que poderiam procurar fontes de energia, melhorar seu desempenho, produzir outras máquinas e até mesmo se reproduzir.

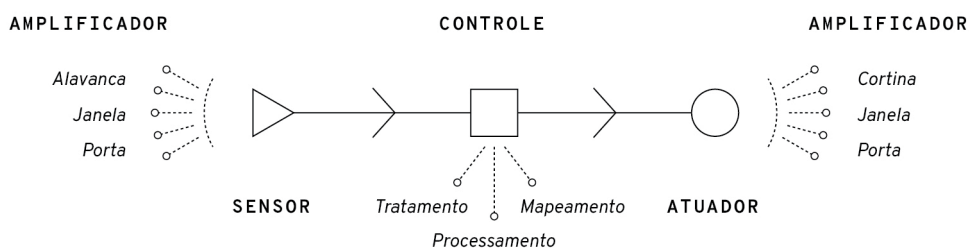
36 "Some learning systems nest multiple self-regulating systems at the first level. In pursuing its own goal, the second-order system may choose which first-order systems to activate. As the second-order system pursues its goal and tests options, it learns how its actions affect the environment. 'Learning' means knowing which first-order systems can counter which disturbances by remembering those that succeeded in the past." (DUBBERLY *et al.*, 2009, p. 72).

3.2 ANATOMIA DE UMA MÁQUINA AUTOMÁTICA

Toda máquina é composta por diversas partes (FIGURA 7) e, para compreendê-las, é possível traçar uma analogia com os animais. O entendimento de um bicho sobre o ambiente onde ele se encontra é limitado pelos seus sentidos, percebendo apenas parte da realidade. O ambiente ao redor, portanto, é o que seus sentidos apontam. Se posso enxergar, o ambiente tem distância, cor e forma. Se posso tocar, o ambiente tem textura, volume e obstáculo. Se posso ouvir, o ambiente tem som. Se posso cheirar, o ambiente tem odor. Nossos sentidos são complexos e múltiplos, e nossas sensações são combinações entre as possibilidades oferecidas por eles. Alguns animais apresentam órgãos mais sensíveis e outros menos, mudando também sua percepção do ambiente. Diferente dos outros animais, o ser humano desenvolveu ferramentas que ampliam seus sentidos naturais (por exemplo, sensores de raios infravermelhos e ultravioletas, que enxergam além do nosso espectro visível e traduzem as informações para nossos sentidos limitados).

As máquinas também possuem sentidos que nós chamamos de **sensores**. Em sistemas eletrônicos, sensores são dispositivos que traduzem estímulo físico ou químico em estímulo elétrico. Em geral, os sentidos das máquinas são muito mais simples do que os nossos, portanto, elas “percebem” o ambiente de maneira mais limitada. A situação mais extrema é uma máquina que somente consegue entender dois estados do mundo, como é o caso do abajur que se comunica com o mundo através de um botão que pode estar ligado ou desligado. Outras possuem *inputs* mais ricos capazes de captar uma gama maior de sensações, como câmeras e microfones. Apesar de muitos serem mais limitados que as capacidades humanas, alguns sen-

FIGURA 7 – Anatomia de uma máquina automática.



FONTE: elaboração própria.

sores conseguem extrapolar nossos sentidos, como uma câmera que capta radiação infravermelha, uma máquina que detecta o raio x ou a bússola que sente a direção de campos magnéticos. Os sensores que identificam apenas dois estados, ligado ou desligado, são chamados de sensores digitais ou binários; e os sensores que captam um intervalo contínuo entre um valor máximo e um valor mínimo são denominados sensores analógicos ou sensores de intensidade.

Também possuímos órgãos que nos permitem agir no ambiente. Minhas pernas possibilitam que eu me mova. Minhas mãos e meus braços garantem que eu agarre e manipule objetos. Os músculos da minha garganta e minha língua viabilizam que eu fale. Além disso, os humanos desenvolveram ferramentas para ampliar sua ação:

Instrumentos são prolongações de órgãos do corpo: dentes, dedos, braços, mãos prolongados. Por serem prolongações, alcançam mais longe e fundo a natureza, são mais poderosos e eficientes. Os instrumentos simulam o órgão que prolongam: a enxada, o dente; a flecha, o dedo; o martelo, o punho. (FLUSSER, 1985, p. 11).

As máquinas também possuem partes que ensinam que elas manipulem e transformem o ambiente, as quais chamamos de **atuadores**. Em sistemas eletrônicos, atuadores são dispositivos que traduzem estímulos elétricos em estímulo físico ou químico. Assim como os sensores, os atuadores podem ser categorizados em analógicos e digitais (ou binários), e alguns deles podem superar nossas capacidades. Os motores usados em carros, guindastes e tratores, por exemplo, superam nossa força física. Outro exemplo são aparelhos de som capazes de emitir frequências inaudíveis para um humano. Porém, existem algumas habilidades humanas que ainda não foram superadas pelos atuadores robóticos, como nossa refinada capacidade motora.

Por fim, existe algo que conecta os sensores aos atuadores. No nosso caso, é o sistema nervoso, principalmente o cérebro, que interpreta o que sentimos e coordena nossas ações. O sistema nervoso das máquinas é chamado de controlador ou processador e pode ser um sistema mecânico, como um conjunto de engrenagens (ex.: o Mecanismo de Antikythera, a Máquina Analítica de Babbage ou uma caixa de música), elétrico ou eletrônico (como no computador moderno).

O comportamento de alguns processadores é fixo, determinado na sua construção. Outros, como o computador eletrônico, podem ser reprogramados, mudando sua conduta e seu desempenho de acordo com o algoritmo instalado pelo usuário. O nosso cérebro e o nosso sistema nervoso representam uma mistura dos dois. Parte das suas conexões é determinada e fixa, e parte delas é flexível e programável.

Diferente do computador, nosso cérebro não pode ser programado por uma pessoa externa, mas ele tem a capacidade de se autoprogramar. Inspirado por esse comportamento, foram criadas as máquinas que aprendem, como o Homeostato construído por Ashby.

3.3 HOMEOSTATO

O **homeostato** é uma máquina eletromecânica construída por W. Ross Ashby (1903-1972), em 1948, no Barnwood House Hospital, para demonstrar os mecanismos que possibilitam ao cérebro aprender. Em linhas gerais, o dispositivo é capaz de se adaptar automaticamente às variações no ambiente por meio da reorganização interna, mantendo sua homeostase e exibindo procedimentos como hábito, reforço e aprendizado. A motivação para construir a máquina era entender como um organismo passa de um comportamento não adaptado para um comportamento adaptado. Ou seja, como uma máquina é capaz de alterar sua própria organização, assim como ocorre no cérebro.

Por exemplo, o termostato tem um sensor que mede a temperatura do ambiente e um atuador que altera a temperatura. Em seu funcionamento correto, o *feedback* é negativo (balanceamento), ou seja, quando a temperatura destoa da meta, o sistema age para neutralizar a perturbação. No caso de um aquecedor, se a temperatura cai abaixo da meta, ele liga; e quando ela sobe, ele desliga. No caso do ar-condicionado, se a temperatura subir acima da meta, ele liga; e se ela cai abaixo da meta, ele desliga.

Mas imagine que o técnico cometa um erro durante a instalação e inverta os fios fazendo com que o sistema tenha o comportamento oposto ao desejado, ou seja, o *feedback* positivo. Se a temperatura fica acima da meta, ele liga o aquecedor, aumentando-a ainda mais. Ou se a temperatura fica abaixo do estipulado, ele liga o ar-condicionado, reduzindo-a ainda mais. Em ambas as situações, a temperatura chegaria em limites extremos até que as máquinas parassem de funcionar ou alguém as desligue e conserte o erro.

O funcionamento do termostato depende da forma como o sensor está conectado ao atuador e, nesse caso, a conexão é fixa e decidida pelo fabricante ou pelo técnico que faz a instalação. A questão que levou Ashby ao desenvolvimento do homeostato é como desenvolver uma máquina que não tenha o comportamento determinado na fabricação, mas que teste e avalie diferentes ações até alcançar sua meta.

Os animais têm diversos sensores e atuadores conectados pelo sistema nervoso. Para o comportamento inato (ou instintivo), as conexões são determinadas pelo código genético, análogo ao do termostato com uma formatação fixa de fábrica. “No cérebro de um inseto, todas as variações que nasceram com a retroação (*feedback*) erradas foram eliminados pela seleção natural tempos atrás”³⁷ (ASHBY, 1949, p. 77, tradução nossa).

No comportamento aprendido, presente principalmente nos mamíferos, a ligação entre os sensores e os atuadores é parcialmente caótica no início e temporariamente fixada e reforçada pela experiência. Seu cérebro “[...] tem uma capacidade difusa de desencadear algum tipo de adaptação a uma variedade indefinida de circunstâncias”³⁸ (ASHBY, 1949, p. 77, tradução nossa). Em seu sistema nervoso, grande parte da retroação é deixada, a princípio, não decidida, pois é a experiência e não as características de nascença (genética) que determinam a retroação. “Dessa forma um gato pode aprender a ir em direção à carne vermelha (*feedback* negativo), mas se afastar de brasas vermelhas (*feedback* positivo)”³⁹ (ASHBY, 1949, p. 77, tradução nossa).

Ashby (1960, p. 80) propõe que seria possível construir uma máquina semelhante ao cérebro utilizando um *feedback* duplo, chamada por ele de sistema ultraestável (ASHBY, 1960). O *feedback* duplo consiste em dois sistemas autorregulados, sendo que um deles controla a meta do outro: o primeiro nível é um sistema autorregulado como os descritos anteriormente, que assegura a estabilidade de alguma variável se contrapondo às interferências externas; o segundo controla o primeiro e, em ritmo mais lento, confere ao sistema um segundo grau de estabilidade, modificando os parâmetros do regulador.

A capacidade de adaptação do sistema depende de dois fatores (ASHBY, 1949, p. 77): (i) objetivos permanentes (condições essenciais para sua existência) que podem ser alcançados em diversas circunstâncias, encontrando caminhos em caso de bloqueios ou mudando seus métodos de acordo com o contexto; e (ii) mecanismos de *feedback* negativo.

O homeostato construído por Ashby é composto de quatro unidades. Cada uma

37 “In the brain of an insect, all variations born with wrong feedbacks were eliminated by natural selection ages ago.” (ASHBY, 1949, p. 77).

38 “The brain of a mammal is of more interest to us, for it has a diffuse ability to puzzle out some sort of adaptation to an indefinitely large variety of circumstances.” (ASHBY, 1949, p. 77).

39 “But in the higher animals the position is different. Large numbers of the feedbacks are left at first undecided, since it is experience and not the inborn (genetic) characters which are to determine the feedbacks. Thus, a cat may have to learn to go towards red meat (negative feedback), but to go away from red embers (positive feedback).” (ASHBY, 1949, p. 77).

contém um ímã pivotante, e o seu desvio angular da posição central é sua variável essencial⁴⁰. A saída (*output*) de cada item é uma corrente elétrica proporcional ao desvio angular do ímã. A entrada (*input*) de cada elemento é o *output* das outras unidades e da sua própria. Os *inputs* alimentam bobinas que geram campos magnéticos e fazem o ímã se mover. O torque no ímã é aproximadamente proporcional à soma algébrica das correntes dos *inputs*. Quando ligados, os ímãs se movem de acordo com a corrente vinda das outras unidades. Com esse movimento, eles alteram seu próprio *output*; o que leva à deflexão dos ímãs e à mudança do *output* das outras unidades que, por sua vez, afetam o seu *input* e assim por diante.

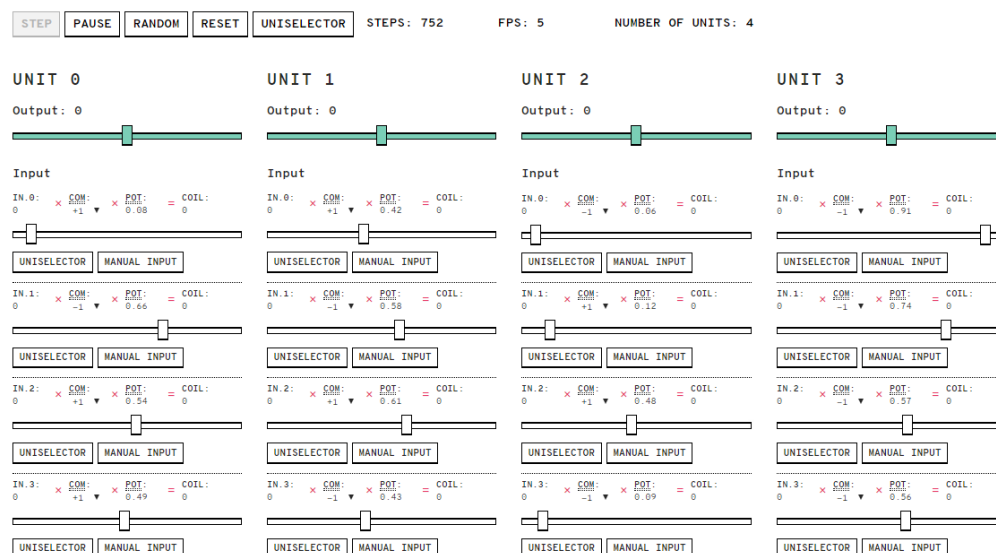
As entradas podem ser balanceadas de duas formas. A primeira é pelo uso de um potenciômetro (o qual determina a porcentagem da corrente que irá passar) e um comutador (que determina a polaridade de entrada na bobina, ou seja, se é positiva ou negativa). O potenciômetro e o comutador são os parâmetros internos do sistema. Para evitar que a variável central ultrapasse os limites desejáveis, é possível balancear os *inputs* manualmente alterando o potenciômetro e o comutador. Esse tipo de operação seria similar a reprogramar um computador.

No entanto, há também uma forma automática de balancear. O *uniselector* (em português: telerruptor, relé de passo ou relés de impulso) é um tipo de interruptor que possui uma sequência de estados em vez dos típicos dois estados (ligado e desligado). A cada pulso de energia, ele se move para o próximo passo da sequência. Nesse caso, os estados são equivalentes à combinação entre um estado do potenciômetro e um estado do comutador. Assim que a deflexão do ímã atinge certo limite, um pulso elétrico é enviado ao *uniselector*⁴¹ que se move para o próximo passo, modificando a porcentagem e a polaridade que um dos *inputs* chega à bobina.

Se estiver usando os *uniselectors*, cada unidade do homeostato se adapta automaticamente para que sua variável essencial não ultrapasse os limites definidos. Por isso, o homeostato é uma máquina que simula o comportamento de sistemas adaptativos como organismos vivos. Suponha que uma unidade do homeostato re-

40 Para organismos uma variável essencial, é um índice fisiológico que deve ser mantido dentro de certos limites para que eles continuem vivos. O corpo humano, por exemplo, precisa manter níveis mais ou menos constantes de água, sal, açúcar, proteína, gordura, cálcio e oxigênio no sangue e de temperatura corporal (ASHBY, 1960).

41 Um interruptor de passo básico é um mecanismo de rotação operado eletricamente com um único terminal de *input* e múltiplos terminais de *output*. O terminal de *input* se conecta ao terminal de *output* através de um braço de contato rotativo. A “distância” entre uma posição e sua consecutiva é chamada de passo. Usando a terminologia tradicional, este é um interruptor de eixo único de múltiplas posições. Um eletroímã move o braço para o próximo passo quando alimentado com um pulso de corrente contínua. Ao chegar à última posição, ele retorna ao início. Apesar de a maioria ser unidirecional, existem, também, *uniselectors* que se movem nas duas direções.

FIGURA 8 – Captura de tela do simulador desenvolvido com base no homeostato do Ashby.

FONTE: acervo do autor.

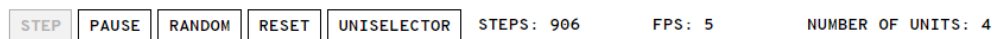
presente um ser humano e outra simbolize o ambiente que o circunda. A interação entre eles provoca distúrbios, e seus parâmetros internos se modificam para evitar que suas variáveis essenciais alcancem os limites fatais.

3.4 SIMULADOR DO HOMEOSTATO

A ideia do Homeostato é interessante, mas apenas a sua descrição textual e os diagramas não foram suficientes para que eu compreendesse todo o funcionamento desse sistema dinâmico com tantas interações simultâneas. Assim como Ashby construiu o Homeostato para entender o cérebro, imaginei que seria uma boa ideia desenvolver um simulador para conceber melhor o Homeostato.

Foram consultados o livro “Design for a brain” (1954) e o artigo “The Eletronic Brain” (1949), publicado na revista Radio-Electronics, ambos escritos por Ashby. O artigo para o periódico foi usado como referência principal por ser voltado para um público mais abrangente e ter uma linguagem mais acessível.

O simulador (FIGURA 8) foi desenvolvido utilizando tecnologias populares para o desenvolvimento de sites e aplicativos para navegadores de internet por dois motivos principais: o primeiro é que já estou familiarizado com as linguagens; o segundo é que essas tecnologias contam com diversos recursos gráficos que são simples de implementar e foram empregados para criar os elementos que representam as agu-

FIGURA 9 – Captura de tela do menu do simulador de homeostato.

FONTE: acervo do autor.

lhas e os potenciômetros das unidades do homeostato. As linguagens empregadas foram HTML⁴², CSS⁴³ e JavaScript⁴⁴. Com o HTML e o CSS foi criada a interface gráfica e com o JavaScript as interações, animações da interface e as operações matemáticas e lógicas. Também foi utilizado jQuery, uma biblioteca de funções JavaScript. O simulador está disponível em: <estevamgomes.github.io/cybernetics/content/homeostat.html>.

A interface pode ser dividida em duas partes: uma barra superior na qual é possível controlar as características do simulador; e uma área inferior em que estão as unidades. As funções dos botões da barra superior (FIGURA 9) são (da esquerda para a direita): o primeiro executa um passo do código (e apenas fica ativo quando a simulação está pausada); o segundo pausa ou reproduz a simulação; o terceiro altera os valores de todos os potenciômetros e comutadores; o quarto faz a interface voltar ao seu estado inicial (com todos os *uniselectors* desligados, os comutadores com valor 1 e potenciômetros com valor 1); o quinto liga todos os *uniselectors*.

Após os botões, há alguns mostradores. Da esquerda para direita: o primeiro exibe o número de passos executados desde o início da simulação; o segundo mostra a velocidade medida em fps (frames por segundo), ou seja, número de passos por segundo que a simulação irá executar; o terceiro indica o número de unidades do homeostato que serão simuladas (o padrão é 4). O segundo e o terceiro mostradores

42 HTML (*HyperText Markup Language*) é a linguagem de marcação de hipertexto padrão usada para criar páginas e aplicativos na web. O HTML serve para descrever a estrutura de um documento semanticamente. Originalmente, ele também incluía instruções para determinar a aparência, mas, nesse quesito, foi quase completamente substituído pelo CSS. Os navegadores web são os softwares mais usados para interpretar documentos escritos em HTML e traduzir ou renderizar em páginas multimídia.

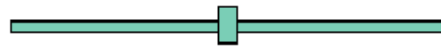
43 CSS (*Cascading Style Sheets*) é uma linguagem de folhas de estilo usada para descrever a apresentação gráfica (como a tipografia, diagramação, cores, fontes, espaçamento etc.) de um documento escrito em uma linguagem de marcação (como o HTML ou o XML). Embora seu uso mais frequente seja para definir o estilo visual de páginas da web e interfaces de usuário escritos em HTML e XHTML, a linguagem também pode ser aplicada a qualquer documento XML, incluindo XML simples, SVG e XUL.

44 JavaScript é uma linguagem de programação interpretada que foi desenvolvida para tornar os websites mais dinâmicos. Como ela é executada no lado do cliente/usuário (e não do servidor), é possível alterar o conteúdo e o estilo da página sem a necessidade de fazer novas requisições ao servidor e garantir uma interação mais fluida. Atualmente, é a linguagem de programação *client-side* mais popular em navegadores web sendo utilizada na em websites, jogos e aplicativos on-line. Apesar de originalmente ser implementada no lado do cliente, também existem aplicações populares no lado do servidor, como o node.js.

FIGURA 10 – Captura de tela do uma unidade do simulador de homeostato.

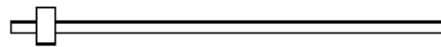
a) UNIT 0

Output: 0



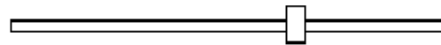
Input

IN.0: 0 × COM: +1 × POT: 0.08 = COIL: 0



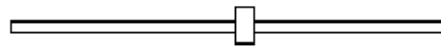
UNISELECTOR MANUAL INPUT

IN.1: 0 × COM: -1 × POT: 0.66 = COIL: 0



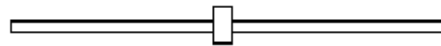
UNISELECTOR MANUAL INPUT

IN.2: 0 × COM: +1 × POT: 0.54 = COIL: 0



UNISELECTOR MANUAL INPUT

IN.3: 0 × COM: +1 × POT: 0.49 = COIL: 0



UNISELECTOR MANUAL INPUT

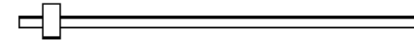
b) Input

IN.0: 0 × UNI 0: 0.205 = COIL: 0

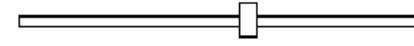
UNISELECTOR MANUAL INPUT

c) Input

IN.0: 57 × COM: +1 × POT: 0.08 = COIL: 4.56



UNISELECTOR



AUTOMATIC INPUT

FONTE: acervo do autor.

são interativos e podem ser convertido para aumentar ou diminuir a velocidade e o número de unidades.

Na área inferior, cada coluna representa uma unidade do homeostato. De cima para baixo (FIGURA 10a): primeiro aparece o título “Unit” (unidade) com o respectivo número na frente. Em seguida, há o subtítulo “Output”, seguido do valor medido na “agulha” que varia de -100 a 100. A unidade se encontra em equilíbrio caso o valor esteja entre -1 e 1. Logo abaixo, há o primeiro *slider* (controle deslizante) com o fundo verde. Quando a unidade não está em equilíbrio, o fundo desse *slider* fica vermelho. O retângulo pode se mover sobre a barra comprida e representa a agulha do homeostato. Se o retângulo estiver totalmente à esquerda, o valor é -100; se ficar totalmente à

direita, o valor 100; caso se situe no centro, o valor é 0. É possível clicar e arrastar o retângulo para modificar manualmente o valor do *output* assim como alguém poderia mover a agulha do Homeostato.

Na sequência, há o título “*Input*” e vários *sliders*. O número de *sliders* é igual ao número de unidades selecionadas, já que cada unidade recebe como *input* o *output* de todas as outras e seu próprio *output*. Cada bloco inclui uma expressão matemática, um *slider* e dois botões. A expressão matemática é apenas uma forma de explicitar a multiplicação dos valores. O primeiro valor corresponde ao *output* de uma unidade. Logo acima do valor, está escrito “*in*” (de *input*) seguido do número que indica a unidade da qual aquele valor é oriundo. O segundo valor é o comutador, que pode ser apenas -1 ou 1. O valor pode ser trocado manualmente clicando na seta ao lado do número. O comutador inverte o valor do *input*, se é positivo vira negativo e vice-versa. O terceiro valor é o potenciômetro, que pode ser qualquer número entre 0,00 e 1,00. O potenciômetro serve para ponderar o valor do *input*. O valor final é exibido abaixo da palavra “*coil*” e corresponde à multiplicação do valor do *input* pelo valor do comutador e pelo valor do potenciômetro.

Logo abaixo, há um *slider* com o fundo branco que pode ser usado para alterar o valor do potenciômetro (sendo que o limite da esquerda corresponde a 0,00 e o limite da direita a 1,00). Se o botão “*uniselector*” for ativado (FIGURA 10b), o comutador e o potenciômetro são removidos e substituídos por um valor aleatório que muda automaticamente caso o *output* não esteja em equilíbrio. O botão “*manual input*”, se ativado, (FIGURA 10c) adiciona um novo *slider* que permite trocar o valor do *input* manualmente, desvinculando-o do valor do *output* de outra unidade. A média aritmética do valor das *coil* é o *output* da unidade.

No simulador, é possível interagir e observar o resultado das mudanças tal como no homeostato do Ashby. Além disso, também é possível aumentar ou diminuir o número de unidades, ligar e desligar todos os *uniselectors* simultaneamente e modificar os *inputs* e *outputs* manualmente. O homeostato construído por Ashby tinha apenas quatro unidades. Essa limitação existia porque Ashby queria mantê-lo relativamente portátil e o tamanho dos componentes usados impedia o aumento do número de unidades. Outro fator restritivo é que o número de conexões cresce muito a cada unidade adicionada se for mantido o princípio de que todas as unidades são ligadas a todas as outras. Para quatro unidades, por exemplo, o número de conexões é seis, e para o dobro de unidades (oito), o número de conexões salta para 56. Outro problema ao aumentar o número de unidades é elevar também o tempo que leva para a

máquina encontrar o equilíbrio.

O simulador também tem entraves. O homeostato do Ashby, por exemplo, possibilitava fazer alterações físicas no equipamento como fixar uma agulha na outra para que se movam em conjunto ou desligar alguns circuitos. Embora seja possível implementar esses experimentos, eu optei por não fazê-lo devido ao investimento de tempo não compensar o ganho.

Apesar do problema de espaço ser menos relevante no computador, o desempenho pode ficar comprometido ao ampliar o número de unidades. Como a prioridade era fazer uma interface gráfica didática, que evidenciasse o funcionamento e mostrasse as operações e os valores, ela acabou ficando pesada (tanto visualmente, como para o processador). Por isso, há o limite de apenas dez unidades no simulador.

Outra diferença é que o simulador, por ser programado no computador, funciona dentro da lógica digital. Os sinais reais, contínuos e suaves, são substituídos por números em série para representá-los. Além disso, na máquina real, os processos ocorrem praticamente simultaneamente, a limitação é a velocidade que a eletricidade percorre o fio. Ou seja, ao mover uma agulha, o resultado é imediatamente transmitido e pode ser observado nas outras agulhas. Já no computador, as operações são executadas em sequência e estão limitadas pela velocidade do processador. Na interface, a velocidade de execução pode ser alterada em um campo de texto.

Ao simular, é possível ver o aprendizado da máquina. Suponha que todos os *uniselectors* estão ligados e a máquina está em equilíbrio. Ao introduzir uma perturbação movendo manualmente o *output* de alguma das unidades, imediatamente os *uniselectors* começam a mudar automaticamente até encontrarem uma configuração na qual o sistema volte ao equilíbrio. Ao soltar a “alça” do *slider* de *output*, ele também volta automaticamente para a posição de equilíbrio. Se produzirmos o mesmo estímulo novamente, a perturbação não provoca nenhum efeito nas outras unidades como se tivesse aprendido a lidar com aquele estímulo. No entanto, se produzirmos um estímulo diferente, o sistema “esquece” o que aprendeu, pois os *uniselectors* se convertem automaticamente para outra configuração.

Na arquitetura, o homeostato poderia ser aplicado como um sistema de controle performático, que não utiliza modelos de comportamento, mas que se adapta por tentativa e erro. Uma das abordagens da automação do controle de variáveis ambientais da arquitetura é a criação de sistemas fragmentados. Por exemplo, um sistema para controlar a iluminação que altera a entrada de luz solar movimentando os brises, outro sistema para controlar a temperatura usando calefação ou ar-condiciona-

do e um terceiro para fechar as janelas em caso de chuva. Embora essa abordagem funcione, ela pode ser energeticamente ineficiente em situações nas quais vários elementos dinâmicos interferem nas mesmas variáveis.

Imagine uma casa com dois sistemas autorregulados: a meta do primeiro é a quantidade de lúmens, o *input* é a iluminação ambiente, o *output* é o movimento dos brises da fachada; o escopo do segundo é a temperatura decidida pelo usuário, o *input* é a temperatura do ambiente, o *output* é a intensidade do ar-condicionado. Quando o sol se movimenta e a iluminação diminui, o primeiro sistema movimenta os brises para aumentar a entrada de luz. Com isso, a temperatura aumenta, e o segundo sistema liga o ar-condicionado. Eventualmente, o ambiente alcança a configuração de temperatura e iluminação desejada.

Caso o primeiro sistema, além de controlar o movimento dos brises, também comande a iluminação artificial, ele pode escolher qual dos sistemas de primeira ordem ativar para reduzir o impacto da movimentação do sol. No entanto, se ele não tiver nenhuma suprameta, sua decisão é aleatória. Se ele for programado para economizar energia, sua prioridade é, provavelmente, a movimentação do brise. Todavia, se também atuar sobre o ar-condicionado, a equação fica um pouco mais complexa, já que é necessário ponderar se é melhor movimentar os brises, que podem aumentar o calor e exigir mais do ar-condicionado, ou deixá-los parados, acender as lâmpadas e reduzir o aparelho.

O sistema poderia ser programado com vistas a priorizar um comportamento em certas situações ou utilizar um modelo interno do ambiente para simular e verificar a melhor combinação entre a posição do brise, a intensidade da lâmpada e a intensidade do ar-condicionado. Uma abordagem diferente seria criar um sistema que, assim como o Homeostato, fosse capaz de aprender por meio de tentativa e erro e memorizar as soluções.

Sistemas simples, que controlam poucos elementos e monitoram poucas variáveis, podem ser facilmente simulados no computador, e todas as situações possíveis calculadas de antemão. No entanto, automatizando outros elementos dinâmicos, é possível incluir dezenas de *inputs* e *outputs*. Por exemplo: luz artificial, brises, cortinas e janelas alteram a iluminação; os elementos anteriores, as máquinas de aquecimento e refrigeração artificial e a abertura das portas afetam a temperatura; a abertura das janelas, os brises, as cortinas, as máquinas de refrigeração e aquecimento e os equipamentos de som influenciam a ambiência sonora; as cortinas e os brises interferem na privacidade; vários dos equipamentos citados consomem energia; sen-

sores de chuva podem abrir e fechar janelas e portas e alterarem a temperatura.

Quanto maior o número de elementos e variáveis controlados, quanto maior a interligação entre eles; e quanto mais variáveis cada elemento influencia, mais complexa é a arquitetura e mais difícil é para o usuário manipular os instrumentos disponíveis a fim de alcançar os efeitos desejados. Um sistema com muitas variáveis interligadas pode se tornar incalculável, sendo que uma abordagem de aprendizado de máquina seria mais adequada. Porém, a estratégia de tentativa e erro também pode ser inviável quando a quantidade de variáveis é muito grande, pois o tempo para alcançar o equilíbrio é maior do que o tempo que se passa entre as mudanças no contexto. Nesse caso, Alexander (1973) propõe dividir as variáveis arquitetônicas em subgrupos que interagem pouco entre eles para viabilizar a solução de problemas em tempo humano.⁴⁵

3.5 CONSEQUÊNCIAS DA AUTOMAÇÃO

Para entender as consequências da automação, podemos separá-las em duas escalas: a micro, que trata da relação entre homem e máquina; e a macro, que abrange o impacto da automação de uma atividade na sociedade.

Na escala micro, a automação promete nos aliviar de ações repetitivas e desagradáveis do cotidiano, liberando tempo que poderia ser dedicado a atividades criativas e prazerosas. No entanto, a experiência diária parece contradizer essa expectativa. O mundo está cada vez mais automatizado, mas não estamos trabalhando menos do que as gerações anteriores. Há algumas hipóteses para explicar esse fenômeno: procuramos outras formas de preencher nosso tempo livre; inventamos demandas que não existiam; nosso tempo livre está sendo transferido, na forma de lucro, para outras pessoas.

Tomemos como exemplo a máquina de lavar, que automatiza parte do processo de lavagem de roupas, que, até então, era feito totalmente à mão. Apesar de ainda existirem tarefas como carregar e descarregar a máquina, separar as peças, estendê-las no varal e guardá-las, boa parte do trabalho de lavar foi automatizado.

Com isso, as pessoas que se encarregavam dessa tarefa se viram com tempo livre para realizar outras atividades. Hans Rosling (1948-2017), na palestra para o TED⁴⁶ “A mágica da máquina de lavar” (ROSLING, 2010), relata que sua mãe, na pri-

45 Ver o exemplo da máquina conceitual das 100 lâmpadas no tópico 4.4.1, p. 90.

46 TED (acrônimo de *Technology, Entertainment, Design*) é uma série de conferências, com apresenta-

meira vez⁴⁷ que usou uma máquina de lavar disse para ele: “Agora Hans, nós colocamos a roupa suja e a máquina fará o trabalho. E podemos ir à biblioteca.” (ROSLING, 2010, 7'34”).

Como lavar roupa era uma tarefa realizada predominantemente por mulheres, a automação dessa atividade na escala macro poderia contribuir para a emancipação feminina. Essa ideia foi discutida em março de 2009, pela jornalista Giulia Galeotti, que publicou o artigo “A máquina de lavar roupa e a emancipação da mulher: coloque o detergente, feche a porta e relaxe...”⁴⁸ (tradução nossa) no jornal do Vaticano “L'Osservatore Romano”.⁴⁹ No artigo, a autora apresenta a ideia de que a máquina de lavar foi um importante fator para a emancipação feminina, tanto ou mais que a pílula anticoncepcional, a legalização do aborto e trabalhar fora de casa (GALEOTTI, 2009).

No entanto, Betty Friedan (1921-2006), uma importante ativista feminista estadunidense, em seu livro “Mística Feminina” (1963), apresenta uma visão um pouco diferente das consequências da automação com base nas observações que fez da vida nos Estados Unidos. Com base em dezenas de entrevistas com mulheres estadunidense brancas de classe média, ela percebeu que aquelas que se dedicavam exclusivamente aos afazeres domésticos, ou seja, as donas de casa *full-time*, gastavam mais tempo para realizar a mesma quantidade de tarefas domésticas em comparação àquelas que trabalhavam várias horas por semana fora de casa, em empregos assalariados ou atividades comunitárias. As mulheres que trabalhavam fora executavam os serviços domésticos na metade do tempo e, embora realizassem todas as atividades normais, como preparar as refeições, fazer compras, limpeza, cuidar das crianças e ter um emprego de trinta e cinco horas semanais, sua semana de trabalho era apenas meio dia mais longa do que a das outras.

Essa constatação a levou a questionar por que a dona de casa estadunidense de classe média passa mais tempo ocupada em relação a suas avós mesmo diante de avanços tecnológicos que poupam trabalho e, teoricamente, poderiam libertar a mulher de cozinhar, lavar e passar para se dedicarem a outras atividades, seja exercerem sua função de esposa e mãe ou participarem de atividades fora do lar.

Ela conclui que “[...] quanto mais privada de sua função na sociedade ao nível de

ções limitadas a dezoito minutos, realizada pela fundação Sapling. Em geral, as palestras são disponibilizadas gratuitamente na internet.

47 Em sua palestra, Hans afirma que tinha quatro anos, então esse fato ocorreu provavelmente entre julho de 1952 e julho de 1953.

48 “La lavatrice e l'emancipazione della donna: Metti il detersivo, chiudi il coperchio e rilassati” (GALEOTTI, 2009).

49 “L'Osservatore Romano” é considerado um periódico semioficial da Santa Sé.

sua capacidade, tanto mais o trabalho doméstico, materno e conjugal se expandirá – e tanto mais ela resistirá a terminá-lo, a fim de não ficar sem função” (FRIEDAN, 1971, p. 207) e “[...] não tendo nenhum interesse externo, é virtualmente forçada a dedicar todos os seus instantes às ninharias domésticas” (FRIEDAN, 1971, p. 207).

Para estender a duração de seus trabalhos domésticos, algumas donas de casa passaram a trocar as roupas de cama com uma frequência maior, lavando-as mais vezes por semana. Além disso, alguns utensílios geraram atividades que não existiam ou complexificaram as existentes. Segundo Friedan (1971, p. 208), o congelador criou a oportunidade de congelar as ervilhas cultivadas no quintal, e o liquidificador possibilitou cozinhar receitas mais complicadas, como purê de amêndoas, que levam mais tempo no preparo que costeletas de carneiro.

Segundo um estudo feito imediatamente depois da guerra pela Universidade Bryn Mawr (*apud* FRIEDAN, 1971, p. 209), os trabalhos domésticos numa fazenda típica americana ocupavam 60,55 horas por semana; já em cidades com menos de 100 mil habitantes, eles levavam 78,35 horas; e em locais com mais de 100 mil, eles tomavam 80,57 horas.⁵⁰ Mesmo com todos os seus utensílios, as residências menores e mais fáceis de manter, as donas de casa da cidade grande gastam mais tempo nos trabalhos domésticos do que a mulher do campo que tem muitos outros trabalhos para fazer. Friedan discute extensivamente as causas dessa situação, mas o que nos interessa é demonstrar que apenas a automação não garante a emancipação do trabalho. Para que isso ocorra, ela precisa vir aliada a outras mudanças.

Rosling (2010, 02’22”) aponta, também utilizando o exemplo da máquina de lavar, que a distribuição dos benefícios da automação não é igual em todo mundo. Ele estima que apenas cerca de dois dos sete bilhões de pessoas do mundo tinham acesso a uma máquina de lavar. Rosling não cita a fonte dos dados no vídeo, e também não encontrei nenhum artigo publicado por ele que explique a origem da sua hipótese. Para confirmar sua afirmação, é possível usar dados de outras fontes e fazer uma estimativa parecida, levando em conta que energia elétrica e água encanada são pré-requisitos para ter uma máquina de lavar.

Segundo o relatório da JMP⁵¹, em 2015, aproximadamente 63% da população mundial (4,7 bilhões de pessoas) tinha acesso à água encanada. Sendo mais ou me-

50 Women During the War and After: Summary of a Comprehensive Study by the Carola Woerishoffer Graduate Dept. of Social Economy and Social Research, Bryn Mawr College, 1945.

51 JMP (Joint Monitoring Programme) é um programa gerido conjuntamente pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e pelo Fundo das Nações Unidas para a Infância (Unicef) e colabora com parceiros para produzir estimativas nacionais, regionais e globais sobre o progresso do acesso à água potável, saneamento e higiene desde 1990. Disponível em: <washdata.org>. Acesso em: 15 mar. 2018.

nos duas de cada cinco pessoas em áreas rurais e quatro de cada cinco pessoas em áreas urbanas (OMS; UNICEF, 2017, p. 12). Esse número vem crescendo, já que em 2000 era aproximadamente 57% da população mundial (3,5 bilhões de pessoas). O mesmo ocorre com o acesso à eletricidade que vem aumentando desde de 2000 e, em 2014, atendia aproximadamente 85% da população mundial (6,24 bilhões de pessoas). Sendo que esse percentual na área urbana é de 96% e na área rural de 73% (BANCO MUNDIAL, 2017, p. 17). Ou seja, no máximo 63% da população mundial possui os requisitos mínimos necessários para ter uma máquina de lavar roupa (mas é provável que esse número seja menor).

No Brasil, a proporção de pessoas com máquina de lavar é um pouco maior do que a média mundial estimada por Rosling: “[...] o número de domicílios com posse de máquina de lavar roupa foi o que apresentou o maior crescimento de 2014 para 2015 (5,7%), alcançando a proporção de 61,1% [...]. As Regiões Norte e Nordeste ficaram abaixo da proporção média do Brasil relativamente à posse desse bem, com 39,5% e 30,7%, respectivamente” (IBGE, 2016, n.p.).

Não podemos dizer que a máquina de lavar teve uma contribuição significativa para a emancipação feminina já que ela é acessível apenas para uma fração das pessoas. Além disso, parte das mulheres já não realizava o trabalho doméstico antes de sua invenção, pois contratava pessoas mais pobres para isso. E mesmo que não realizassem os trabalhos domésticos, essas mulheres não podiam votar, andar sozinhas na rua, trabalhar sem a autorização do marido, ter direito a herança, ir à escola ou à faculdade. Além disso, mesmo depois da invenção da máquina, milhares de mulheres ainda lavam roupa à mão. A emancipação feminina se deu pela luta das mulheres pelos seus direitos e pela divisão de tarefas entre homens e mulheres.

Na indústria, assim como no ambiente doméstico, a automação não proporciona uma melhor qualidade de vida. Do ponto de vista do empresário, a automação é boa por aumentar a produtividade, dividir o trabalho e garantir o lucro e a acumulação de capital. Embora possibilite o aumento da produção e o barateamento de produtos, ela pode piorar a qualidade do trabalho, que é uma atividade a qual ocupa boa parte do tempo de um adulto. Idealmente, nas linhas de produção, as máquinas realizam as tarefas repetitivas; e as pessoas, as atividades criativas.

No entanto, como diversos processos manuais são difíceis de automatizar e muitas máquinas dependem da supervisão humana, as linhas de produção são híbridas. Consequentemente, o operário precisa trabalhar no ritmo imposto pela máquina. Além disso, o artesão, que antes participava de todo o processo de confecção

de um produto, que envolvia tanto tarefas repetitivas como criativas, torna-se um operário trabalhando apenas em uma pequena parte do processo, desconhecendo o todo. Dessa forma, as máquinas não reduzem a carga de trabalho e ainda pioram suas condições.

Como colocado anteriormente, a automação de uma atividade pode libertar os humanos de atividades mecânicas, monótonas e compulsórias, reduzir a carga de trabalho e criar tempo livre na rotina para desfrutarem a vida, dedicando-a a atividades facultativas, criativas e prazerosas. Todavia, de modo geral, a automação tem uma distribuição desigual pelo mundo, e seus benefícios tendem a ser direcionados às camadas mais ricas e excluídos das camadas mais pobres. Além disso, as invenções não surgem e se disseminam por acaso, elas são estimuladas apenas quando favorecem os interesses econômicos de certa parcela da população. Por isso, lutar para democratizar o acesso à automação e reduzir a desigualdade é tão ou mais importante do que desenvolver novas tecnologias.

4 AUTOMAÇÃO DA ARQUITETURA

No primeiro capítulo, delinee e defendi a hipótese de que a inadequação da arquitetura ao contexto e a reprodução da desigualdade social estão relacionadas à fragmentação do processo de produção do espaço. No segundo capítulo, apresentei uma definição geral de automação que pode ser resumida como: quanto menos um engenho depende da assistência humana, mais automático ele é. E também expus suas consequências positivas e negativas. Neste capítulo, os dois assuntos são cruzados, mostrando como a automação está presente na arquitetura e quais os seus efeitos, com foco em como ela afeta as divisões do processo segmentado, a qualidade espacial e a desigualdade social.

A automação na arquitetura é diversa e, como colocado na introdução, proponho agrupar os exemplos em duas categorias: a automação pontual, que procura aumentar a eficiência de uma parte do processo ou livrar as pessoas de tarefas repetitivas; e a automação transversal, que busca unificar todo o processo, questionando as divisões existentes e reduzindo a resistência do espaço à transformação.

Os exemplos de automação pontual são abundantes e vão desde a bomba que enche automaticamente a caixa d'água até impressoras 3D capazes de construir casas. Neste capítulo, as diversas aplicações pontuais de automação na arquitetura estão agrupadas conforme algumas características em comum. Em geral, podem ser divididas de acordo com a fase do processo em que se encontram: projeto, construção ou uso.

O projeto tem mais ou menos duas etapas principais, a saber: o levantamento de dados, que inclui desde a coleta das demandas do cliente até a análise do espaço de intervenção; e a elaboração de modelos. Os tópicos “4.1 Levantamento de da-

dos”, “4.2 Elaboração de modelos”, “4.3 Simulações”, “4.4 Modelagem paramétrica” e “4.5 Interfaces para interagir com o modelo” estão relacionados à essa fase. Já a construção é tratada em “4.6 Fabricação digital”; e a etapa de uso é abordada no item “4.7 Automação residencial”. O último ponto versa sobre a automação transversal.

4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

O processo de projeto normalmente se inicia em um levantamento de dados que servirá de base para as futuras propostas de transformação. Esse mapeamento inclui desde diálogos com o cliente para registrar suas demandas até a seleção e a representação de algumas características espaciais (geometria, tempo, cheiro, ambiência) em um modelo (planta, desenho técnico, modelo, pintura etc). Quando o processo de projeto inclui o arquiteto (modo personalizado e modo mercantil), o levantamento é fundamental para que ele conheça as demandas do cliente e também o espaço onde vai propor uma intervenção. O cliente pode ser apenas uma pessoa, como o indivíduo que deseja construir uma casa ou o empresário que deseja construir um prédio; um grupo, como a comunidade que irá utilizar um espaço público (praças, parques, escolas e museus); ou mesmo toda a população da cidade, no caso de um plano diretor.

As características espaciais que vão constar no modelo variam conforme cada caso. Para se construir uma casa, é preciso fazer o levantamento do terreno, que deve incluir a topografia, a composição do solo (que contribui para escolha da fundação), a vegetação (localização de espécimes importantes), o clima, a insolação do local, entre outros aspectos. No caso de espaços públicos de maior impacto na cidade, é necessário fazer uma verificação das demandas da comunidade, da infraestrutura urbana para receber aquele equipamento, do fluxo de veículos e pessoas por aquele local, das vias de acesso, dos pontos de transporte público, dentre outras questões. Para intervenções em espaços construídos, deve-se verificar a estrutura existente, as tubulações hidráulicas, a instalação elétrica etc.

Para o levantamento da geometria de espaços existentes (tanto construídos pelo homem como naturais), são usadas algumas máquinas manuais, como trena, teodolito e medidor de nível. O **primeiro nível** de automação é a substituição desses equipamentos por suas versões digitais que simplificam o processo de coleta dados. O **segundo nível** é o uso de tecnologias mais sofisticadas, como scanner 3D, visão

computacional, fotogrametria⁵² e aplicativos de celular que utilizam seus sensores como GPS, giroscópio, acelerômetro e câmera. Alguns softwares geram automaticamente o modelo.

O aplicativo para *iOS RoomScan*⁵³, por exemplo, tem três métodos para automatizar o desenho de uma planta arquitetônica. O primeiro usa os sensores, a câmera do celular e um software de realidade aumentada para medir e criar uma planta. O usuário movimenta o celular apontando a câmera e selecionando pontos chave do ambiente clicando na tela. O segundo consiste em encostar o *smartphone* em cada parede, janela e porta em sequência e o aplicativo medirá as distâncias utilizando os sensores para gerar o modelo. O terceiro é o mais preciso e mais trabalhoso. O usuário desenha a planta manualmente sem medidas ou com medidas aproximadas. Em seguida, é necessário contar com uma trena laser que se conecta ao aplicativo para atualizar as medidas do modelo automaticamente. O desenho pode ser exportado em .pdf ou em .dxf para AutoCAD ou SketchUp.

Um aplicativo similar para *Android* e *iOS* é o *Magicplan*⁵⁴, que também emprega realidade aumentada para gerar uma planta. Além de fornecer a planta, ele tem uma interface que permite modificá-la, adicionar mobiliário e criar lista de custos.

Um sistema um pouco diferente é o aplicativo Canvas⁵⁵ que vale-se da câmera, do acelerômetro e do giroscópio do *iPad*, mas carece, ainda, de um sensor de profundidade adicional, chamado *Structure Sensor*, que deve ser acoplado ao aparelho. Esse sensor é um scanner 3D similar ao sensor *Kinect*, da Microsoft. O sistema gera um modelo 3D em poucos minutos com relativa precisão e muitos detalhes, incluindo mobiliário. Como os modelos são feitos a partir de nuvens de pontos, eles não são otimizados para a modelagem arquitetônica convencional, mas a empresa oferece um serviço de conversão dos modelos brutos em modelos refinados.

A visão computacional, que está ficando cada vez mais acessível para qualquer arquiteto por meio das tecnologias citadas, já é aplicada há algum tempo por escritórios famosos. Um exemplo é o escritório de Frank Gehry⁵⁶ que já emprega a

52 Fotogrametria é a medição das distâncias e das dimensões reais dos objetos por meio da fotografia.

53 Disponível em: <www.youtube.com/channel/UCBeWUqD1m65lB9w9MuDAWrA>. Disponível em: <itunes.apple.com/us/app/roomscan-pro/id673673795>. Acesso em: 1 abr. 2018.

54 Disponível em: <www.youtube.com/channel/UCqmjz2x7NffJRMg4mmeDTvg>. Disponível em: <www.magic-plan.com>. Acesso em: 1 abr. 2018.

55 Disponível em: <canvas.io>. Acesso em: 1 abr. 2018.

56 “Como as obras de Gehry ainda nascem de maquetes físicas artesanais feitas de papelão, folhas de alumínio, acetato, massa de modelar e lâminas de borracha, elas precisam ser transportadas para dentro dos computadores. Para tanto, são utilizados dois procedimentos. Nas formas menos complexas, a maquete é quadriculada e seus pontos de intersecção são lidos por um braço digitalizador a laser. Nas mais complexas a maquete precisa ser escaneada por um aparelho de uso médico similar ao da tomografia.” (ARANTES, 2010, p. 119).

tecnologia não para fazer o levantamento geométrico do terreno onde a obra será construída, mas para escanear maquetes processuais e transformá-las em modelos executivos (ARANTES, 2010, p. 119).

O levantamento pode incluir outras características do espaço onde será realizada a intervenção, como o uso, a permanência e a circulação das pessoas, a incidência solar, a temperatura e a direção dos ventos. Dados climáticos podem ser colhidos em estações meteorológicas que também se beneficiam da automação da coleta de dados através de sensores eletrônicos. Outras informações podem ser captadas por imagens de satélite e câmeras no local. Na escala urbana, existem sensores que monitoram e recolhem dados sobre o trânsito de veículos e a localização do transporte público que podem ser adotados na elaboração de intervenções, como alterar o tempo dos semáforos ou modificar a direção de ruas e reformar a malha viária.

As máquinas manuais, como o teodolito, normalmente exigem certo treinamento para o seu manuseio. E, muitas vezes, é preciso mais de uma pessoa para realizar o levantamento. Embora possa ser relativamente simples aprender como manipulá-las, muitas pessoas não têm tempo ou acesso a esse conhecimento. As novas tecnologias já beneficiam muitos arquitetos ajudando-os a fazer o levantamento mais rápido. Mas como elas são bem mais simples e acessíveis (algumas nem precisam de equipamentos extras além do *smartphone*), também podem ajudar leigos a realizarem o levantamento do espaço, principalmente de sua geometria. Além disso, alguns aplicativos geram automaticamente modelos e permitem a simulação de mudanças. A possibilidade de propor intervenções e testar mudanças sem precisar recorrer aos serviços de um profissional, como o arquiteto, garante maior liberdade para as pessoas e reduz o tempo total necessário para transformar o espaço, aumentando a adaptabilidade da relação.

Na autoconstrução de baixa renda, é incomum o uso de desenho técnico. O desenho, quando existe, é elementar, contendo apenas as ideias principais e as diretrizes. O uso de modelos mais detalhados, tratado no próximo tópico, ajuda no teste de soluções antes de executá-las, evitando desperdício de recursos (tempo e dinheiro). Os aplicativos citados poderiam tornar a criação de modelos acessível não apenas para as pessoas sem conhecimento técnico, como também para aquelas com menos recursos financeiros, já que alguns deles são gratuitos. No entanto, a solução não é universal, pois há a necessidade de um *smartphone* ou outro aparelho eletrônico que nem sempre é acessível para pessoas de baixa renda.

4.2 ELABORAÇÃO DE MODELOS

No processo de projeto da arquitetura, o papel dos modelos é registrar o levantamento de dados, propor e testar soluções e apresentar e discutir ideias com as pessoas envolvidas. Os modelos podem ser físicos ou digitais e representarem duas ou três dimensões do espaço.

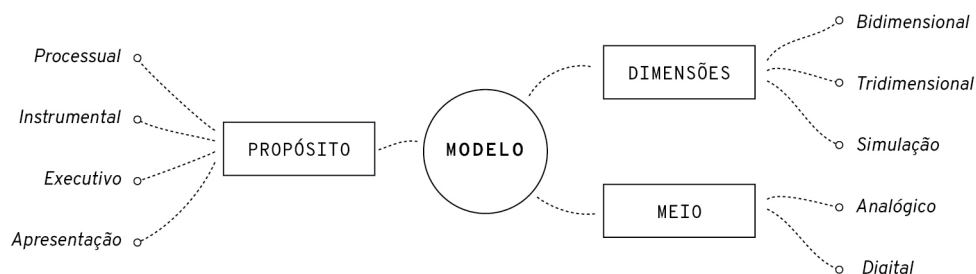
A automação na elaboração de modelos se inicia com a criação de métodos e ferramentas para externalizá-los da mente. Cabral Filho (2016, p. 31) sugere que a automação do representar origina-se na invenção da perspectiva científica no Renascimento. Junto a ela, vários instrumentos auxiliam artistas e arquitetos a produzirem desenhos precisos com base na realidade e, posteriormente, traduzirem suas ideias em desenhos que servirão de guia para a construção.

Solucionar problemas mentalmente pode ser muito complexo. Como colocado por Alexander (1973, p. 30), é fácil somar dois mais dois na cabeça, mas é difícil calcular a raiz sétima de um número de cinquenta dígitos. No entanto, com lápis e papel, é possível dividir o problema em partes menores e solucioná-lo rapidamente.⁵⁷

O mesmo ocorre na arquitetura. Nosso modelo mental do mundo é ambíguo e pouco preciso. Por isso, os arquitetos elaboram modelos que possibilitam o estudo do imóvel sem examinar o objeto em si, tanto quando estão planejando um edifício, como quando estão analisando um local para intervenção. Os modelos auxiliam na compreensão das relações existentes, proporcionam uma visão mais ampla do objeto e das relações espaciais internas e externas (entre o objeto e o entorno) e podem ser manipulados para simular modificações antes de serem executadas. Os modelos arquitetônicos complementam nosso modelo mental, já que, externalizando a geometria do espaço, podemos testar e avaliar mentalmente a interação do edifício com os sistemas dinâmicos (pessoas e natureza) que são mais complexos de simular.

Em geral, os arquitetos trabalham com modelos em escala que podem ser classificados pela quantidade de dimensões (bidimensionais, tridimensionais e simulações), por propósito (processuais, instrumentais, executivos e para apresentação) e pelo meio em que ele foi criado (analógico e digital). A Figura 11 resume essa classificação em um esquema. Um modelo em escala é a representação de um objeto man-

⁵⁷ “The difference between these two cases is really like the difference between the problem of adding two and two, and the problem of calculating the seventh root of a fifty digit number. In the first case we can quite easily do it in our heads. In the second case, the complexity of the problem will defeat us unless we find a simple way of writing it down, which lets us break it into smaller problems.” (ALEXANDER, 1973, p. 3).

FIGURA 11 – Formas de classificação dos modelos.

FONTE: elaboração própria.

tendo as relações entre seus aspectos constituintes mais importantes e alterando os valores absolutos das propriedades originais⁵⁸ (THE MODEL..., 2016, n.p., tradução nossa).

Modelos bidimensionais, que incluem esboços e desenhos técnicos, abstraem tanto o tempo como a dimensão do espaço. Exemplos de tais modelos são as plantas, os cortes e as elevações. Já os modelos tridimensionais representam as três dimensões do espaço e são conhecidos como maquetes (eletrônica ou física). Também existem as simulações (ou modelos dinâmicos), que incluem o tempo e são usados para verificar o comportamento da edificação.

Os modelos **processuais** são ferramentas para se pensar o projeto, ajudando a enxergar relações, experimentar plasticamente e testar volumetrias e relações com o entorno. Também podem ser aplicados como uma interface de comunicação entre arquiteto e cliente, complementando a apresentação verbal do projeto. O arquiteto, por exemplo, pode empregá-lo para apresentar visualmente suas ideias e mostrar as opções. Já o cliente pode usá-lo para explicar suas intenções, seus desejos, suas concordâncias e suas discordâncias; apontando, manipulando e modificando o modelo.

Os modelos **instrumentais** (ou protótipos) são utilizados para testar as propriedades de um edifício ou parte dele e avaliar seu funcionamento antes de executar as propostas. Para visualizar o comportamento de uma estrutura, por exemplo, é possível criar um modelo e submetê-lo a diferentes cargas. Além disso, os modelos estáticos da geometria podem ser associados a outros equipamentos que simulam sistemas dinâmicos para testar suas propriedades. Por exemplo: para medir a incidência solar, utiliza-se o heliodon; e para avaliar o comportamento de uma estrutura

⁵⁸ “The most common form of modelling is the ‘scale model’ [...]. This is most generally a physical representation of an object, which maintains accurate relationships between all important aspects of the model, although absolute values of the original properties need not be preserved.” (THE MODEL..., 2016, n.p.).

ao ser submetida a ventos fortes, recorre-se ao túnel de vento. Os dados coletados nesses experimentos podem servir de base para estimar a temperatura e a iluminação do ambiente construído.

Os modelos **executivos** se caracterizam pela precisão geométrica, pois são usados como referência para a construção e podem conter outros detalhes descritivos, como materiais empregados. O modelo mais comum na construção é o bidimensional de projeção paralela, pois sua escala permanece constante, facilitando a leitura com o escalímetro⁵⁹. Maquetes físicas podem ser utilizadas como referência para construção, mas são mais difíceis de produzir e de medir com exatidão. As maquetes eletrônicas são precisas e fáceis de medir, mas dependem do acesso ao computador e do conhecimento para manipulá-las, o que limita o seu uso.

Os modelos para **apresentação** são habituais como ferramenta publicitária por construtoras, empreiteiras ou arquitetos para divulgar o empreendimento e facilitar a venda das unidades. Também podem servir para convencer o cliente e ajudar na escolha de um lote ou um apartamento antes da construção de um prédio, uma casa ou um loteamento. Outra aplicação é demonstrar ou simular o efeito de uma transformação espacial; por exemplo, o impacto de mudanças no plano diretor de uma região para informar as pessoas envolvidas no processo.

4.2.1 Modelo analógico e modelo digital

Todos os tipos de modelo têm sua versão analógica, que é confeccionada pelo arquiteto por meio de máquinas manuais, e sua versão digital, produzida no computador. As ferramentas usadas para criar modelos analógicos – como régua, esquadro, compasso, escalímetro, prancheta, papel, lapiseira, caneta nanquim, estilete – são o grau zero de automação do projeto. Os modelos analógicos estão gradualmente sendo abandonados e substituídos pela sua versão digital, que necessitam apenas de um computador e alguns softwares para serem feitos. Essa transição traz alguns benefícios, como velocidade de desenho e precisão do projeto, mas também pode apresentar alguns prejuízos, já que os modelos digitais possuem limitações.

O computador trabalha essencialmente com a linguagem matemática. Por isso, fazer um modelo técnico digital não é um problema, já que o desenho consiste basi-

⁵⁹ Escalímetro é uma régua, normalmente em forma de prisma triangular, com medidas em diferentes escalas utilizada para traduzir a geometria do modelo em escalas ampliadas ou reduzidas para o tamanho real ou vice-versa.

camente em formas geométricas localizadas em um espaço cartesiano. O computador pode, inclusive, facilitar o trabalho de criar formas geométricas exatas, alterar a escala do projeto e fazer cópias de objetos. No entanto, o desenho livre, comum em modelos processuais, não é tão bem recebido pelo computador, pois tudo precisa ser traduzido em curvas, linhas e pontos definidos por fórmulas matemáticas. Por isso, no desenho à mão analógico é mais fácil e rápido criar formas espontâneas, imprecisas, fazer rascunhos e testar ideias.

No caso dos modelos tridimensionais não é diferente. O uso de maquetes digitais também apresenta benefícios e limitações. As maquetes físicas permitem a interação constante com a gravidade e a textura do objeto que podem ser usadas como *feedback* para ajustar a forma. A reação da estrutura a uma alteração, por exemplo, pode ser vista imediatamente, permitindo fazer pequenas correções. As maquetes digitais, em geral, não contam com esse tipo de simulação em tempo real. Para ver o resultado de uma alteração na estrutura, é necessário executar uma sequência de instruções que pode demorar alguns segundos ou minutos. Embora o atraso seja pequeno, ele fragmenta o processo e dificulta testar pequenas mudanças.

Modelos analógicos e digitais possuem vantagens e desvantagens em diferentes situações de análise de desempenho. Por exemplo, é difícil encontrar materiais para fazer um modelo físico em escala que tenha um comportamento equivalente ao material usado na estrutura real ao aplicar uma carga. No modelo digital, é possível programá-lo com as características desejadas e usar as equações de cálculo estrutural para simular o comportamento do material real. Por isso, os simuladores digitais são mais precisos e aplicados no cálculo da resistência estrutural. No entanto, alguns sistemas apresentam comportamentos muito complexos e são mais difíceis de simular no computador, como o efeito do vento sobre a forma de um edifício. Por isso, em alguns casos, como na construção de edifícios muito altos, maquetes físicas são testadas no túnel de vento.

Outra limitação do modelo digital são as ferramentas disponíveis para interagir com o computador. Nas primeiras décadas após a invenção do computador, o teclado convencional QWERTY⁶⁰ era o tipo de *input* mais usado, mas existiam outras formas de *input* adaptadas para contextos específicos. O *input* gráfico mais comum nos poucos computadores que existiam na década de 1960 (já que eram grandes e

60 QWERTY é um *layout* para disposição de teclas usando o alfabeto latino. Foi usado primeiro em máquinas de escrever e posteriormente replicado nos computadores. Embora existam outros padrões, esse é mais comum atualmente.

caros e somente podiam ser comprados e mantidos por universidades, empresas ou instituições) era a caneta de luz, que possibilitava interagir com gestos de maneira familiar, apesar de funcionar mais como um apontador do que como uma caneta (NEGROPONTE, 1970, p. 17). Pouco tempo depois, foi inventado o *touchscreen*, em 1965, seguido pelo *mouse*, em 1968, que é uma forma de *input* mais barata. O *mouse*, assim como o teclado, é menos intuitivo, pois fragmenta a interação, ou seja, o resultado da ação se dá num lugar diferente de onde ela é executada.

Para criar um produto comercialmente viável, que pudesse ser produzido em série, o computador foi simplificado em uma central de processamento, uma tela para *output* e um *mouse* e um teclado para *input*. Essa configuração se tornou muito atraente para as empresas e se disseminou por todas as áreas. Como era popular e versátil, os programas passaram a ser desenvolvidos e otimizados para ela, já que o interesse do desenvolvedor é alcançar o maior número de consumidores. Outras formas de *input* não deixaram de existir, mas se tornaram periféricos do computador pessoal de propósito geral ou foram desenvolvidas para a indústria do entretenimento, como jogos eletrônicos, consoles e brinquedos.

As limitações do modelo digital, portanto, estão relacionadas ao poder de processamento do computador, suas formas de armazenamento dos dados geométricos (é mais rápido processar pontos, linhas retas e planos do que linhas e superfícies curvas), pela necessidade de traduzir as formas em fórmulas matemáticas e pelo fato de o computador eletrônico ter sido padronizado e popularizado como uma ferramenta genérica de escritório para fazer cálculos, escrever memorandos e criar planilhas.

4.2.2 CAD e BIM

Os programas para desenhar no computador são genericamente denominados, em inglês, *computer-aided design* (CAD) ou, traduzido livremente, desenho auxiliado por computador. Embora a palavra *design* possa ser traduzida como projeto, os softwares denominados CAD ajudam principalmente na automação do desenho e de forma secundária outros aspectos da tarefa de projetar.

Existem muitos softwares CAD, alguns têm versões específicas para a arquitetura. Embora possam ter ferramentas que sirvam para a criação de mais de um tipo de modelo, alguns se destacam para um propósito específico. Por isso, é comum os arquitetos combinarem o uso de diferentes softwares durante o processo. Por exemplo, o AutoCAD e o Vectorworks são muito usados para a produção de modelos executivos

bidimensionais. O Autodesk 3ds Max, o Maya e o Blender são recursos para produção de modelos tridimensionais voltados principalmente para apresentação. O SketchUp é aplicado tanto para modelos tridimensionais processuais como de apresentação. O Adobe Illustrator e o CorelDRAW são empregados para produção de modelos bidimensionais de apresentação, que são conhecidos como plantas humanizadas.

Nas últimas décadas, uma subcategoria dos softwares CAD vem se popularizando nos escritórios de arquitetura e, em alguns casos, substituindo os softwares anteriores. São chamados de BIM (*Building Information Modeling* – tradução: Modelagem da Informação da Construção) e, como o próprio nome diz, desenvolvidos especificamente para a indústria da construção. Diferente dos softwares CAD da “primeira geração”, os softwares BIM trabalham principalmente com modelos tridimensionais e geram automaticamente desenhos técnicos, listas de materiais, orçamento e outras informações, unificando a funcionalidade de vários dos softwares anteriores.

Apesar das limitações dos modelos digitais discutidas anteriormente, os softwares CAD ajudam a reduzir o retrabalho, aumentar a produtividade e economizar tempo, tornando o arquiteto mais eficiente. Eles automatizam alguns processos de desenho, como repetir um objeto múltiplas vezes, hachurar áreas, criar desenhos bidimensionais a partir de modelos tridimensionais e copiar e modificar desenhos. Também facilitam fazer alterações, consertar erros, gerar cópias, criar blocos, fazer cálculos, além de possibilitar a criação de scripts próprios (macros) para automação de processos.

O BIM também proporciona economia de tempo caso o usuário tenha acesso às bibliotecas de modelos de produtos disponíveis no mercado. Porém, quando é necessário criar todos os elementos ou o projeto contém muitas peças únicas e personalizadas, o BIM pode ser um método mais trabalhoso do que o CAD. Isso ocorre porque é necessário criar o modelo tridimensional e bidimensional em diferentes escalas e definir outras propriedades como o custo. Esses softwares se inserem no primeiro grau de automação do projeto e, em geral, oferecem o aumento de eficiência e produtividade.

Para o arquiteto autônomo, adotar o computador poderia reduzir sua carga de trabalho e aumentar seu tempo livre, mas nem sempre é isso que acontece. O tempo economizado acaba sendo direcionado para outras atividades como aumentar a pesquisa e as trocas com o cliente ou detalhar ainda mais o projeto (caso o detalhamento forneça um ganho financeiro na construção). Quando a automação se dissemina para todo o mercado, o crescimento da oferta de serviços reduz o preço do projeto e

obriga os profissionais a trabalharem o mesmo tempo para manter sua renda. O lado positivo é que o arquiteto poderia atender mais pessoas e estender o modo personalizado de produção para uma gama maior da população. O modo personalizado, como colocado anteriormente, geralmente propicia uma qualidade de ajuste melhor que os outros modos produção.

Para o arquiteto que é funcionário de um escritório, a situação é parecida. Segundo Arantes (2010, p. 116), o CAD transforma o ateliê em fábrica e o artesão do projeto (arquiteto) em operário trabalhando em função de um arquiteto-chefe (que exerce o papel criativo). Embora a relação de exploração no escritório de arquitetura já existisse antes, quando o desenho era analógico, a automação proporcionada pelo CAD e pelo BIM contribui para intensificar esse processo. A economia de tempo e as mudanças nas suas habilidades específicas fazem com que o investimento em equipamentos aumente (já que computadores, impressoras e programas são mais caros do que canetas, régua e papel) e na mão de obra diminua. A redução dos postos de trabalho resulta no crescimento relativo da oferta de arquitetos e na diminuição dos salários. A economia de tempo e o aumento dos ganhos são direcionados para o dono do escritório e não distribuídos entre os funcionários, elevando a concentração de renda.

A primeira automação do projeto, com as técnicas de representação, serviu para extrair o lucro do processo de construção. A segunda automação do projeto, com o computador, ampliou a extração de lucro de dentro dos escritórios de arquitetura. Diante da possibilidade de majorar a produtividade e os lucros, a adoção dos softwares pelos escritórios de arquitetura foi massiva.

A mudança provocada pelo CAD e pelo BIM é interna ao processo de projeto (pontual) e não transforma o modo fragmentado de produção (projeto, construção e uso) e nem o papel dos agentes envolvidos (projetista, construtor e usuário). Os softwares tratados até agora também não modificam significativamente o método de trabalho, pois o computador é usado como uma prancheta ou maquetaria digital, e não há reflexos expressivos nas formas produzidas.

4.3 SIMULAÇÕES

Em geral, modelos físicos representam apenas a geometria do espaço. Em alguns casos, eles são utilizados em conjunto com máquinas que simulam sistemas dinâmicos, como túneis de vento para analisar a ventilação, heliodon para mensurar a

insolação e aparelhos que aplicam cargas na estrutura para testar a sua resistência. Como essas máquinas são grandes e caras, simulações no computador têm sido cada vez mais usadas para substituí-las. Como o computador já é muito empregado na produção de modelos geométricos, a tendência é que as simulações sejam cada vez mais incorporadas ao processo de projeto.

As simulações no computador para análise ambiental (iluminação, conforto térmico, ventilação, acústica), fluxos, estruturais e de impacto ambiental (prevendo os efeitos da construção no entorno e do entorno na construção) já apresentam resultados equivalentes aos das maquetes físicas. Com a automação do cálculo, da análise estrutural e do conforto térmico, luminoso e acústico, o processo de avaliação fica mais rápido. Como também é mais fácil modificar um modelo eletrônico do que uma maquete física, o projetista consegue testar mais possibilidades em menos tempo, além de ter mais liberdade para criar novas formas, pelo fato de não precisar se ater ao convencional que já possui eficiência empiricamente comprovada.

A automação complementa a capacidade mental do arquiteto, viabilizando a criação de espaços que não seriam possíveis sem ela e abrindo novas alternativas para expressão estética. O uso mais interessante desses softwares é em conjunto com a modelagem paramétrica, por permitir aplicar os resultados da simulação para otimizar automaticamente a geometria.

4.4 MODELAGEM PARAMÉTRICA

Outra forma de automação da produção de modelos é o desenho paramétrico. No processo de projeto tradicional, a forma é modelada diretamente, como uma escultura. Já no modelo paramétrico, o projetista determina as relações principais por meio de um algoritmo e deixa alguns parâmetros em aberto para que possam ser posteriormente manipulados. Cada algoritmo pode gerar dezenas, milhares ou infinitas formas. O grau de indeterminação é um pouco maior do que no processo tradicional mas varia conforme o algoritmo do arquiteto, que pode ser mais restrito ou mais aberto. Um software popularmente usado para modelagem paramétrica na arquitetura é o *Rhinoceros 3D* associado ao *plug-in Grasshopper 3D*.

Embora o BIM use objetos paramétricos, a articulação do espaço não é, em geral, paramétrica. Os parâmetros do BIM são utilizados principalmente para armazenar informações como custo e material de um elemento ou para fazer pequenos ajustes em um modelo, adequando suas medidas. Já no desenho paramétrico, a forma geral

TABELA 1 – Tipos de modelagem paramétrica

	MANIPULAÇÃO DE PARÂMETROS	SELEÇÃO DE FORMAS
1	Arquiteto	Arquiteto
2	Automático (software)	Arquiteto
3	Automático (software)	Automático (software)
4	Cliente	Cliente

FONTE: elaboração própria.

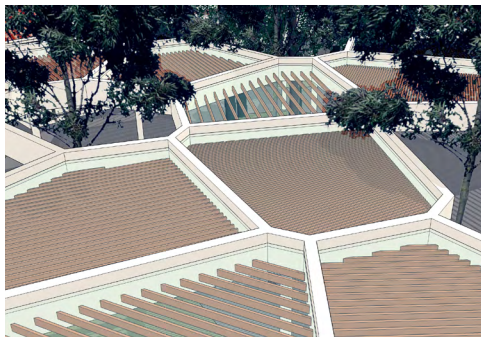
do espaço é determinada por algoritmos, mesmo que depois os arquitetos recorram a processos convencionais para detalhar o interior.

A principal mudança trazida pela modelagem paramétrica se refere ao raciocínio de projeto, pois o arquiteto deixa de pensar na forma exata que anseia obter e passa a focarem quais elementos devem ser fixos e quais elementos podem ser alterados pelos parâmetros.

Os parâmetros abertos à manipulação podem estar relacionados a questões ambientais, como a geolocalização, o clima, o movimento do sol, a direção de implantação (norte, sul, leste ou oeste); aspectos estruturais, como o tipo de terreno e sua topografia; questões familiares, como o número e tamanho dos cômodos, disposição etc.

Embora seja possível desenhar projetos esteticamente similares ao que se fazia na prancheta e nos programas CAD tradicionais, a modelagem paramétrica facilita a criação e o detalhamento de formas visualmente complexas, estimulando o desenvolvimento de um novo movimento estético. Esse sistema também proporciona outras mudanças que variam de acordo com sua aplicação, que pode ser categorizada levando em conta duas características: quem realiza a seleção de formas e quem manipula os parâmetros (Tabela 1).

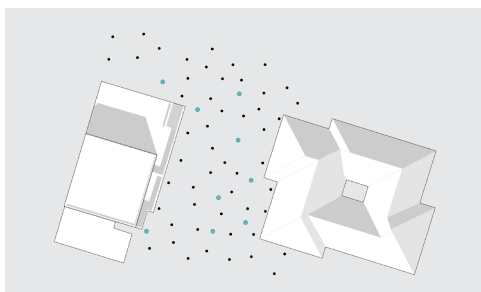
O **primeiro caso** é quando o próprio arquiteto é quem cria o modelo e manipula os parâmetros até encontrar a forma desejada. Se o modelo for utilizado apenas uma vez, não há grandes diferenças se comparado ao projeto com CAD, a não ser a complexidade formal possível. Um exemplo é o projeto Pérgola Tamboril, para o Instituto Inhotim, que participei do desenvolvimento quando era estagiário no escritório Urbana Arquitetura. Foi criada uma pérgola com base em um Diagrama Voronoi (FIGURA 12), que tinha como geradores as coordenadas das árvores do local. Foi um projeto para um lugar específico, e o algoritmo nunca mais foi aplicado. Se o arquiteto reutilizar o modelo diversas vezes alterando os parâmetros para adaptá-lo a diferentes si-

FIGURA 12 – Projeto Pérgola Tamboril.

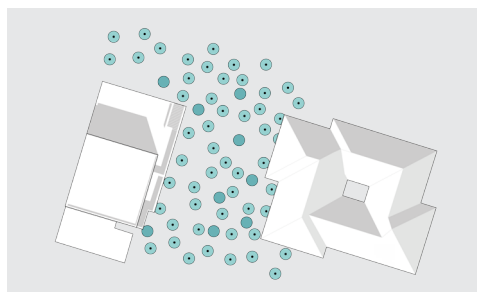
Vista superior



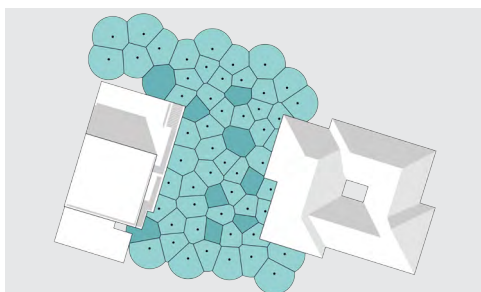
Vista inferior



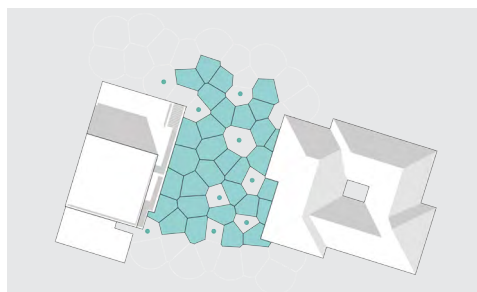
Demarcação das árvores e pontos auxiliares



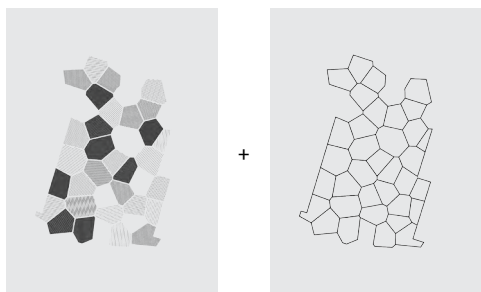
Raio de abrangência



Conformação do Voronoi

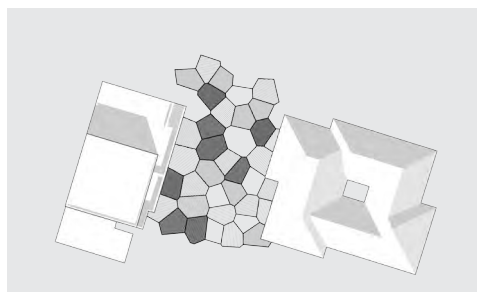


Recorte funcional



Brises

Vigas



Configuração final

FONTE: elaboração própria, 2012.

tuações, há um ganho de produtividade (que compartilha as mesmas consequências do ganho de produtividade no caso do CAD tradicional).

O **segundo caso** é quando o arquiteto cria o modelo, automatiza a geração de valores para os parâmetros, mas ele seleciona a forma. Ou seja, ele cria um algoritmo para preencher os parâmetros com diferentes valores e gerar um catálogo de modelos dos quais ele pode selecionar a forma desejada.

O primeiro e o segundo casos podem, dependendo de como forem utilizados, promover um ganho de produtividade, propiciar a criação de formas inéditas, gerar novas experiências estéticas para o usuário e aumentar a variedade dos espaços. No entanto, o produto final continua sendo um espaço “acabado”, às vezes ainda mais restrito em relação aos convencionais.

A forma mais popular de uso da modelagem paramétrica é como ferramenta para criação de formas ou cascas/peles com geometrias complexas que são totalmente determinadas pelo arquiteto (primeiro caso). Sem apresentar mudanças substanciais em termos de participação das pessoas no processo de projeto ou uma produção mais barata e adaptada às necessidades. Pelo contrário, o uso de geometrias complexas encarece a produção, já que os processos de fabricação e montagem exigem mão de obra mais qualificada e destoam das práticas convencionais do mercado.

Por isso, ela é pouco aplicada na arquitetura cotidiana; mas recorrente no que Arantes (2010) chama de arquitetura da exceção: projetos de arquitetos consagrados pelo atual sistema de distinção e premiação encomendados por governos ou empresas que representam simbolicamente um poder (administrativo, cívico, religioso ou corporativo). Os arquitetos têm grande liberdade de experimentação formal e, embora correspondam a uma pequena parcela da produção, podem ter um grande impacto na dinâmica das cidades. Existem muitos exemplos de estádios, museus, hotéis, grandes edifícios, sede de corporações e instalações artísticas que empregam o projeto paramétrico para criar edifícios visualmente distintos. Nesses casos, os ganhos são diferentes das demais mercadorias, pois os edifícios são feitos para ficarem fora do mercado imobiliário, seu valor está na representação e na distinção, estratégias adotadas por governos e corporações para valorizarem e fortalecerem sua marca.⁶¹

Embora o desenho paramétrico não seja uma condição necessária para esse

61 “A forma espetacular e única do edifício é adquirida a preços elevados para fundir-se com os valores da marca que promove” seja ela uma grife de roupas, como a Prada, de automóveis, como a BMW, bancos, como o DG Bank, casas de vinhos, como a Marquês de Riscal.” (ARANTES, 2010, p. 207).

processo, ele é um dos meios de expandir a forma arquitetônica ao limite de sua materialidade. Segundo Arantes (2010) essa expansão é necessária para a convergência entre arquitetura, publicidade e indústria do entretenimento, que visa a ampliar a renda informacional, característica do universo das marcas mundial.

4.4.1 Algoritmo evolutivo

O **terceiro caso** é quando o arquiteto cria o modelo paramétrico e automatiza a manipulação de parâmetros e a seleção da forma. Isso pode ocorrer de diferentes maneiras, mas sempre está associado a algum tipo de simulador. Por exemplo, o arquiteto deseja desenvolver um elemento para a fachada de um edifício que funcione como *brise-soleil*. Ele desenvolve o modelo de um painel opaco com orifícios com o diâmetro determinado por um parâmetro. Para otimizar a relação iluminação e temperatura interna, o profissional indica um algoritmo que vai manipular os parâmetros, simular o movimento do sol e calcular a iluminação e a temperatura para cada forma. No fim, o algoritmo seleciona a forma mais adequada de acordo com a meta determinada pelo arquiteto.

Como alguns parâmetros podem gerar infinitas formas, testar todas seria inviável. O **algoritmo evolutivo** se inspira na evolução biológica para contornar esse problema e, geralmente, oferece soluções bem aproximadas, pois não faz suposições sobre a adaptação ao ambiente. O *Galapagos*⁶² é um *plug-in* para *Grasshopper 3D* que implementa uma interface para a criação de algoritmos evolutivos.

Ele funciona da seguinte maneira: soluções (formas) possíveis são geradas aleatoriamente (com valores aleatórios para os parâmetros) e são análogas aos indivíduos de uma população; uma função determina a qualidade de cada solução; aquelas que tiverem o melhor resultado são selecionadas para se “reproduzirem”, e as demais são eliminadas; o valor dos parâmetros das melhores soluções são combinados gerando diversos “descendentes”; em seguida, o processo é repetido com a segunda geração, e novos “descendentes” são produzidos. Esse processo se repete quantas vezes o arquiteto desejar até ter um resultado satisfatório. Esse tipo de seleção pode ser feito para qualquer tipo de atributo que possa ser simulado e testado no computador, como a eficiência estrutural e acústica, a temperatura, o gasto energético, a ventilação, a iluminação etc. No entanto, é mais difícil aplicar em questões como

62 Mais informações sobre o *Galapagos* disponíveis em: <www.grasshopper3d.com/group/galapagos>. Acesso em: 23 fev. 2018.

qualidade espacial ou valor estético da forma devido à dificuldade em traduzir tais parâmetros em funções matemáticas.

Assim, podemos dizer que o algoritmo evolutivo é um processo autorregulado de geração de forma e corresponde ao segundo grau de automação. Seus limites são a aptidão do arquiteto de traduzir as demandas em metas e funções de adequação e a capacidade de processamento de dados do computador. Os resultados são melhores quando se aplica poucas variáveis e processos mais simples de serem simulados no computador. Tentar automatizar a produção de toda a forma de um edifício pode ser inviável, a não ser que seja usado um método para dividir o problema formal em problemas menores.

Como discutido na seção 2.1, a construção vernacular é um processo autorregulado similar à evolução que apresenta resultados, em geral, melhor adaptados ao contexto do que a arquitetura feita pelos arquitetos contemporâneos. Para Alexander (1973), o processo guiado por arquitetos falha porque as variáveis da arquitetura são muito interconectadas e, por isso, na tentativa de solucionar um problema, o profissional acaba gerando outros. Por exemplo:

Se não há luz suficiente em uma casa, por exemplo, e são adicionadas mais janelas para corrigir essa falha, a mudança pode melhorar a iluminação mas reduzir a privacidade; outra mudança para aumentar a iluminação, aumentando o tamanho das janelas, pode, talvez, deixar a casa mais propensa ao desmoronamento.⁶³ (ALEXANDER, 1973, p. 42, tradução nossa).

Segundo Alexander (1973), é necessário encontrar novas variáveis para o projeto de modo que os problemas estejam agrupados em subconjuntos pouco conectados uns aos outros, o que possibilita solucioná-los em um tempo finito e produzir edifícios adaptados. Ou seja, a fim de viabilizar o algoritmo evolutivo para todo o edifício e não apenas para um elemento (como o exemplo do *brise-soleil*), é necessário dividir as variáveis em grupos.

Alexander (1973, p. 39-41) exemplifica a questão com uma máquina conceitual que consiste em 100 lâmpadas interconectadas, sendo que cada uma delas pode estar acesa ou apagada. Toda lâmpada acesa tem 50% de chance de apagar no próximo segundo. Toda lâmpada apagada tem 50% de chance de acender no próximo

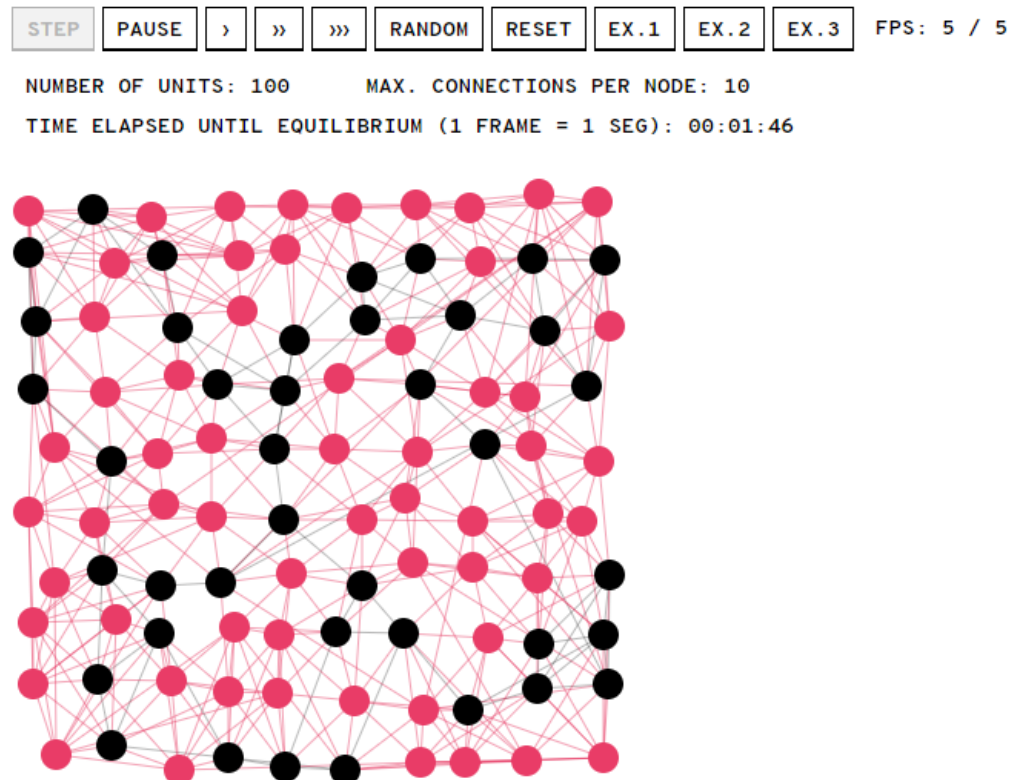
63 “Its interactions are the causal linkages which connect the variables to one another. If there is not enough light in a house, for instance, and more windows are added to correct this failure, the change may improve the light but allow too little privacy; another change for more light makes the windows bigger, perhaps, but thereby makes the house more likely to collapse. These are examples of inter-variable linkage.” (ALEXANDER, 1973, p. 42).

segundo se pelo menos uma das lâmpadas das quais ela está diretamente conectada estiver acesa. Em outras palavras, se uma lâmpada estiver apagada e as lâmpadas conectadas a ela também estiverem apagadas, ela não acenderá no próximo segundo. Portanto, se todas as lâmpadas apagarem, não será possível que nenhuma se acenda. Esse é o estado de equilíbrio ao qual o sistema chegará mais cedo ou mais tarde.

Esse sistema é análogo ao processo de criação de formas. Cada lâmpada é uma variável binária e corresponde no projeto a uma variável de ajuste. Se ela estiver apagada significa que está ajustada, e se estiver acesa denota que está desajustada. Uma lâmpada ligada ter 50% de chance de apagar corresponde ao fato de que, quando um desajuste aparece, esforços são realizados para corrigi-lo. Já lâmpadas apagadas poderem acender por estarem conectadas a lâmpadas acesas quer dizer que mesmo aspectos bem adaptados de uma forma podem ser desajustados por mudanças que tentam corrigir outro desajuste, por causa da conexão entre as variáveis (FIGURA 4, p. 37). O estado de equilíbrio, quando todas as lâmpadas estão apagadas, representa um ajuste perfeito ou uma adaptação.

Mais cedo ou mais tarde, todas as lâmpadas vão apagar, e o sistema ficará em equilíbrio. O tempo médio para que isso aconteça depende apenas do padrão de interconexão entre as lâmpadas. Por exemplo, caso não exista conexão entre as lâmpadas, uma vez que ela se apague, nada impedirá que ela continue apagada. O tempo médio para que todas se apaguem é um pouco maior do que o tempo médio que uma única lâmpada leva para se desligar, que é 2^1 segundos (ou seja, 2 segundos). Já no caso de todas as lâmpadas estiverem conectadas diretamente umas às outras, a única maneira pela qual o sistema pode chegar ao equilíbrio é se todas as 100 se apagarem simultaneamente. O tempo médio para que isso ocorra é da ordem de 2^{100} segundos (ou seja, 10^{22} anos). Como a idade do universo é apenas 10^{10} anos, podemos afirmar, em termos práticos, que o sistema nunca entrará em equilíbrio. Porém, o primeiro caso também é inútil, pois em qualquer sistema real a interconexão entre variáveis torna impossível que cada variável se adapte de maneira isolada.

Uma terceira possibilidade é dividir as 100 lâmpadas em dez subsistemas, cada qual com dez unidades. As lâmpadas dentro de cada sistema estão conectadas de modo que todas precisam ser desligadas simultaneamente para que continuem desligadas. Mas os subsistemas são pouco conectados entre eles, de modo que as lâmpadas de um podem se apagar sem que sejam reativadas por lâmpadas de outro. O tempo médio para que as 100 lâmpadas se apaguem é o mesmo período que

FIGURA 13 – Captura de tela do simulador de cem lâmpadas interligadas.

FONTE: acervo do autor.

LEGENDA: Simulador desenvolvido a partir da descrição de uma máquina conceitual proposta Alexander (1973, p. 39–41) de cem lâmpadas interligadas.

um subsistema leva para desligar, que é 2^{10} segundos, ou seja, pouco mais de quinze minutos. Claro, sistemas reais não se comportam de maneira tão simples, mas quinze minutos não é muito mais do que os dois segundos do primeiro caso, mas é muito menos que os 10^{22} anos do segundo. Nenhum sistema adaptativo complexo consegue adaptar-se em um período razoável de tempo se não houver subsistemas razoavelmente independentes.

Assim como o Homeostato, criei um simulador utilizando HTML, CSS e Javascript para testar essa máquina conceitual. A interface permite alterar o número de lâmpadas e conexões e calcula o tempo gasto até chegar ao equilíbrio. O resultado pode ser acessado em: estevamgomes.github.io/cybernetics/content/onehundred.html.

A interface (FIGURA 13) pode ser dividida em duas partes: uma barra superior com os controles do simulador; e uma área inferior, na qual está a representação das lâmpadas e suas conexões. As funções dos botões da barra superior são, da esquerda para a direita: o primeiro executa um passo do código (e somente fica ativo quan-

do a simulação está pausada); o segundo pausa ou reproduz a simulação; o terceiro, o quarto e o quinto alteram a velocidade para, respectivamente, 5 fps, 12 fps e 60 fps; o sexto reinicia a simulação com valores aleatórios para o número de lâmpadas, seu estado inicial (ligado ou desligado), e o número de conexões para cada lâmpada; o sétimo reinicia a simulação com o mesmo número de lâmpadas e conexões mas atribui valores aleatórios para o estado das lâmpadas e zera o contador de tempo; o oitavo, o nono e o décimo iniciam a simulação com os valores dos exemplos de Alexander; o oitavo é o primeiro exemplo no qual nenhuma lâmpada está conectada à outra; no nono, as lâmpadas estão muito conectadas (limitadas a 30 conexões por lâmpada para não sobrecarregar o computador); e o décimo é o modelo do grupo de dez lâmpadas com nove conexões cada. Ao lado dos botões há um mostrador que indica o número de fps executado e o número de fps desejado. Abaixo dos botões, há três mostradores que são, da esquerda para a direita: o primeiro exibe o número de lâmpadas e é interativo, para aumentar ou diminuir o número de unidades, alterar o valor desse campo (o mínimo são duas lâmpadas e o máximo 150); o segundo mostra o número de conexões por nó e também é interativo (o mínimo é zero e o máximo é o número de lâmpadas menos um); o terceiro expõe o tempo decorrido até chegar ao equilíbrio, sendo que cada frame corresponde a um segundo.

Na área inferior, há a representação do sistema. Cada círculo corresponde a uma lâmpada. Se o círculo estiver rosa, a lâmpada está acesa. Caso o círculo esteja preto, a lâmpada está apagada. As linhas entre os círculos são as conexões entre as lâmpadas. Clicar em um círculo apagado faz ele acender novamente e seu efeito se espalha. Ao testar os exemplos, é possível corroborar a explicação de Alexander; e manipulando os parâmetros, testar outros agrupamentos possíveis.

O algoritmo evolutivo é um processo de geração de forma autorregulado, pois tem um *loop de feedback* para corrigir os desvios da meta. O uso de algoritmos evolutivos pode ajudar a criar arquiteturas mais adaptadas para um contexto, principalmente em relação a questões ambientais. Todavia, como o contexto está sempre mudando, logo, ela se tornará inadequada. Por isso, corresponde ao segundo grau de automação. O uso de algoritmos evolutivos é essencialmente diferente do processo de produção autorregulado da forma que Alexander (1973) atribui às sociedades não autoconscientes; pois ocorre apenas na realização do projeto (e não continuamente) e é limitado pelas restrições de processamento e simulação do computador.

4.4.2 Arquitetura participativa

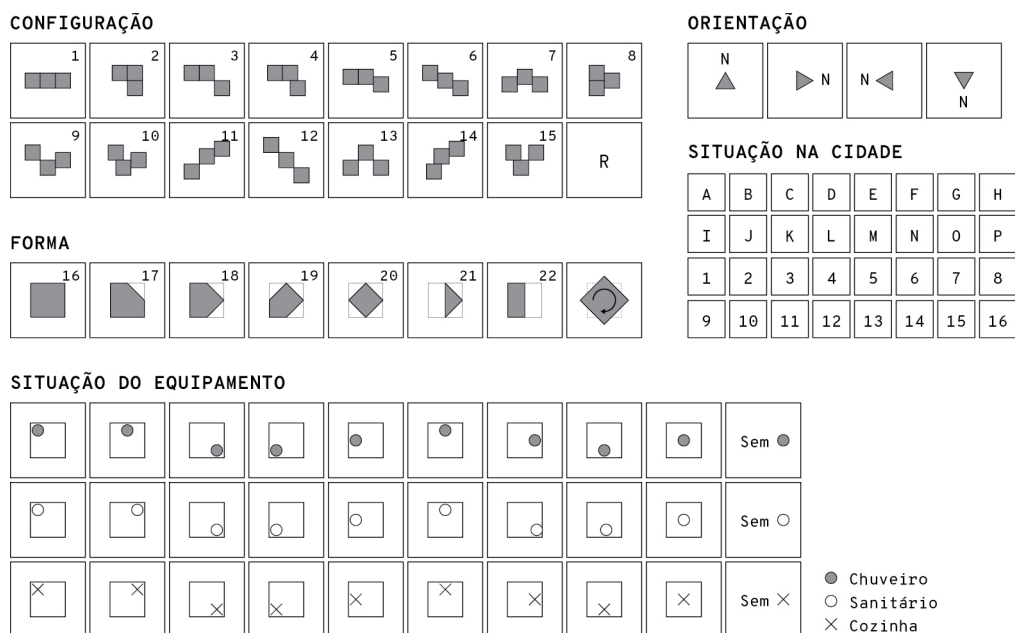
O **quarto caso** é quando o arquiteto cria o modelo, e os clientes manipulam os parâmetros e selecionam a forma. Dentro das limitações discutidas no primeiro capítulo, uma casa ou um apartamento personalizado é bem adaptado ao contexto se comparado às outras formas de produção. Porém, esse processo é mais caro, já que é necessário contratar um arquiteto para criar um projeto único. As casas produzidas em série, como os conjuntos habitacionais, achatam as necessidades para a média da população e ignoram as particularidades, fazendo que os habitantes se adaptem ao ambiente em vez de ajustar o ambiente às suas necessidades. Modelos paramétricos, dependendo de como forem usados, podem ocupar uma posição entre o personalizado e o seriado.

Como são parcialmente personalizáveis, os modelos paramétricos conseguem uma qualidade de ajuste melhor do que o projeto do modo mercantil. Entretanto, como há um núcleo rígido, desenvolvido pelo programador, que define uma série de relações no espaço, a qualidade de ajuste do modelo paramétrico é, na maior parte dos casos, menor do que nos modelos personalizados.

O custo do trabalho do arquiteto para criar um projeto, assim como na produção mercantil, é diluído entre as pessoas que farão uso dele, sendo mais barato em comparação ao modo personalizado. No entanto, o modelo paramétrico tende a ser mais caro do que o seriado, pois é um pouco mais difícil de produzir. Em teoria, é possível reduzir o custo até chegar próximo ao custo do modelo seriado e aumentar os parâmetros, ou refinar a escolha de parâmetros para chegar a uma adequação próxima do modelo personalizado, tornando esse processo de construção o melhor custo-benefício.

Os modelos paramétricos abertos permitem que as pessoas manipulem, simulem o resultado e avaliem suas demandas em tempo real. Claro, o processo é tanto mais participativo quanto mais parâmetros relevantes estiverem abertos à manipulação. O programa computacional que gerencia o modelo pode ser criado de modo que restrinja as opções a resultados viáveis ou emita alertas para combinações de variáveis que possam ser conflitantes.

Um exemplo dessa abordagem é a máquina conceitual *Flatwriter*, do arquiteto húngaro Yona Friedman. Friedman sempre se preocupou em ampliar a autonomia das pessoas em relação à produção espacial. Ele chegou a desenvolver manuais em uma linguagem acessível a qualquer pessoa (utilizando quadrinhos, texto, desenhos

FIGURA 14 – Teclado da Flatwriter.

FONTE: elaboração própria a partir dos esquemas em Friedman (1971, p. 100) e Yiannoudes (2016, n.p.).

e diagramas), que apresentavam questões ligadas à arquitetura e ao planejamento urbano, mostrando estratégias espaciais e discutindo suas consequências para que o leitor pudesse tomar suas decisões mais informado. A *Flatwriter* é um projeto que une sua preocupação com a participação e o uso de máquinas automáticas. Ela foi concebida, embora não tenha sido construída, para a Feira Mundial em Osaka (FRIEDMAN, 1971, p. 99). Friedman não chegou a projetar a parte eletrônica mas descreveu seu funcionamento por meio de diagramas e notas explicativas.

A *Flatwriter* (FRIEDMAN, 1971) seria composta por um teclado especial (FIGURA 14) desenvolvido para a interação com um programa de computador que permite aos usuários criarem a planta dos seus apartamentos sem a presença ou assistência direta de um arquiteto. Ela garante a coerência e a conexão entre os espaços e oferece *feedback* sobre a circulação de ar e iluminação. Ainda permite simular a inserção do apartamento na *Ville Spatiale*⁶⁴, sua proposta para uma megaestrutura residencial determinada pelos habitantes, para que não sobreponha nem atrapalhe a iluminação, a circulação de ar e o acesso de outros apartamentos. A *Flatwriter*, portanto, não apenas recebe dados dos usuários, mas também responde às suas escolhas para

64 A *Ville Spatiale* é um esqueleto estrutural de múltiplas camadas (*grid*) proposto por Friedman para criar uma cidade elevada que pode ser ajustado de forma flexível quando desejado. Ela oferece a infraestrutura necessária para que as pessoas criem seus apartamentos sem a ajuda de um arquiteto (FRIEDMAN, 20--a).

otimizar o resultado.

Em 1973, Friedman (20--b) forneceu instruções detalhadas sobre sua máquina para que fosse desenvolvido um software no MIT (Massachusetts Institute of Technology), em Cambridge (EUA), chamado Yona. Embora o software fosse diferente da ideia inicial de Friedman, o objetivo era o mesmo: possibilitar que as pessoas projetem suas casas sem que um intermediário, seja um ser humano ou uma máquina, crie soluções completas para elas. A interface é baseada em gráficos e em um método de projeto proposto por Friedman no livro “Towards a Scientific Architecture” (WEINZAPFEL; NEGROPONTE, 1976).

Nessas situações, o arquiteto desenvolve o software e o hardware utilizando as regras espaciais que julga serem adequadas. Os usuários, dentro dessas limitações do sistema, produzem seu próprio projeto. Dessa forma, o arquiteto abre mão de parte das decisões sobre o espaço, delegando-as aos futuros moradores. No caso de Friedman, o software é um modelo paramétrico, e o hardware é tanto a interface para a interação do usuário com o software como a própria infraestrutura para conexão dos apartamentos.

Apesar do planejamento ser mais inclusivo, modelos paramétricos não criam necessariamente relações mais adaptativas entre indivíduo e arquitetura. O resultado pode ser mais ou menos acabado dependendo do sistema construtivo e dos materiais utilizados. Se for usado concreto armado ou alvenaria estrutural, o espaço pode até ser adaptado, mas apresenta muita resistência à mudança. Se forem empregados sistemas modulares desenvolvidos para serem aplicados várias vezes e fáceis de montar e desmontar, os próprios habitantes poderiam planejar e executar mudanças nas suas casas assim que elas apresentassem problemas, reduzindo a fragmentação do processo de produção.

Um exemplo mais recente e inserido no contexto brasileiro é o programa desenvolvido por Lima (2017) para que outras pessoas produzam seus próprios projetos de *parklet*, alterando alguns parâmetros. O software não simula o uso do espaço pelas pessoas, mas o próprio usuário pode imaginar os efeitos de cada mudança que realiza no modelo e, talvez, alterar suas demandas. Além da camada funcional, outras camadas poderiam ser adicionadas, como simulações de efeitos ambientais.

Também é possível pensar programas paramétricos nos quais as pessoas não manipulem as formas diretamente, mas manejem outras variáveis que determinam relações entre espaços, áreas desejadas, possíveis usos ou comportamentos do sistema para que o computador gere sugestões de formas. O usuário poderia, então,

FIGURA 15 – Formulário para coletar informações sobre as atividades que seriam realizadas no Fun Palace.

Name of Activity		FUN PALACE PROJECT	
Number of participants			
Please answer the questions below with a tick for yes, and amplify your answers in the space provided further to the right.			
1. Are the participants	Lying?		
	Sitting?		
	Standing?		
	Moving about?		
2. Are any of the following facilities required, over and above normal provision?	Changing		
	Washing		
	W.C.		
3. Are any of the following services required?	Special Lighting		
	Special Heating		
	Acoustic Control		
	Air Conditioning		
	Special Portable Equipment		
4. Does the activity generate undue noise?			
Please return when completed to			
CEDRIC PRICE, M.A. Cantab ARIBA AA dipl 88 GEORGE ST., LONDON, W.1. WEL 6327			

FONTE: Form for acquiring information regarding an activity to be held at the Fun Palace (CCA, 20--). Disponível em: <www.cca.qc.ca>. Acesso em 3 de junho 2017.

FIGURA 16 – Tradução do formulário do Fun Palace.

Nome da Atividade		FUN PALACE PROJECT	
Número de participantes			
Responda as questões abaixo marcando a caixa para sim e amplie suas respostas no espaço disponível à direita.			
1. Os participantes estão:	Deitados?		
	Sentados?		
	Em pé?		
	Se movendo?		
2. Alguma das seguintes instalações são necessárias além da demanda normal?	Trocador		
	Chuveiro		
	Sanitário		
3. Algum dos seguintes serviços são necessários?	Iluminação especial		
	Aquecimento especial		
	Isolamento acústico		
	Ar condicionado		
	Equipamento portátil especial		
4. A atividade gera ruído indesejado?			
Ao completar envie para			
CEDRIC PRICE, M.A. Cantab ARIBA AA dipl 86 GEORGE ST., LONDON, W.1. WEL 2387			

FONTE: Elaboração própria com base em “Form for acquiring information regarding an activity to be held at the Fun Palace” (CCA, 20--).

selecionar entre as formas desejadas ou iniciar um diálogo com o programa, modificando as variáveis e vendo os efeitos até encontrar uma solução.

O formulário do *Fun Palace*⁶⁵ (FIGURA 15 e Figura 16) mostra como poderia ser um sistema de *inputs* voltado para o evento e não para a forma (geometria). As perguntas não eram sobre as dimensões ou a área desejada, mas sobre o uso, como a quantidade de pessoas, como elas estariam e usufruiriam do espaço, o tipo de atividade e sua relação com outros espaços (se a atividade produz e se aceita ruído). O computador do *Fun Palace* iria processar esses formulários e gerar o espaço físico. Provavelmente, o computador teria um modelo interno do espaço; porém, pela descrição, esse padrão não seria usado como *feedback* para as pessoas. Se os usuários tivessem acesso ao modelo seria possível encontrar e prever problemas, escolher entre opções criadas pelo computador e manipular os parâmetros para conseguir melhores resultados.

A automação por meio de modelos paramétricos poderia sanar a falta de profissionais e reduzir o custo de desenvolver um projeto personalizado, aumentando a variedade de espaços da cidade que, por sua vez, seria capaz de acomodar uma maior diversidade.

Teoricamente, esses softwares seriam capazes de auxiliar pessoas de baixa renda, que não podem arcar com os custos de um arquiteto, a planejarem melhor suas casas quando construídas do zero. Mas isso não soluciona todos os problemas, já que a falta de arquitetos não é a única causa, há, ainda, a falta de recursos. Além disso, é exatamente entre essas pessoas que há o maior déficit de computadores e, mesmo quando está presente, boa parte dos usuários não é fluente e nem tem tempo para aprender novos softwares. Isso tende a mudar com o barateamento de computadores, o acesso à internet e devido a uma nova geração de pessoas que já têm acesso a essas tecnologias desde a infância. Mas, ao menos por enquanto, o computador não é uma solução para os problemas de habitação de pessoas de baixa renda.

4.5 INTERFACES PARA INTERAGIR COM O MODELO

A automação tem potencial para criar um processo participativo mas depende da acessibilidade tanto financeira como operacional dos softwares. Os computadores, embora cada vez mais comuns na vida das pessoas, ainda são um obstáculo para

65 O projeto será discutido em detalhe posteriormente. Ver tópico 4.8.1, p. 123.

quem não tem intimidade com a interface, que não é muito intuitiva. Já os softwares CAD, em geral, são desenvolvidos para profissionais que investem tempo e dinheiro para se capacitar e não para usuários casuais. Dessa forma, o desenho digital amplia o controle do arquiteto sobre o produto final e dificulta a participação de operários, clientes e usuários, criando novas barreiras para a criação de projetos além do próprio desenho técnico.

Os *smartphones* contribuem para a mudança desse cenário ao apresentarem outras formas de *input* e *output* e serem mais disseminados do que os computadores pessoais. As lojas de aplicativos, como a *App Store* e a *Google Play*, viabilizaram a criação e a comercialização de softwares mais baratos, simples e voltados para nichos. Com a automação de alguns processos e as interfaces mais simples, fica mais fácil que pessoas sem conhecimento técnico possam fazer levantamentos de edificações e desenvolver projetos.

Além dos aplicativos citados anteriormente para levantamento de dados, há, também, o *Floor Plan Creator*⁶⁶, um aplicativo para computador que roda no próprio navegador e em dispositivos móveis *Android*, possibilitando criar plantas precisas e detalhadas, adicionar mobiliário e visualizar em três dimensões. O aplicativo calcula a área automaticamente e lista os itens usados, funciona com *mouse* e *Stylus* (caneta), e os projetos podem ter vários andares com cômodos de diversas formas desde que as paredes sejam retas.

Outro aplicativo é o *Easyhome Homestyler*⁶⁷, que tem versões para navegador no *desktop*, *Android* e *iOS*. Além das funcionalidades do *Floor Plan Creator*, ele possibilita intervir sobre uma fotografia. Para isso, basta tirar uma foto e alinhar um *grid* 3D sobre ela para inserir modelos de itens decorativos e mobiliário, alterar a iluminação, trocar os revestimentos e testar cores nas paredes.

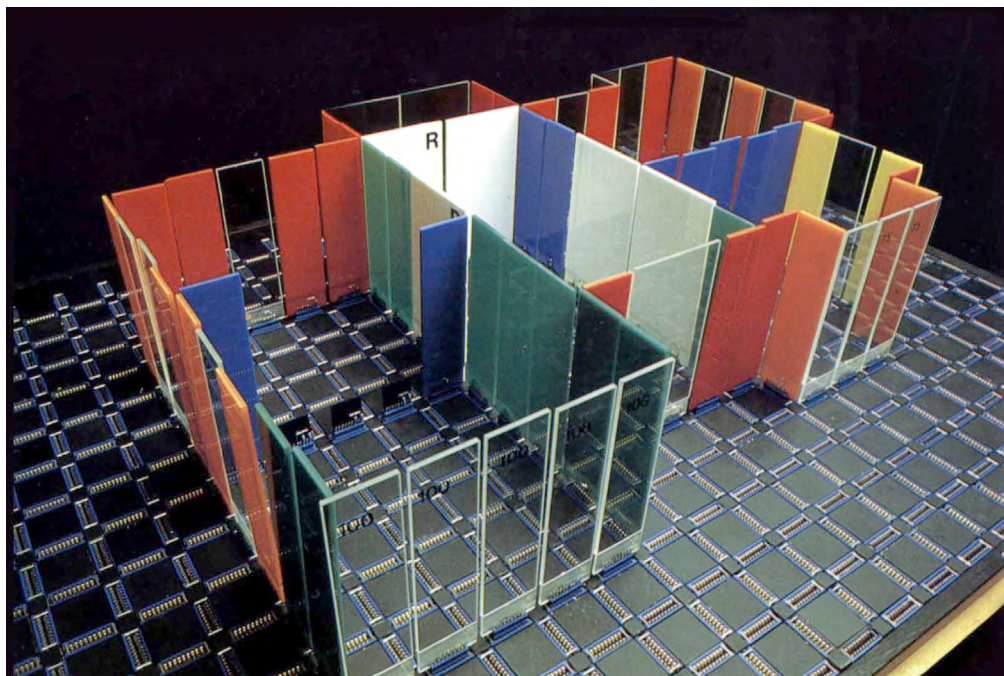
A preocupação em desenvolver interfaces mais simples e intuitivas para interagir com o computador não é nova:

O teclado e o mouse nunca me pareceram adequados para manipular modelos ou gráficos: uma mesa digitalizadora pode se assemelhar a uma prancheta, mas raramente é utilizada dessa forma. De qualquer maneira, estávamos ansiosos para nos afastar das abordagens convencionais de design, baseadas na prancheta.⁶⁸ (FRAZER, 1995, p. 37, tradução nossa).

66 Mais informações em: <floorplancreator.net>. Disponível em: <play.google.com/store/apps/details?id=pl.planmieszkania.android>. Acesso em: 15 mar. 2018.

67 Mais informações em: <www.homestyler.com/home>. Download do aplicativo em: <play.google.com/store/apps/details?id=com.autodesk.homestyler>

68 “The keyboard and mouse have never seemed to me well suited to manipulating models or graphics: a digitizing tablet might be closer to a drawing board, but it is rarely used in that way. In any case, we

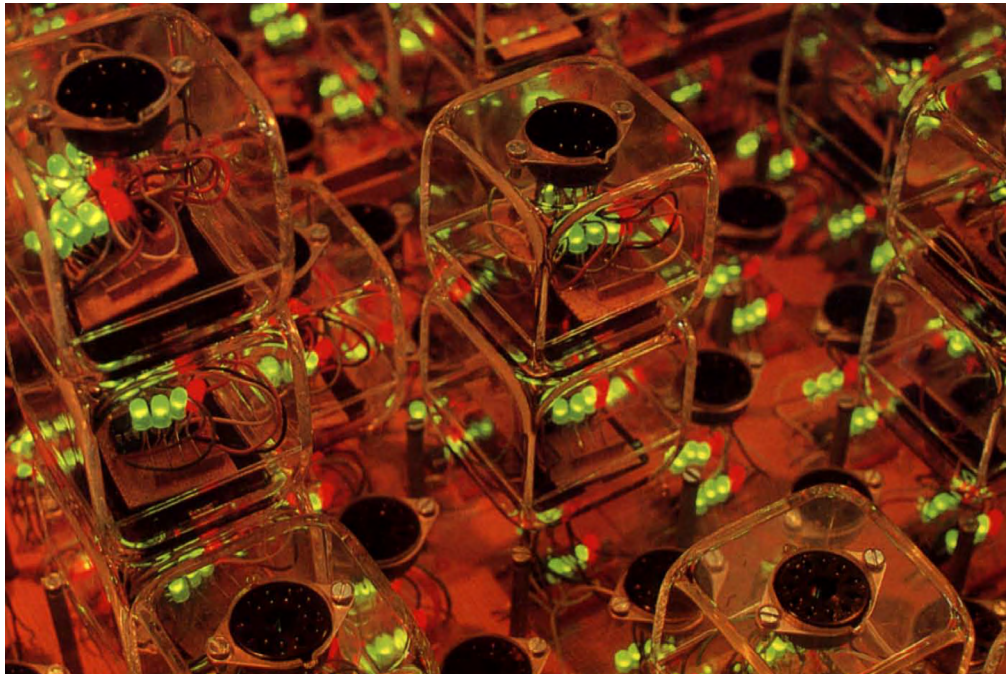
FIGURA 17 – Walter Segal Model, 1985.

FONTE: Frazer (1995, p. 42).

LEGENDA: Interface desenvolvida por John Frazer (eletrônica), Julia Frazer e John Potter (software) para criar modelos de espaço compatíveis com o método de construção desenvolvido por Walter Segal.

A *Flatwriter*, discutida anteriormente, é um exemplo de interface não convencional para projetar. Frazer (1995), em seu livro “An Evolutionary Architecture”, descreve alguns de seus experimentos, como *Generator*, *Walter Segal Model* e *The Universal Constructor*. O projeto do *Generator* envolve a automação não apenas da concepção, como também de outras etapas do processo de produção do espaço, sendo explicado à frente em detalhe no tópico 4.8.2. O *Walter Segal Model* (FRAZER, 1995, p. 41-43), por sua vez, é um modelo criado por Frazer e sua equipe como complemento à técnica de construção desenvolvida por Walter Segal, que é voltada para autoconstrutores. A técnica se baseia no uso de uma estrutura de madeira em *grid* que possibilita o corte econômico de painéis padronizados disponíveis no mercado. Segal imaginou que os autoconstrutores também poderiam projetar os espaços e propôs que construíssem modelos em escala utilizando palitos de fósforo para representar o módulo do *grid*. No entanto, Segal percebeu que era necessário ajudar as pessoas na interpretação dos modelos. Para isso, Frazer e sua equipe desenvolveram uma interface eletrônica (FIGURA 17) composta por uma base com ranhuras em *grid* quadriculado

were eager to get away from conventional, drawing board dependent design approaches” (FRAZER, 1995, p. 37).

FIGURA 18 – Construtor Universal, 1990.

FONTE: Frazer (1995, p. 49).

LEGENDA: Modelo funcional de um ambiente interativo auto-organizado.

e uma série de painéis que podiam ser encaixados nelas para construir uma maquete em escala. As ranhuras da base continham conectores eletrônicos que seriam capazes de saber qual tipo de painel estava conectado (como parede, porta, janela etc.). Essa informação era transmitida para um computador que gerava plantas, modelos tridimensionais e desenhos estruturais, além de calcular a área e os custos. Dessa forma, o programa possibilitava que pessoas sem conhecimento de arquitetura ou computadores pudessem projetar uma casa por meio de uma interface física.

O Construtor Universal (*The Universal Constructor*) é similar ao *Walter Segal Model* (FRAZER, 1995, p. 44-49). No entanto, em substituição aos painéis, ele utiliza cubos que podem ser colocados lado a lado ou empilhados (FIGURA 18). Cada cubo também possui um microcontrolador, um código de identificação, conectores para se comunicar com os cubos que estão acima e abaixo e alguns LEDs (*Light Emitting Diodes*) que podem ser usados para representar seu estado, seu código ou transmitir uma mensagem ao usuário. Os cubos representam o ambiente ou uma estrutura e são dispostos sobre uma base que lê sua localização e detecta mudanças imediatamente. O estado de cada célula pode ser mapeado em um dispositivo de *output* gráfico, que é representado por uma cor ou transformação geométrica.

Atualmente, microprocessadores, sensores e atuadores são mais acessíveis economicamente e tecnicamente. Isso ocorreu devido a vários fatores, como expansão da cultura *Maker* (ou faça-você-mesmo); proliferação dos *smartphones* que estimulou a produção em larga escala dos componentes, barateando-os; e criação do microcontrolador e ambiente de programação *Wiring*, que deu origem ao Arduino⁶⁹. Com tudo isso, tornou-se mais fácil criar ferramentas físicas para modelagem digital e até interfaces físicas para negociação das pessoas com resultado exibido no modelo digital. No entanto, isso ainda é pouco explorado por falta de interesse em alterar o modelo produtivo e garantir mais autonomia ao usuário.

Um dos softwares que pode ser usado para monitoramento do espaço e mudanças em tempo real no modelo é o *Firefly*⁷⁰ associado a um *smartphone* ou conectado a um microcontrolador Arduino que, por sua vez, conecta-se a sensores no espaço. Para demonstrar essa conexão, foram realizados dois experimentos no âmbito desta pesquisa. O primeiro mapeando o valor de um potenciômetro (que era lido por um Arduino e enviado ao computador) em parâmetros de um modelo eletrônico. No segundo, o potenciômetro e o Arduino foram substituídos por um *smartphone*. A conexão com o computador foi realizada utilizando um aplicativo para *iOS* chamado *TouchOSC* que transmite os dados dos sensores do dispositivo para o computador. Esses dados são capturados pelo *Firefly* e podem ser aplicados para alterar parâmetros no modelo. No teste executado, os dados do giroscópio foram utilizados para girar o modelo, mas eles poderiam facilmente ser transferidos para modificar o número de andares ou o tamanho de um ambiente. Esses experimentos demonstram como as tecnologias para criar interfaces alternativas estão acessíveis e que podem ser facilmente associadas com softwares de modelagem paramétrica, como o *Rhinoceros*.

4.6 FABRICAÇÃO DIGITAL

Os itens anteriores tratam da automação do projeto. Este tópico é dedicado à automação da construção. Embora existam várias máquinas manuais e automáticas no

69 O *Arduino* é uma plataforma eletrônica de código aberto, que visa a simplificar e facilitar a prototipagem de sistemas eletrônicos. As placas *Arduino* contêm um microcontrolador programável ligado a uma série de entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) elétricas, nas quais é possível conectar vários tipos de sensores e atuadores. As leituras dos sensores e as ações dos atuadores são determinadas pelo microcontrolador, que pode ser programado por meio de um computador utilizando a linguagem de programação Arduino (baseada no *Wiring*) e o Software Arduino (IDE), baseado no *Processing*. Para mais informações acesse o site: <www.arduino.cc>. Acesso em: 8 out. 2016.

70 O *Firefly* é um *plug-in* para o *plug-in Grasshopper* para o software de modelagem *Rhinoceros 3D*. Disponível em: <www.fireflyexperiments.com>. Acesso em: 1 jun. 2017.

processo de construção civil, o ponto central é a Fabricação Digital, que é a produção de objetos utilizando máquinas controladas por computador.

No grau zero de automação na construção civil, há as máquinas manuais que estendem os atuadores humanos, como martelo, serra, serrote, carrinho de mão, espátula, pincel, rolo, pá, enxada etc. E também os que ampliam os sensores humanos, como medidor de nível, trena, prumo, fita métrica, paquímetro, teodolito etc.

Podemos considerar como primeiro grau de automação na construção civil as máquinas automáticas lineares que complementam a ação humana, como a furadeira, serra circular, lixadeira, esmerilhadeira, martelete, betoneira, e aquelas que complementam a percepção humana, como as versões eletrônicas dos sensores anteriores (trena digital, paquímetro digital).

Atualmente, alguns avanços tecnológicos apontam para o aumento da automação. O processo de produção auxiliado por computador é chamado de **fabricação digital** ou *computer-aided manufacturing* (CAM, tradução literal: fabricação auxiliada por computador). A fabricação digital consiste em traduzir modelos digitais em instruções – como coordenadas, velocidade e potência do laser – a serem executadas por uma máquina CNC (Controle Numérico Computadorizado) a fim de produzir um objeto. Grosso modo, existem dois métodos de fabricação digital: o processo aditivo e o processo subtrativo.

O processo aditivo compreende adicionar o material camada por camada, assim como se faz uma escultura de cerâmica. Sendo o exemplo mais popular (e barato) a impressora 3D com filamentos de plásticos, que derrete e deposita camada sobre camada. Existem outros tipos de impressora 3D que usam diferentes materiais e métodos de impressão, mas costumam ser mais caras ou experimentais, como a impressora que utiliza o calor do sol para fundir a areia.⁷¹

O processo subtrativo se fundamenta na remoção do material de um bloco ou uma chapa até sobrar apenas o que se almeja; da mesma forma que se esculpe o mármore, a pedra-sabão ou a madeira. Por exemplo, um escultor começa com um grande bloco de mármore e remove progressivamente camadas do material com a ajuda do martelo, do cinzel e da lixa, até que reste somente a escultura. Algumas das máquinas usadas nesse processo são: torno, fresadora, corte a jato d'água, corte a laser, corte a faca e corte a plasma. A escolha da máquina varia de acordo com o tipo de material (metal, plástico, resina, espuma, gesso) que se deseja cortar, o resultado

71 Ver Solar Sinter Project, projeto de mestrado em design de produtos de Markus Kayser desenvolvido no Royal College of Art. Disponível em: <vimeo.com/25401444>. Acesso em: 20 mar. 2018.

desejado e os graus de liberdade. A fresadora se move em pelo menos três eixos, sendo capaz de esculpir peças em três dimensões. Já as cortadoras funcionam basicamente em duas dimensões. A espessura e o tipo de material aceito dependem da potência dos motores, da capacidade de corte das lâminas e brocas ou da potência do laser.

Na arquitetura, a aplicação da fabricação digital vai desde a produção de modelos tridimensionais em escala reduzida até a criação de protótipos e objetos finais na escala um para um. A formação de modelos na fase de projeto é uma ferramenta útil para que o arquiteto possa fazer testes consecutivos sem precisar gastar muito tempo e dinheiro no desenvolvimento de modelos. No entanto, o foco deste tópico são as mudanças no canteiro de obras. Na produção de construções em escala real, a fabricação digital é pouco difundida e está presente principalmente em experimentos e instalações artísticas de pequena escala, mobiliário e em projetos especiais (arquitetura de exceção), principalmente associada aos programas paramétricos para criar formas complexas (FIGURA 19).

O uso mais comum é a fabricação subtrativa com cortadoras e fresadoras para produção peças pré-fabricadas não seriadas que, depois, são manualmente montadas no local. A montagem de peças não-seriadas é mais complexa do que o processo seriado e exige mão de obra mais qualificada. Essas peças podem ser a estrutura final ou formas para fabricar estruturas de concreto. Esse tipo de automação é mais simples, pois as máquinas não se relacionam diretamente com o terreno, visto que a montagem continua sendo feita por pessoas.

Já a fabricação aditiva de edifícios ainda está em fase inicial de desenvolvimento e é um pouco mais complicada, principalmente se for feita *in loco*. A escala do edifício torna o custo para desenvolver e usar uma CNC proibitivo, e o canteiro de obras é muito complexo para as máquinas operarem, o que dificulta a automação. Além disso, os salários da construção civil costumam ser baixos já que a mão de obra precisa de pouca ou nenhuma qualificação. Quando o desemprego está em alta, a procura por trabalhos na construção aumenta, e o salário tende a baixar. Por isso, automatizar a construção civil não é um investimento tão atrativo tal como em outros ramos, como na indústria automobilística. Mesmo assim, existem várias empresas empenhadas nessa tarefa.

Em 2014, a companhia chinesa Winsun Decoration Design Engineering desenvolveu uma impressora 3D de 10 metros de largura por 6,6 metros de altura e imprimiu dez casas de um andar em menos de 24 horas. As casas eram formadas por

FIGURA 19 – Exemplos de uso da fabricação digital para produção de peças não seriadas.



Matsys + Riyad Joucka, 2012. Shellstar Pavilion.
Foto: Dennis Lo.



Oleg Soroko, 2016. Falcon Bench.
Foto: Oleg Soroko.



Jürgen Mayer H., 2012. Metropol Parasol.
Foto: Javier Orive.



LAB5 Architects, 2013. SPAR Flagshipstore.
Foto: Zsolt Batár.

FONTE:

Shellstar Pavilion: <www.matsys.design/shellstar-pavilion>

Falcon Bench: <www.behance.net/gallery/35750349/Falcon-bench>

Metropol Parasol: <www.archdaily.com.br/br/01-27417/metropol-parasol-jurgen-mayer-h-architects>

SPAR Flagshipstore: <www.archdaily.com/463327/spar-flagshipstore-lab5-architects>

Acesso em: 8 set. 2018.

painéis que foram impressos previamente em uma fábrica e montados no local. O encanamento, a fiação elétrica e o isolamento foram adicionados manualmente após a construção (STOTT, 2014). O material usado é feito com uma mistura à base de cimento que contém resíduos de construção e fibra de vidro.

Em 2015, a empresa de engenharia italiana Wasp (World's Advance Saving Project) também criou uma impressora 3D com aproximadamente 12 metros de altura e 6 de diâmetro. Ela pode utilizar materiais como barro, argila ou concreto e o funcionamento é um pouco diferente das impressora 3D mais comuns, pois seu bico é um robô *delta*⁷² (LOTT-LAVIGNA, 2015).

Em 2017, uma *startup* de São Francisco (EUA), chamada *Apis Cor*, imprimiu as paredes de concreto de uma casa de aproximadamente 37m² em menos de 24 horas.⁷³ A impressora, que se assemelha a um pequeno guindaste, constrói apenas as paredes. Depois de pronta, operários fizeram as instalações elétrica e hidráulica, colocaram o isolamento, as janelas, os eletrodomésticos e o telhado (WOOLLASTON; STEADMAN, 2017).

Em 2018, uma casa protótipo de concreto de 35m² foi construída em 48 horas pela construtora Icon⁷⁴ em parceria com a organização sem fins lucrativos *New Story*⁷⁵. A estrutura foi produzida por uma impressora 3D de concreto de aproximadamente 6 metros de largura e 3,3 metros de altura. O telhado, as esquadrias, as instalações hidráulica e elétrica foram adicionadas posteriormente (LEE, 2018).

Todas essas experiências são similares, com pequenas variações na composição do material e no movimento das máquinas. Mas todas ainda estão em fase experimental e não foram utilizadas em grande escala.

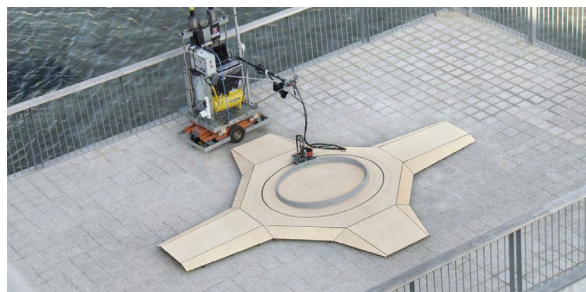
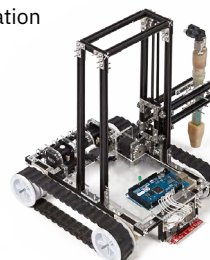
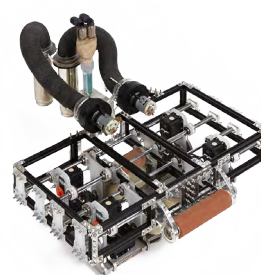
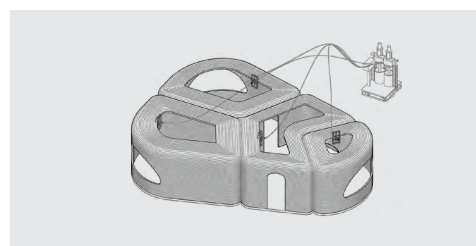
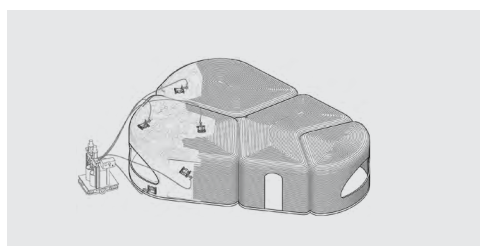
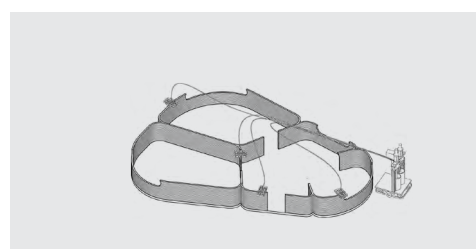
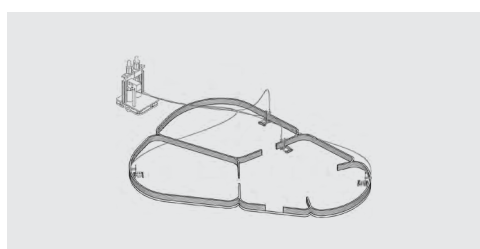
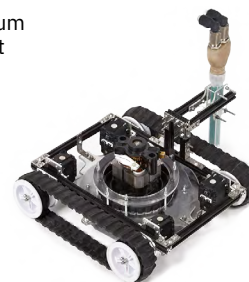
Uma abordagem um pouco diferente são os *Minibuilders* (FIGURA 20) desenvolvidos por Saša Jokić, Petr Novikov e sua equipe (Shihui Jin, Stuart Maggs, Dori Sadan, and Cristina Nan) no Institute for Advanced Architecture of Catalonia (IAAC) (FLAHERTY, 2014). Os exemplos anteriores usavam robôs com estruturas em pórtico que precisam ser maiores do que a própria construção, o que torna as máquinas caras e limita o tamanho do edifício. Os *Minibuilders* também constroem com fabricação aditiva usando concreto líquido, mas sua escala é bem menor. O núcleo do sistema é uma unidade volumosa que abriga dois grandes cilindros que armazenam

72 Um robô delta é um tipo de robô paralelo composto por três braços ligados a juntas universais na base.

73 Vídeo disponível em: <www.youtube.com/watch?v=GUDnrnjT5Q>. Acesso em 12 mar. 2018.

74 Disponível em: <www.iconbuild.com>. Acesso em: 8 abr. 2018.

75 *New Story* é uma organização sem fins lucrativos que ergue casas para pessoas pobres em países em desenvolvimento. Disponível em: <newstorycharity.org>. Acesso em: 8 abr. 2018.

FIGURA 20 – Minibuilders.Foundation
RobotGrip
RobotVacuum
Robot

FONTE: Disponível em: <robots.iaac.net>. Acesso em: 8 set. 2018.

e bombeiam o material. Esse cilindro é conectado por longos tubos a três pequenos robôs que contêm um bico extrusor e se movimentam facilmente pela construção. Cada robô é especializado em uma tarefa⁷⁶. O *Foundation Robot* se move com as rodas apoiadas no chão e segue uma linha desenhada no piso pelo arquiteto. O robô deposita camadas de material paralelas à linha até chegar a uma altura suficiente para que a estrutura funcione como um trilho para o *Grip Robot*. O *Grip Robot* se agarra às paredes usando quatro rolos e deposita novas camadas de material. O terceiro e último robô é o *Vacuum Robot* que se prende à superfície da parede com um gerador de vácuo e uma ventosa e se move utilizando rodas apoiadas na parede. Esse robô aplica camadas de concreto perpendiculares às outras para reforçar a estrutura.

Essas iniciativas são interessantes, mas ainda muito limitadas. Em geral, funcionam apenas em uma superfície plana, e as máquinas precisam ser instaladas e monitoradas por pessoas. Além disso, a construção automática se limita à estrutura, e seus aspectos formais reproduzem a arquitetura convencional.

Uma proposta que não se restringe a replicar a tipologia tradicional é a *Protohouse* (FAIRS, 2012), projeto desenvolvido pelo escritório Softkill Design⁷⁷. A estrutura foi projetada utilizando um algoritmo que imita o crescimento ósseo. A intenção era maximizar a eficiência estrutural, reduzindo o gasto de material e barateando a construção. Os autores imaginaram que a estrutura poderia ser dividida em seções, impressa em 3D em uma fábrica e, posteriormente, transportada e montada no local. Um modelo em escala foi feito de plástico. Para construir em escala real, os autores sugeriram que também seria possível usar plástico, embora o projeto possa ser adaptado para outros materiais. O resultado é um edifício com um visual poroso que não se assemelha em nada com a arquitetura tradicional e, certamente, não poderia ser construído com tijolos e argamassa. Apesar da eficiência estrutural, sua forma provoca novos problemas. Por exemplo, se a cobertura for instalada externamente, as fibras se tornariam um local de acúmulo de poeira e um empecilho para limpeza. Mas se a cobertura for instalada internamente, as fibras podem virar o habitat de vários animais indesejados.

Além desses problemas e assim como nos outros projetos citados, as estruturas são tão rígidas e resistentes à mudança quanto a alvenaria estrutural. Por isso, são difíceis de transformar para que relação com o contexto permaneça adaptada. Por

⁷⁶ Disponível em: <robots.iaac.net>. Acesso em: 4 mar. 2018.

⁷⁷ Grupo composto por Nicholette Chan, Gilles Retsin, Aaron Silver e Sophia Tang, ex-alunos de mestrado em Arquitetura e Urbanismo na Architectural Association, Londres.

isso, tais edifícios não são tão adaptativos.

Existem propostas diferentes de incorporação dos robôs na construção que, de certa maneira, imitam a forma como construímos. A dupla de arquitetos suíços Fabio Gramazio e Matthias Kohler, por exemplo, já realizou vários experimentos nos quais usam um braço robótico para empilhar tijolos e criar um espaço (WAIBEL, 2011). Em outro experimento, eles se juntaram a Raffaello D'Andrea para desenvolverem, em cooperação com a *ETH Zurich*, a instalação *Flight Assembled Architecture* (FURUTO, 2011) que consiste em *drones* quadricópteros trabalhando em paralelo para construir uma estrutura de mais de 1200 módulos pré-fabricados de espuma de poliuretano. A estrutura final tem seis metros de altura e três metros de diâmetro. Os robôs são programados para interagir, levantar, transportar e montar os módulos. A construção é um modelo em escala (1:100) de uma vila vertical conceitual de 600 metros de altura para 30 mil habitantes.

Outro exemplo é a escavadeira autônoma que está sendo desenvolvida pela *startup* americana *Built Robotics* (SIMON, 2018). Ela consiste em um trator *Bobcat* adaptado com sensores similares ao de carros autônomos (usam a tecnologia Lidar⁷⁸) desenvolvidos especialmente para situações de alta vibração e impacto, possibilitando que ela mapeie o entorno e saiba a quantidade de material em sua pá. Ela também conta com um GPS de alta-precisão que combina dados do satélite e uma base local, para, associado aos outros sensores, localizar-se com a precisão de um centímetro. O robô precisa apenas das coordenadas e da profundidade para realizar o movimento de terra. Segundo os donos da empresa, essa tecnologia tem o potencial de ser aplicada antes mesmo dos carros autônomos, pois o ambiente da construção civil é mais confinado e controlado do que a rua.

A fabricação digital pode viabilizar a produção personalizada e adaptada em larga escala, pois o custo de produção de centenas de casas iguais ou diferentes é, aproximadamente, o mesmo, já que esse processo não utiliza moldes ou fôrmas. No entanto, ela continua sendo mais cara em relação às formas tradicionais de construção, principalmente nos países onde o trabalho manual é desvalorizado.

Apesar de a produção personalizada facilitar a construção de edifícios adaptados, os principais materiais utilizados não contribuem para aumentar a adaptabilidade da relação. Além disso, como em qualquer outro processo de automação na indústria, a fabricação digital substitui parcialmente o trabalho humano, visto que

78 LIDAR é uma tecnologia óptica de detecção remota que mede propriedades da luz refletida de modo a obter a distância de um objeto.

ainda é necessário instalar a máquina no local ou montar as peças, reduzindo os empregos na construção civil. Como ela aumenta o controle do projetista sobre o resultado, isso reduz a já escassa participação dos operários nas decisões criativas realizadas no canteiro de obras, transformando-os em montadores de peças ou supervisores de máquinas.

No entanto, do ponto de vista do arquiteto, a automação pode fazê-lo se aproximar do canteiro de obras e desenvolver projetos mais adequados aos processos construtivos, já que dominar a operação de algumas máquinas é mais simples e rápido do que entender todas as técnicas construtivas tradicionais.

Do ponto de vista do cliente, a fabricação digital torna a construção mais acessível por reduzir a barreira de conhecimento necessária para transformar espaços. As pessoas poderiam, por exemplo, ter acesso a um grande banco de dados de projetos para baixar e imprimir. Elas também poderiam utilizar projetos paramétricos participativos para gerar modelos a serem produzidos por máquinas CNC.

4.7 AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL

Automação residencial, automação predial, edifício inteligente e domótica⁷⁹ são alguns dos termos usados para se referir ao uso de máquinas eletrônicas para controlar elementos e variáveis arquitetônicas das edificações. Os equipamentos comercializados com esse nome, em geral, apenas centralizam o controle de sistemas de som, iluminação, segurança e temperatura em um único dispositivo, que também pode ser acessado pela internet utilizando um celular ou computador. No entanto, como discutido no capítulo anterior, automação é um conceito mais amplo que se aplica a diversos sistemas residenciais que, normalmente, não são contemplados.

Um edifício é composto por diversos sistemas com diferentes graus de automação. Muitos deles servem para a manutenção da homeostase do habitante, diminuindo as perturbações causadas por mudanças climáticas. Essa minimização se dá por *feedback* negativo, ou seja, o mecanismo atua de modo a reduzir a flutuação de uma variável. Por exemplo, se a temperatura do ambiente sobe por causa da incidência solar, o ar-condicionado liga e abaixa a temperatura, mantendo-a dentro de uma meta estabelecida.

Há alguns elementos que, apesar de estáticos, fazem parte de sistemas dinâ-

79 Domótica é a junção da palavra latina *domus*, que significa casa, com robótica.

FIGURA 21 – Foto de um experimento com dois robôs cooperando para reorientar um sofá.



FONTE: RUS et al. (1995).

FIGURA 22 – Vista conceitual dos robôs se organizando para formar uma mesa.



FONTE: <biorob.epfl.ch/roombots>

FIGURA 23 – Foto de um experimento com os robôs cooperando para mover uma mesa.



FONTE: <biorob.epfl.ch/roombots>

FIGURA 24 – Frames extraídos do vídeo explicativo do Ori Systems.



FONTE: <www.orisystems.com/how-it-works>

micos. A chaminé, por exemplo, retira automaticamente e de forma ativa a fumaça do ambiente, deixando o nível próximo do ótimo, que é zero (ASHBY, 1960, p. 62). As paredes, além de reduzirem a troca de calor entre interior e exterior, retardam a entrada do calor, mantendo a temperatura mais amena durante o dia e esquentando a casa durante a noite. O telhado conserva a pele dos habitantes constantemente seca. Esses componentes fixos funcionam automaticamente, e seu comportamento é decidido no projeto.

Há, também, **máquinas manuais**, ou seja, itens móveis que podem ser manipulados pelos usuários para alterar a interação entre interior e exterior. Diferente dos elementos fixos, os móveis dão ao habitante mais controle sobre as condições ambientais. Por exemplo, as janelas podem ser abertas e fechadas para regular a temperatura e a entrada de som externo, e a cortina para controlar a iluminação e a privacidade. A própria mobília de uma casa pode ser considerada uma máquina manual capaz de ser recombinação para criar diferentes espaços e se adaptar às mudanças de desejos e necessidades dos usuários, seja para acomodar uma alteração duradoura na família, como o nascimento de um filho, ou para criar um *layout* temporário para receber os amigos à noite para uma festa.

Em alguns casos, **máquinas lineares** podem ser usadas para operar esses elementos, como portas e janelas automáticas, cortinas acionadas por interruptor, iluminação artificial e elevador. Experimentos com mobiliário automático também existem como: robôs que realizam movimentos coordenados para empurrar os móveis e mudar o *layout*⁸⁰ (FIGURA 21) (RUS *et al.*, 1995); pequenos robôs modulares que se movem e conectam uns aos outros para criar bancos, cadeiras, sofá, mesa (FIGURA 22) e para movimentar outros móveis (FIGURA 23) (SPROEWITZ *et al.*, 2009); e um módulo que inclui cama, mesa e outros elementos retráteis que se movem automaticamente e são controlados por voz (STINSON, 2017) (FIGURA 24).

Há, ainda, algumas **máquinas autorreguladas** que captam mudanças no ambiente e reagem às circunstâncias, como os mecanismos ativos de refrigeração (ar-condicionado) e aquecimento (aquecedores) que controlam a temperatura; sistemas que ativam automaticamente a iluminação elétrica; e estruturas que fecham a janela quando detectam chuva ou vento forte.

Alguns sistemas são capazes de aprender com base em nosso comportamento, redefinindo sua própria meta. A maioria dos **termostatos** funciona como uma máqui-

80 Nesta pesquisa, a movimentação de móveis não é o fim, apenas o meio para investigar a ação coordenada de robôs em um ambiente não estruturado.

na autorregulada. O usuário determina a temperatura desejada, e o termostato liga e desliga os equipamentos (ar-condicionado ou calefação) para mantê-la dentro dos limites. No entanto, essa meta pode variar ao longo do dia e da semana. Por exemplo, se a casa fica vazia durante a manhã e à tarde, é possível economizar energia e dinheiro desligando o ar-condicionado ou o aquecedor. Pode ser que o morador também prefira uma temperatura mais alta durante o dia e mais amena à noite. Em um termostato convencional, o usuário precisa mudar a meta constantemente, e isso pode gerar algumas situações de desajuste temporário. Por exemplo, se o equipamento é desligado ao sair de casa, ao voltar a temperatura estará desagradável e pode levar algum tempo até que o sistema consiga alcançar sua meta. Esse período varia conforme o tamanho da casa e a diferença entre a temperatura ambiente e a meta. O mesmo ocorre quando se reduz a temperatura antes de dormir e sobe ao acordar.

Para solucionar o problema, existem duas abordagens. A primeira são os termostatos programáveis, nos quais o usuário pode definir previamente um cronograma de temperaturas. A segunda é criar um termostato capaz de definir seu próprio cronograma conforme o comportamento do usuário. Um exemplo é o termostato “que aprende” da empresa Nest⁸¹. Ele é capaz de registrar o comportamento do usuário, suas preferências durante o dia e até mesmo utilizar dados do GPS do celular dos moradores e sensores de presença acoplados para deduzir se as pessoas estão em casa e ajustar a temperatura para economizar energia. Um estudo da empresa indicou que a economia em relação a termostatos convencionais é de 10% a 12% no caso de aquecimento e 15% no caso de refrigeração (NEST LABS, 2015). Para que o termostato aprenda, é necessário treiná-lo, controlando-o manualmente por alguns dias, como seria feito em um termostato convencional. O dispositivo registra as preferências e o comportamento do usuário e as características do clima e da casa, como o tempo necessário para aquecê-la e quão fria ela é.

Embora o conceito de um dispositivo que aprende seja interessante, um estudo (YANG; NEWMAN, 2013) feito com 23 usuários mostrou que parte deles ficou frustrada com a incapacidade do Nest de distinguir entre um comportamento rotineiro (que o equipamento deveria lembrar) e ajustes temporários (que ele deveria esquecer). De maneira mais geral, os usuários também se esforçavam para entender como o Nest aprendia sobre eles e como usava seu conhecimento para controlar a temperatura na

81 Disponível em: <nest.com/thermostats>. Acesso em: 8 abr. 2018.

tentativa de programá-lo. Essas dificuldades levantaram dúvidas nas pessoas sobre a real economia de energia que foi a motivação inicial de muitas para adquirir o produto. Os participantes que gerenciavam ativamente a temperatura de acordo com a mudança de situação tendiam a ter mais problemas, pois o Nest não entendia o motivo e fazia suposições errôneas sobre a intenção dos usuários, provocando alterações indesejadas no cronograma de temperatura.

O termostato que aprende utiliza diversos *inputs* (sensor de presença, GPS, sensor de temperatura) para controlar um *output* (aquecedor ou ar-condicionado). Outros sistemas podem regular vários *outputs* simultaneamente. Por exemplo, um mecanismo que tem como meta manter uma certa quantidade de lúmens, seu *input* é a iluminação ambiente, e os *outputs* são o movimento dos brises e a iluminação artificial. Nesse caso, o sistema precisa escolher entre acender as luzes ou movimentar o brise. Suas ações podem ser programadas antecipadamente, priorizando um ou outro, ou pode ser criada uma segunda meta, como economizar energia, para que ele teste suas ações e aprenda qual a melhor escolha.

Outra questão surge quando o mesmo elemento afeta mais de uma variável espacial. É o caso do brise que, quando se movimenta, altera a incidência solar, afetando tanto a iluminação quanto a temperatura. Supondo que o usuário queira economizar energia, o movimento do brise é priorizado para evitar o uso de iluminação artificial. No entanto, isso pode aumentar o gasto com sistema de refrigeração. O ideal, então, é que os sistemas de controle de iluminação e de controle de temperatura se comuniquem para decidir qual a melhor configuração do ar-condicionado, da iluminação artificial e da rotação dos brises para o menor gasto de energia. Vários elementos arquitetônicos têm funções sobrepostas: brise, cortinas, portas e janelas alteram as correntes de ar, a temperatura, a incidência solar, a privacidade e o contato com o exterior; portas e janelas também interferem no isolamento acústico. E podem haver outros motivos para mudá-los, como fechar as janelas quando o vento está forte e quando chove, ou manter a cortina aberta (mesmo que não seja econômico) para se conectar ao exterior.

Com esse conjunto de sistemas e máquinas, a arquitetura transforma o espaço natural, instável e imprevisível, em algo mais estável e previsível. Dessa forma, libera o ser humano de atividades constantes que realizava para preservar suas variáveis internas em equilíbrio, como alimentar uma fogueira para manter sua temperatura ou ficar alerta ao sinal de predadores, para que se dedique a outras atividades.

O grau de automação do edifício varia e, com isso, o nível de atenção e dedicação

do habitante à operação da arquitetura. O esquimó, por exemplo, está constantemente abrindo buracos no iglu ou fechando-os com pedaços de neve para se adaptar às alterações de temperatura. Quando a neve do teto começa a derreter por causa do calor, ele faz um buraco que permite entrar um pouco de ar frio⁸² (ALEXANDER, 1973, p. 49, tradução nossa). Em construções com materiais e técnicas que dificultam a mudança, como estruturas de pedra, torna-se imprescindível o uso de elementos móveis para adaptar o ambiente às variações no contexto. Porém, tanto o esquimó fazendo buracos no teto como o habitante operando as janelas e portas são atividades manuais que exigem uma atenção mais ou menos constante do habitante. As máquinas autorreguladas e que aprendem contribuem para automatizar o processo e liberar os habitantes de algumas atividades compulsórias, além de economizar energia. No entanto, a maioria dos sistemas eletrônicos é cara, e os benefícios não compensam o investimento, sendo voltados apenas para o mercado de luxo. Embora a automação residencial possa manter o ambiente automaticamente adaptado (em relação à homeostase do habitante), ela aumenta pouco a adaptabilidade entre a pessoa e o edifício, pois os sistemas são muito deterministas, com comportamentos previsíveis e não estimulam que o usuário mude o próprio sistema.

4.7.1 Reconfigurable House

Um exemplo de similar aos sistemas de automação residencial mas que garante um pouco mais de abertura para que o usuário não apenas altere a meta como também transforme o comportamento do próprio sistema é a *Reconfigurable House* (2008). Trata-se de uma instalação artística desenvolvida por Adam Somlai-Fischer e Usman Haque (HAQUE; SOMLAI-FISCHER, 20--). Ela consistia em estruturas metálicas autôportantes, semelhante a estantes, dispostas como paredes de um cômodo. Essas estantes serviam como suporte para acoplar diversos objetos interativos construídos a partir de brinquedos *low tech* e equipamentos eletrônicos *hackeados*. Os objetos respondiam a estímulos sonoros, luz, toque, passos e telefonemas.

O usuário podia ativar e desativar os atuadores interagindo com os sensores, transformando a ambiência e adaptando o espaço para suas demandas (assim como ligar e desligar uma lâmpada por um interruptor). Por exemplo, algumas pessoas

82 “The Eskimo reacts constantly to every change in temperature inside the igloo by opening holes or closing them with lumps of snow. [...] Think of the moment when the melting snow dripping from the roof is no longer bearable, and the man goes to do something about it. He makes a hole which lets some cold air in, perhaps.” (ALEXANDER, 1973, p. 49).

podiam preferir *outputs* sonoros, outras podiam achar o espaço muito barulhento, algumas escolheriam *outputs* luminosos, e outras a mistura entre luz e som.

Ao contrário dos sistemas de automação residencial convencionais, que tentam invisibilizar a tecnologia e impedir a intervenção dos usuários, a instalação propunha que as pessoas, mesmo que não tivessem conhecimentos de eletrônica, alterassem o sistema. Para isso, ela dispunha de uma interface digital na qual todos os equipamentos estavam ligados, sendo era possível recombina os sensores e atuadores e modificar parâmetros como a reatividade. O sistema também continha um comportamento autônomo. Ele ficava “entediado” se as pessoas parassem de interagir por muito tempo. Nesse caso, ele passava a trocar suas próprias configurações.

Além disso, era possível interagir remotamente com o espaço através de uma linha telefônica que estava conectada à interface de controle como um *input*. A linha poderia ser combinada pelos usuários locais com qualquer *output* que desejassem e, dependendo da configuração, um telefonema poderia ativar um som, uma luz ou estimular a ação de algum objeto. Os dados da instalação também eram disponibilizados em tempo real na internet utilizando o *Environment XML protocol* e poderiam ser usados por qualquer pessoa para controlar atuadores em outros espaços. Por exemplo, sempre que algum sensor da instalação era estimulado, um atuador poderia ser ativado na sua casa.

Diferente da automação residencial que busca livrar o homem de atividades repetitivas, seja cuidando de sua homeostase ou satisfazendo outras demandas, a *Reconfigurable House* não tem um propósito bem definido, ficando a cargo do usuário decidir como conectar os sensores aos atuadores e decidir o que fazer com ela. A instalação tem a capacidade de alterar diversos aspectos espaciais (como iluminação e sonoridade), mas não muda seus aspectos geométricos. Ela aponta um caminho que pode aumentar a adaptabilidade dos espaços e dos próprios sistemas automáticos, permitindo e estimulando que as pessoas programem seu próprio sistema. No entanto, essa abertura nem sempre é explorada, e a maioria das pessoas é apenas um espectador da performance audiovisual da obra.

Há várias explicações possíveis para tal comportamento. A causa é, provavelmente, uma combinação dos seguintes fatores: existe a mentalidade de que obras de arte são para serem apreciadas e não alteradas pelo público (o que é verdadeiro na maioria dos casos); mesmo que a possibilidade de interação esteja anunciada, essa perspectiva pode fazer com que as pessoas não se sintam à vontade em interagir; os indivíduos passam pouco tempo no espaço já que a instalação foi montada apenas

em locais de exposição de arte (o resultado poderia ser diferente se ela estivesse na sala de espera do aeroporto ou na casa de uma pessoa); a instalação é mais uma prova de conceito e uma obra de arte do que uma ferramenta versátil para solução de problemas; por não ter um uso claro e bem definido, os usuários não sabem o que fazer por não estarem acostumados com esse tipo de liberdade. É possível que, se a instalação fosse montada em uma casa, a interação seria mais constante, e a pessoa eventualmente desenvolveria um uso para ela, moldando as conexões de acordo com suas demandas.

4.8 AUTOMAÇÃO TRANSVERSAL

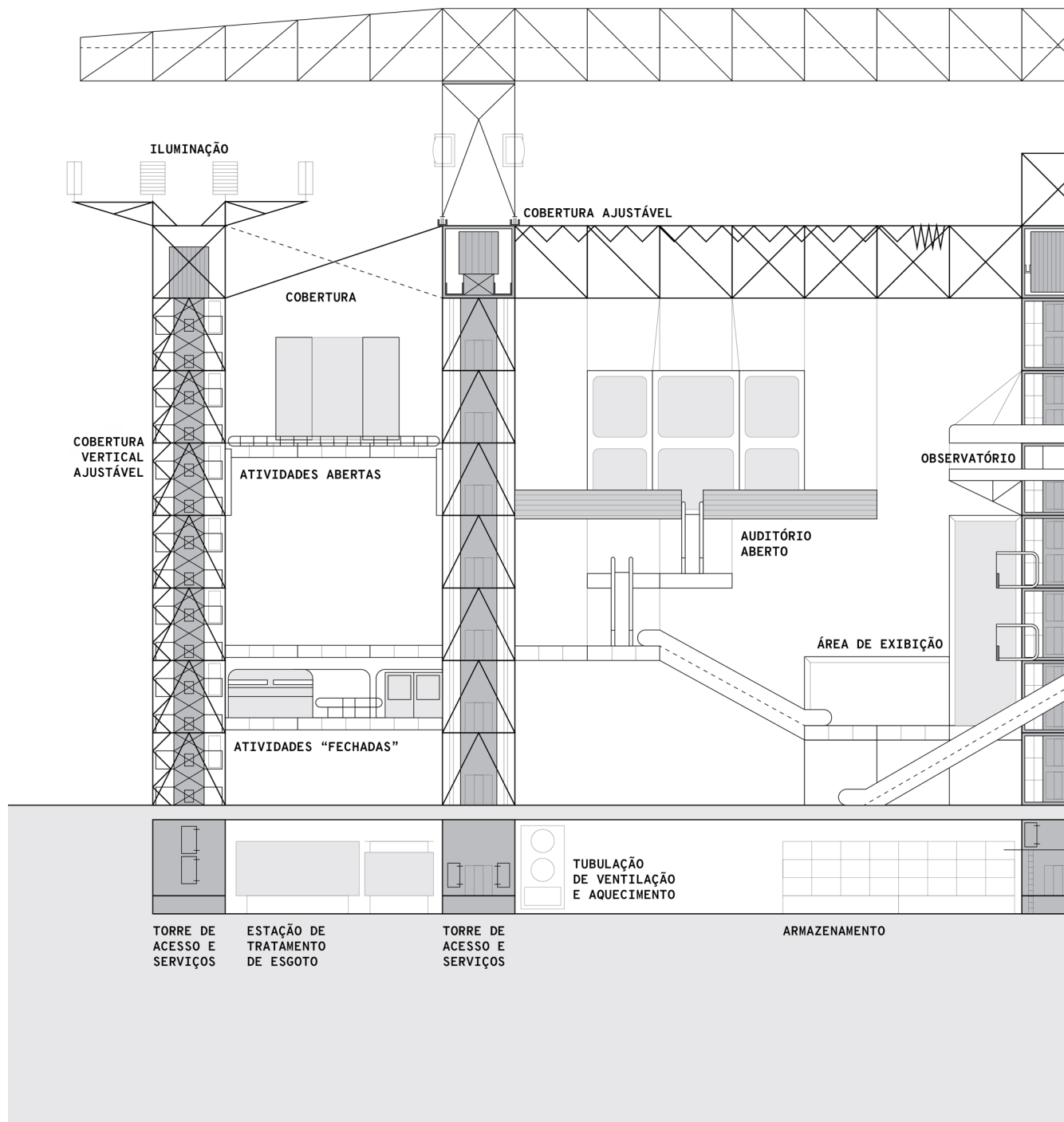
A maioria dos exemplos tratados anteriormente representa aplicações pontuais da automação na arquitetura. Elas procuram aumentar a eficiência de uma atividade ou livrar as pessoas de tarefas repetitivas, mas que, isoladamente, não produzem relações mais adaptativas entre espaço e usuário. No entanto, a automação pontual pode contribuir para a criação de um processo de produção contínuo. Por exemplo, a automação completa da construção – utilizando grandes impressoras 3D de concreto e softwares de levantamento e projeto com interfaces fáceis de manejar – possibilita que pessoas sem o conhecimento de técnicas construtivas e de projeto criem suas próprias edificações.

A automação do projeto, da simulação e da transformação espacial reunidas num contínuo permitem a produção de uma arquitetura adaptável mesmo numa sociedade na qual as pessoas não têm tempo e conhecimento para transformar o espaço, tornando sua relação novamente adaptativa. Esse tipo de automação que busca reduzir a resistência do espaço à mudança, aproximando as fases de planejamento, construção e uso e mesclando os papéis de arquiteto, construtor e usuário, eu chamei de **automação transversal**. A seguir, são apresentados dois exemplos de automação transversal, o *Fun Palace* e o *Generator*, ambos projetados pelo arquiteto Cedric Price. Embora não tenham sido construídos, esses projetos foram extensivamente documentados e ilustram bem o conceito de automação transversal.

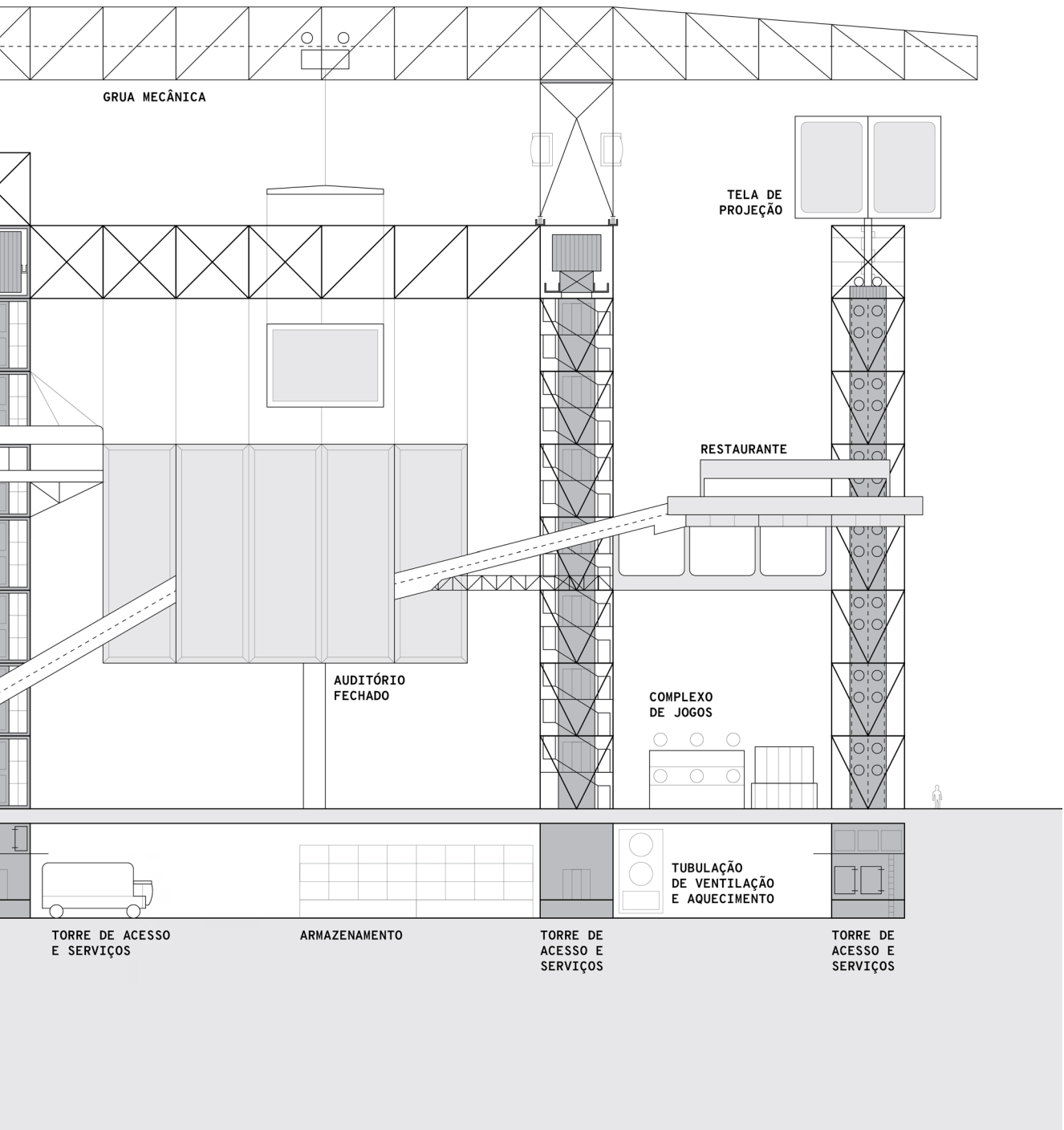
4.8.1 Fun Palace

O *Fun Palace* (1962-75) é o projeto mais celebrado do arquiteto Cedric Price (1934-2003), realizado em colaboração com a diretora de teatro Joan Littlewood, que o

FIGURA 25 – Corte esquemático do Fun Palace mostrando a estrutura fixa e um exemplo de como os diferentes elementos programáticos poderiam ser instalados.



FONTE: elaboração própria baseado no corte original disponível em CCA (20--).



encomendou em 1962 (MATHEWS, 2006). Grande parte dos desenhos do edifício foram realizados durante 1964, tanto para o projeto principal como para uma versão menor e portátil que serviria como projeto piloto, que poderia ser montado e desmontado rapidamente, mudando de terreno conforme necessário. Nenhum dos dois chegou a ser construído, apesar das diversas tentativas de conseguir a permissão para instalá-los dentro e próximo a Londres. Essas tentativas continuaram durante a década de 1970, em meio à oposição da Igreja, de grupos de cidadãos e de conselhos municipais da cidade. Um terreno em particular, o bairro londrino de Camden Town, foi investigado por meio de uma série de desenhos (CCA, 20--).

O objetivo principal era criar um edifício capaz de ser modificado em resposta às demandas dos usuários, ampliando a possibilidade de apropriação e interação entre as pessoas. A interface promoveria a cooperação e o diálogo entre os usuários por meio da negociação para a construção de um espaço coletivo. Para isso, Price recorreu à tecnologia de ponta, ao teatro de vanguarda, e às recentes teorias da cibernética e dos jogos, contando com a ajuda de diversas pessoas como o ciberneticista Gordon Pask e o arquiteto Yona Friedman (MATHEWS, 2005, p. 82). Price afirmava que “[...] ninguém pode saber previamente as necessidades e desejos em constante mudança dos usuários” (MATHEWS, 2006, p. 40). Por isso, para o *Fun Palace*, ele projetou uma interface espacial indeterminada, na qual a articulação do espaço era criada momentaneamente e podia ser continuamente alterada pelos usuários.

O único elemento fixo do *Fun Palace* seria uma estrutura de pilares e vigas treliçadas de aço que serviria como suporte para a instalação de todos os outros elementos programáticos, como teatros suspensos, espaços para atividades, telas de cinema, alto-falantes e divisórias (FIGURA 25). Esses itens seriam móveis ou compostos por unidades modulares pré-fabricadas que poderiam ser facilmente montadas e desmontadas. A estrutura teria guias mecânicas e sistemas computacionais que auxiliariam no transporte e montagem das peças modulares. O sistema de movimentação da grua seria similar às impressoras 3D de concreto que foram tratadas no tópico sobre fabricação digital. No entanto, a máquina não seria montada temporariamente em um local para construir o edifício e depois retirada, ela seria a única parte permanente do edifício para auxiliar na transformação constante das outras partes. As colunas ou torres de serviços, além de ancorarem o projeto, também continham escadas de serviço e de emergência, elevadores, instalações sanitárias e conexões elétricas. A cobertura era retrátil, e as escadas rolantes, as vedações e as lajes eram móveis e suspensas.

Não havia de fato um edifício, o *Fun Palace* se assemelhava mais a um kit de construção. Price dizia que duvidava que a construção teria a mesma aparência duas vezes⁸³ (MATHEWS, 2005, p. 80). Como o espaço estaria em constante alteração, o arquiteto não teria controle sobre sua forma e não seria possível prever o resultado visual, qualquer aspecto espetacular que pudesse surgir seria mero acaso.

Para ampliar a participação e a negociação das pessoas nos processos de transformação espacial, Price recorreu à informática. A montagem e o transporte dos elementos construtivos seriam realizados por uma equipe e seriam parcialmente automatizados. Dessa forma, pessoas sem conhecimento técnico de construção poderiam participar da produção dos espaços apenas solicitando-os ao computador central por meio de um formulário. As questões do questionário proposto (FIGURA 15, p. 102) relacionavam-se às necessidades do evento que seria executado e não diretamente às características geométricas dos espaços. As perguntas incluíam o nome da atividade; o número de participantes; se os membros estão deitados, sentados, em pé ou em movimento; se era necessário vestiário, banheiro, chuveiro, iluminação especial, aquecimento especial, controle acústico, ar-condicionado, equipamento portátil especial; e se a atividade produziria muito ruído. O formulário provavelmente seria traduzido por pessoas em *inputs* para o computador processar e gerar os espaços de acordo com as demandas.

A interface iria computar as demandas e associá-las aos dados coletados pelos sensores para criar os espaços, mediando a interação entre as pessoas:

Por meio de sensores eletrônicos e terminais de computador, seriam recolhidos dados sobre os interesses e preferências dos usuários do espaço que, em seguida, seriam ordenados por prioridade. Estes dados seriam computados pelo mais recente computador IBM 360-30 para identificar tendências, que seriam usadas para definir parâmetros para a modificação dos espaços e atividades do *Fun Palace*. O edifício, então, mudaria automaticamente as paredes móveis e passarelas para adaptar sua forma e disposição às mudanças no uso.⁸⁴ (MATHEWS, 2005, p. 85, tradução nossa).

O programa desenvolvido levava em conta a cibernética e a teoria dos jogos para

83 “Price initially refused all such requests, claiming to puzzled questioners that there was no ‘building’, since it was really only ‘a kit of parts, not a building. I doubt whether it will ever look the same twice.’” (MATHEWS, 2005, p. 80)

84 “Raw data on the interests and activity preferences of individual users was gathered by electronic sensors and response terminals, and then assigned a prioritized value. This data would then be compiled by the latest IBM 360-30 computer to establish overall user trends, which would in turn set the parameters for the modification of spaces and activities within the *Fun Palace*. The building would then relocate moveable walls and walkways to adapt its form and layout to changes in use.” (MATHEWS, 2005, p. 85).

lidar com o indeterminado e conceber uma arquitetura virtual. Seu programa executaria vários *loops* para atualizar variáveis espaciais diferentes conforme a necessidade: de hora em hora, diariamente ou mensalmente. Price via a arquitetura como um instrumento para melhorias sociais, sendo que as principais motivações para o *Fun Palace* eram a emancipação e o empoderamento das pessoas.

O *Fun Palace* utiliza a computação de maneira radical, desafiando o modelo segregado da produção do espaço (planejamento, produção e consumo), que contribui para a reprodução da desigualdade e para a baixa qualidade de ajuste da arquitetura. O arquiteto abriu mão do controle da forma final do edifício desenvolvendo uma interface que amplia a autonomia das pessoas. Colocando-as como participantes do processo de planejamento e produção, e não apenas como usuários:

Os projetos descreviam uma arquitetura do improvisado em atividade constante, num processo contínuo de construção, desmontagem e montagem. Seria um vasto sistema onde a classe trabalhadora do leste de Londres poderia produzir seu próprio ambiente de lazer e aprendizado.⁸⁵ (MATHEWS, 2005, p. 79, tradução nossa).

Price acreditava que o sistema cibernético de controle do *Fun Palace* possibilitaria que as pessoas produzissem o espaço sem qualquer intervenção ou mediação de uma força controladora ou paternalista, como um arquiteto ou uma instituição (MATHEWS, 2005). A interface promoveria um agenciamento autônomo, pois todos seriam capazes de participar e formular os problemas sem serem manipulados por outras forças. “Ele esperava que o sistema cibernético de controle automático iria possibilitar que os usuários modelassem seu próprio espaço e seus próprios objetivos e metas de acordo com seus desejos e vontades”.⁸⁶ (MATHEWS, 2005, p. 83, tradução nossa).

Os usuários teriam liberdade para transformar a organização do espaço que não é predeterminada pelo programa, gerando sempre resultados inesperados ao computar todos os *inputs*. No entanto, a configuração do edifício não era a meta da interface, e sim funcionar como suporte para potencializar as relações e as interações entre as pessoas e das pessoas com o espaço. A interface não tinha uma finalidade,

85 “His designs began to describe an improvisational architecture of constant activity, in a continuous process of construction, dismantling, and reassembly. It would be a vast framework where the working-class population of East London could assemble their own learning and leisure.” (MATHEWS, 2005, p. 79).

86 “He hoped that an autonomous cybernetic control system would allow users to shape their own environments and their own goals according to their particular wishes and desires” (MATHEWS, 2005, p. 83).

mas poderia servir a diferentes propósitos. Seus atributos seriam definidos apenas temporariamente, durante a interação. “Price pensou o Fun Palace em termos de processo, em eventos no tempo ao invés de objetos no espaço, e adotou indeterminação como o princípio central do design”.⁸⁷ (MATHEWS, 2005, p. 79, tradução nossa)

Apesar dos desfechos imaginados, o projeto não foi executado, sendo impossível saber se as relações idealizadas estariam presentes quando ele fosse materializado. De qualquer maneira, o projeto é uma sugestão interessante sobre formas de se aplicar a informática e a cibernética para ampliar a autonomia das pessoas, reduzindo a separação temporal entre planejamento, construção e uso e, consequentemente, a opressão no canteiro de obras. Com isso, a relação dos usuários com o espaço se tornaria mais adaptativa; e a produção do espaço, autorregulada. Mesmo que Price tenha declarado seu projeto obsoleto em 1975 (MATHEWS, 2005) e que a tecnologia da época fosse rudimentar comparada ao que está disponível hoje, muitas das questões levantadas ainda são relevantes, e a aplicação da computação no *Fun Palace* é muito mais radical do que em vários projetos atuais (CABRAL FILHO, 2016, p. 589).

4.8.2 Generator

Generator (1976–79) é um projeto posterior do arquiteto Cedric Price encomendado por Howard Gilman, CEO da Gilman Paper Corporation, para um terreno da empresa localizado na White Oak Plantation, em Yulee, na Flórida, nos Estados Unidos (RILEY, 2002, p. 156). Ele tinha uma proposta similar ao *Fun Palace*, sendo que parte de sua estrutura é fixa, e outra parte é composta por módulos que podem ser movimentados por empilhadeiras.

Segundo Pierre Apraxine (ANTONELLI, 2002), curador da Howard Gilman Collection, a demanda para Price era que ele projetasse um edifício versátil capaz de acomodar um programa contraditório e pouco determinado. Apraxine, enquanto viajava de avião com Howard e Price, escreveu um rascunho inicial do *briefing* para o projeto que, entre outros pontos, continha:

Um edifício que não irá contradizer, mas ampliará, o sentimento de estar no meio do nada; deve ser acessível tanto ao público como a hóspedes particulares; deve criar a sensação de isolamento que estimula impulsos criativos, a ainda... acomodar audiências; respeitar o aspecto selvagem da natureza e ser capaz de acomodar um piano de cauda; respeitar a conti-

87 “Price thought of the Fun Palace in terms of process, as events in time rather than objects in space, and embraced indeterminacy as a core design principle.” (MATHEWS, 2005, p. 79).

nuidade da história local e ser simultaneamente inovador.⁸⁸ (ANTONELLI, 2002, tradução nossa).

O espaço deveria proporcionar a infraestrutura necessária para acomodar grupos de cem pessoas como de seis, entre artistas, atores, dançarinos, compositores, cantores, espectadores, executivos e visitantes. As atividades incluíam performances, exibição de filmes, conferências, seminários, eventos da empresa, iniciativas culturais e residências artísticas (ANTONELLI, 2002).

A proposta de Price era que o edifício, assim como o *Fun Palace*, teria uma parte fixa e outra que poderia ser manipulada pelos usuários. A estrutura fixa seria um grid ortogonal de fundações, trilhos e drenos lineares que serviria de base para fixar temporariamente outros elementos. Parte desses outros itens seriam peças cúbicas de madeira de aproximadamente quatro metros de lado, que poderiam ser preenchidos com componentes modulares disponíveis no mercado, como painéis fixos e corrediços de madeira e vidro, mobiliário e outros acessórios (STEENSON, 2010). Somado aos cubos, também haveria telas para projeção e elementos de circulação, como escadas, calçadas de madeira e passarelas suspensas.

O visitante poderia planejar a organização do espaço por meio de um computador central combinando qualquer um dos 150 cubos equipados com ar-condicionado e canais de comunicação para criar estruturas temporárias que servissem de suporte para suas atividades, fossem públicas ou privadas, importantes ou banais, como ensaios, performances, moradia, ou apenas para contemplação do cenário natural exuberante. Tudo poderia ser movido e combinado usando empilhadeiras (RILEY, 2002, p. 156).

Alguns arranjos iniciais seriam determinados previamente com base em uma pesquisa programática com potenciais usuários do *Generator*. Eles deveriam listar todas as atividades que gostariam de realizar no local, como ler, ver um filme, escrever poesia, aprender sobre história ou fazer uma caminhada. Em seguida, deveriam classificar as atividades listadas em termos de infraestrutura, espaço, silêncio e privacidade. Por fim, usando um jogo de tabuleiro, seria possível determinar os primeiros *layouts*, que Price chamou de menus: arranjos de cubos, telas e calçadas que envolvessem pessoas em interações inesperadas entre si e com o *Generator* à

88 "A building which will not contradict, but enhance, the feeling of being in the middle of nowhere; has to be accessible to the public as well as to private guests; has to create a feeling of seclusion conducive to creative impulses, yet... accommodate audiences; has to respect the wildness of the environment while accommodating a grand piano; has to respect the continuity of the history of the place while being innovative." (ANTONELLI, 2002, p. 150).

medida que o usassem. (STEENSON, 2010)

Como a ideia de mudar a arquitetura poderia ser estranha para a maioria dos visitantes, Price propôs que existissem dois agentes humanos, o *Polariser* (ou polarizador) e o *Factor* (ou gerente), responsáveis por catalisar a interação das pessoas e cuidar das necessidades logísticas. O polarizador incentivaria as pessoas a usarem a interface de maneira inovadora e facilitaria a interação entre as pessoas. O gerente colocaria em prática os desejos dos usuários, operando o guindaste móvel para transformar o *layout* no menu criado (STEENSON, 2010).

Price trabalhou em conjunto com os programadores-arquitetos John e Julia Frazer para desenvolver interfaces com vistas a estimular a transformação do espaço. Uma das propostas era um dispositivo que o usuário poderia usar para modelar e prototipar *layouts* antes de enviar o projeto para execução (STEENSON, 2010). Outra era um programa que continha os dados e as regras para gerar projetos e podia sugerir novos arranjos para a estrutura em resposta às mudanças de necessidade. Por fim, havia a preocupação de que o edifício pudesse ser pouco alterado, pois os usuários não veriam o potencial para fazê-lo. Então, foi proposto um programa que monitorava as modificações e ficava entediado caso elas não ocorressem por um longo período de tempo. O programa passaria a gerar projetos e melhorias não solicitados que seriam enviados para o gerente executar. Observando o resultado de suas ações, ele aprenderia aos poucos a fazer sugestões melhores e, depois de certo tempo, poderia superar os próprios usuários (FRAZER, 1995, p. 40-41).

Assim como o *Fun Palace* e outros projetos de Price, o *Generator* nunca foi construído. Após quase três anos de desenvolvimento com vários diagramas, protótipos e até modelos em escala real, o projeto foi interrompido por problemas financeiros da Gilman Paper Company. O projeto também não foi bem aceito pelos funcionários de empresa, que temiam a manutenção exigida pelo edifício, mesmo que o projeto tivesse sido pensado para beneficiá-los (STEENSON, 2010).

4.8.3 Considerações finais

Tanto o *Fun Palace* como o *Generator*, apesar de terem sido concebidos há muito tempo, são exemplos de como as novas tecnologias poderiam ser usadas para reduzir a resistência do espaço à transformação. E, dessa forma, aumentar a participação do usuário (automatizando a construção), aumentando, também, a adaptabilidade do espaço na sociedade contemporânea, não apenas no tocante ao clima, como a

todas as demandas que possam ser realizadas sobre a forma.

A arquitetura reduz as restrições físicas pelo uso extensivo de elementos móveis que poderiam ser montados e desmontados facilmente, de máquinas automáticas para facilitar essa operação e de modelos paramétricos alterados pelos usuários. Além disso, o espaço também é menos restrito simbolicamente, pois não prescreve os usos.

As ideias de projeto paramétrico participativo e de fabricação digital discutidas anteriormente, por si só, não garantem mudanças no modelo de produção em direção a uma arquitetura mais adaptativa. No entanto, como demonstrado pelo *Fun Palace*, elas podem ser aplicadas em conjunto, com o intuito de transformar o sistema fragmentado de produção espacial em um processo contínuo, no qual o habitante participa de todas as etapas. Mas, diferente da arquitetura vernacular, na qual ele adequa a arquitetura de forma inconsciente, ele fará isso de forma consciente, amparado por computadores.

Vale ressaltar que a tecnologia proposta para o *Fun Palace* não é necessariamente adequada para todos os casos. O *Fun Palace* seria um espaço público compartilhado por muitas pessoas diariamente. Isso faria com que as demandas sobre a forma fossem voláteis e divergentes, provocando diversos conflitos. O uso de um computador para mediar os conflitos e um robô para transformar o espaço certamente deixaria o projeto mais caro. Mas em um espaço público onde os usos podem variar em questão de horas, o investimento nessas tecnologias pode ser justificado. No caso de um edifício residencial, o emprego de braços robóticos capazes de alterar o espaço diversas vezes durante o dia talvez não seja necessário, já que as aplicações são mais constantes, e os espaços são compartilhados entre poucas pessoas. Nesse caso, o robô ficaria ocioso grande parte do tempo. Por isso, talvez apenas sistemas manuais fáceis de montar e desmontar e softwares de planejamento para leigos sejam suficientes para criar uma relação adaptativa.

5 TRAMBOLHO

Como foi discutido nos capítulos anteriores, a arquitetura nas grandes cidades contribui para a reprodução da desigualdade e apresenta uma baixa qualidade de ajuste. Isso ocorre devido à resistência do espaço à transformação ser alta, fazendo com que o processo de produção não seja autorregulado. Vários fatores contribuem para aumentar a resistência do espaço, como a fragmentação do processo de produção, o controle do comportamento do usuário e a escassez de recursos (tempo, dinheiro e espaço). A automação de processos relacionados à produção espacial pode contribuir tanto para intensificar a fragmentação do processo produtivo como para aumentar a adaptabilidade da arquitetura e proporcionar um processo de produção autorregulado.

Quando a automação é aplicada pontualmente, ou seja, para aumentar a eficiência de uma parte do processo ou livrar as pessoas de tarefas repetitivas, ela não provoca mudanças significativas na forma de produção espacial. Já se a automação for aplicada de maneira transversal às etapas de produção, unificando o processo e aproximando os habitantes do projeto e da construção, ela colabora para aumentar a adaptabilidade da arquitetura.

Neste capítulo, é apresentada a interface Trambolho, uma instalação que desenvolvi como Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) e experimenta um tipo simples de automação transversal e uma proposta de prática alternativa para o arquiteto. O Trambolho é uma interface de telecomunicação que tem por objetivo central criar um ambiente onde pessoas de diferentes grupos sociais possam interagir sem reproduzir a opressão comum na interação presencial e em outros meios de telecomunicação. Para isso, mostrou-se necessário desenvolver uma interface híbrida entre

espaço físico e ciberespaço, incluindo o corpo e o espaço na telecomunicação. Foi construído um protótipo funcional que, apesar de alguns problemas, demonstrou a viabilidade do sistema.

Apesar de a motivação inicial ter sido produzir um espaço para o diálogo entre as pessoas, a investigação me levou a testar o uso do computador na arquitetura de maneira não convencional. Assim, foram exploradas formas de compartilhamento e negociação do espaço por meio de linguagens não verbais e criados sistemas que estimulam as pessoas a transformarem o espaço de maneira reversível e efêmera, democratizando a produção do espaço com elementos dinâmicos de operação automática.

5.1 INVESTIGAÇÃO INICIAL

O trabalho partiu do pressuposto de que a interação entre pessoas de grupos sociais distintos é importante para desconstruir preconceitos, desenvolver um sentimento de empatia e promover a cooperação, propiciando, eventualmente, uma transformação socioespacial. Inicialmente, o projeto pretendia abordar a aplicação de novas tecnologias no ambiente de ensino tradicional em escolas de ensino médio, como meio de iniciar discussões socioespaciais por meio da conexão remota de pessoas de grupos sociais distintos.

Duas motivações principais instigaram seu desenvolvimento. A primeira foi uma experiência pessoal, em que o professor de Ensino Religioso⁸⁹, visando a proporcionar a interação entre jovens de grupos sociais distintos, promoveu dois encontros entre os alunos de classe média e alta de uma escola particular com alunos de baixa renda de uma escola pública da periferia. Cada encontro ocorreu em uma escola, e os alunos praticaram esportes e participaram de atividades e dinâmicas de grupo. No entanto, em nenhum dos encontros houve integração real e diálogo entre os alunos das diferentes escolas. Em geral, os grupos se mantiveram separados até mesmo nos times dos esportes. Os encontros geraram desconforto e evidenciaram as diferenças sociais, mas não ofereceram um ambiente adequado ao diálogo por falta de um contato mais duradouro e de um planejamento mais cuidadoso. Por isso, essa experiência não foi suficiente para que os discentes construíssem questionamentos sobre

89 Na escola onde estudei, havia no currículo a disciplina Ensino Religioso, que tratava de questões éticas e morais com um viés cristão por meio de discussões e dinâmicas. Essa disciplina tinha substituído a Catequese, que focava no estudo da Bíblia e nos princípios do catolicismo.

os processos que produzem a desigualdade e a pobreza e nem mesmo refletissem sobre sua contribuição individual para a manutenção desses processos.

A segunda justificativa veio dos “rolezinhos”, uma série de eventos que ocorreram no Brasil, no início de 2014, e que já foram discutidos no tópico 2.2.2 (p. 47). Não participei ou estive presente em nenhum, mas acompanhei pelos sites de notícia e redes sociais. Em resumo, os episódios foram encontros de jovens da periferia, marcados pelas redes sociais, em shopping centers e parques públicos de grandes cidades brasileiras. Geraram um grande desconforto para os usuais frequentadores dos locais e uma série de conflitos com a polícia e com a segurança particular dos shoppings.

Esses dois eventos estimularam uma investigação mais aprofundada a fim de entender o papel do espaço no encontro e na interação entre pessoas de classes sociais diferentes, tanto em situações cotidianas (ex.: relações entre patrão e empregado) como em situações extraordinárias (ex.: os “rolezinhos”).

Conforme exposto no tópico 2.2.2, o espaço físico controla o usuário e dificulta o diálogo entre indivíduos de grupos sociais distintos. Isso ocorre segregando as pessoas na escala da cidade e na escala do edifício e restringindo ou potencializando certos tipos de interação quando compartilham o mesmo espaço.

Com base nessas observações, a proposta inicial foi tentar promover um encontro entre jovens de diferentes classes sociais de duas escolas que incentivasse a empatia e o diálogo entre eles. Como realizar uma excursão era inviável por motivos logísticos – alto custo, responsabilidade sobre os alunos e coleta de autorizações de pais, professores e diretores das escolas – e minha experiência com a interação presencial não foi bem-sucedida, decidi promover encontros virtuais.

Na primeira oportunidade, os dois espaços seriam conectados via videoconferência para realizar um debate em conjunto sobre a reprodução da desigualdade através do espaço. Para estimular o diálogo, seria exibido o documentário “Um lugar ao sol”, que trata de questões socioespaciais por meio de entrevistas com diversos proprietários e moradores de coberturas no Brasil. Uma cartilha que acompanha o filme seria usada como guia.

As próximas atividades não estavam definidas e seriam desenvolvidas junto aos alunos e professores segundo o resultado da primeira, avaliando o desempenho da videoconferência para o diálogo, propondo e produzindo com os estudantes novas interfaces para contornar as limitações encontradas. Após entrar em contato com várias escolas e conversar com docentes e diretores, ficou clara a dificuldade de in-

trouzer a discussão sobre a desigualdade social, principalmente nas escolas particulares. Os comentários eram os mais diversos, na maioria das vezes tentando alterar o projeto para amenizar o incômodo do debate.

Diante das dificuldades encontradas, a pesquisa se voltou para a criação de uma interface não específica, que pudesse ser usada para conectar contextos distintos, como dois laboratórios de pesquisa, e possibilitar a interação horizontal entre as pessoas sem prescrever as ações. O foco principal passou a ser a discussão da telecomunicação que, apesar de conectar pessoas geograficamente distantes, apresenta muitas limitações em comparação à comunicação presencial.

5.2 ENCONTRO E INTERAÇÃO NO CIBERESPAÇO

Com o desenvolvimento dos meios de comunicação, a interação social deixou de se limitar ao espaço físico, ocorrendo também no ciberespaço. Embora os primeiros indícios de telecomunicação remetam a milhares de anos atrás, a interação remota desenvolveu-se apenas com a produção e a transmissão da eletricidade. Como explicado por Quintino e Baltazar (2014), em menos de dois séculos, os dispositivos de telecomunicação evoluíram do telégrafo, um simples aparelho que reduzia a riqueza da comunicação presencial a mensagens verbais, para dispositivos de telepresença que possibilitavam o uso da paralinguagem (ex.: uso da voz, entonação, ritmo) e da kinesia (ex.: dos gestos e expressões faciais). No entanto, as formas de telecomunicação mais difundidas, como mensagens de texto, telefone e videoconferência, ainda privilegiam a comunicação visual e verbal, o que dificulta o desenvolvimento de um sentimento de empatia entre os usuários.

Pesquisas sobre telepresença investigam meios para deixar a experiência de comunicação mais imersiva, ampliando a sensação de presença e pertencimento e criando um “lugar” para o encontro. Para isso, utilizam a atuação remota (ex.: robôs teleoperados), a transmissão em tempo real de imagens estereoscópicas e a geração de ambientes de imersão (ex.: *Cave Automatic Virtual Environment*). Porém, esses ambientes não passam de pobres imitações da realidade nas quais a presença não é explorada além das limitações do espaço físico.

A evolução tecnológica expandiu as possibilidades de interação entre pessoas geograficamente distantes e tornou mais democrática a produção e o acesso à informação. Todavia, como o ciberespaço também é produto do trabalho humano, ele manifesta as desigualdades sociais, interfere na interação entre as pessoas, além do

acesso à rede ainda ser limitado. Segundo dados apresentados pelo IBGE (2016), é possível estabelecer uma correlação entre o rendimento mensal domiciliar *per capita* e o acesso à internet: “[...] em 2013, o maior percentual (89,9%) (de pessoas com acesso à internet) foi observado na classe de mais de 10 salários mínimos, enquanto o menor (23,9%), na classe sem rendimento a $\frac{1}{4}$ do salário mínimo” (IBGE, 2016, p. 42).

O ingresso também está atrelado ao espaço físico já que as redes de telecomunicação não estão homogeneamente distribuídas pelo mundo. Cidades pequenas ou distantes de grandes centros urbanos permanecem digitalmente desconectas, pois não atendem aos desejos econômicos das empresas de telecomunicação. Um exemplo é o município de Talea de Castro, no estado de Oaxaca, no México (BARBA *et al.*, 2014). As autoridades locais solicitaram às empresas de telecomunicação que instalassem a infraestrutura necessária para que os habitantes pudessem conectar seus aparelhos celulares à rede telefônica. No entanto, devido à pequena população do município, as empresas se recusaram, já que o investimento não traria o retorno financeiro desejado. Alguns países contornam a questão econômica exigindo legalmente que as empresas construam redes em áreas rurais, independente de quantas pessoas contratem o serviço, mas, no México, esse não é o caso.

Posto isso, mesmo que pessoas de classes sociais diferentes tenham acesso ao ciberespaço, o encontro depende do compartilhamento de interesses comuns. E como os interesses são construções sociais e refletem o grupo do qual a pessoa faz parte, o espaço digital acaba reproduzindo parcialmente a segregação do mundo físico. Embora pessoas distantes possam se encontrar, elas não necessariamente fazem parte de grupos sociais diferentes. A segregação ainda é fortalecida por filtros criados por plataformas de busca ou redes sociais que entregam aos seus usuários apenas aquilo que corresponde ao perfil traçado pela empresa. As histórias que aparecem no *feed* de notícias da rede social *Facebook*, por exemplo, são influenciadas por suas conexões e atividades, isso “[...] ajuda você a ver mais histórias que sejam do seu interesse, compartilhadas pelos amigos com quem você mais interage. O número de comentários e curtidas que a publicação recebeu, bem como o tipo da história, também podem torná-la mais propensa a aparecer no seu feed de notícias” (FACEBOOK, 2015). Ainda assim, a internet apresenta um grande potencial para a telecomunicação e a interação remota horizontal (mesmo que isso ainda seja exceção).

5.3 O ESPAÇO HÍBRIDO COMO ALTERNATIVA

Uma alternativa à comunicação presencial e aos meios de telecomunicação existentes são as interfaces híbridas que misturam características do espaço físico e do ciberespaço. Nelas, é possível explorar tanto a proxêmica como a troca de sensações hápticas, formas de comunicação subestimadas na telecomunicação.

A proxêmica é a relação espacial entre indivíduos. Ainda que sempre exista uma distância entre as pessoas, para a proxêmica, o tipo de relação e a intimidade entre as pessoas podem ser divididas em quatro categorias: distância pública, distância social, distância pessoal e distância íntima (ANDERSEN, 2009). Tais categorias indicam o grau de engajamento subliminar dos usuários, o que pode ser estimulado pela criação do terceiro espaço, promovendo uma ambientação para a comunicação.

Outro tipo de engajamento dos usuários se dá pela comunicação háptica (toque). É uma das formas mais íntimas de comunicação, tendo grande importância na transmissão de afeto. A comunicação háptica remota foi tema da pesquisa de Smith e MacLean (2007), e seus resultados indicam que não apenas é possível transmitir afeto através de uma ligação háptica como não há razão para acreditar que o toque seja menos importante do que a visão. Por meio do toque remoto, foi estabelecida cumplicidade entre os participantes, o que foi interpretado pelos pesquisadores como desenvolvimento de empatia. Tal cumplicidade ou empatia é crucial para ampliar a sensação de presença e pertencimento. Além da ambiência para iniciar o engajamento dos usuários de forma subliminar, a interface ainda pode estimular uma atuação háptica remota. Em ambos os casos, o principal objetivo é ampliar a possibilidade de diálogo entre os usuários.

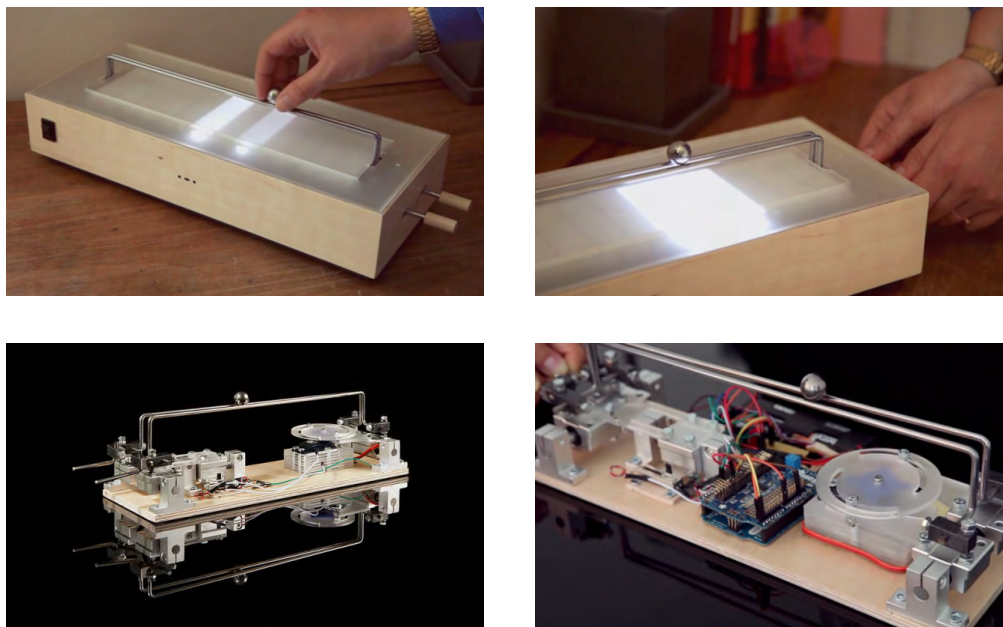
Outra característica importante no desenho da interface é a flexibilidade para se adaptar e transformar os ambientes onde é temporariamente instalada, assemelhando-se à Tenda Digital, proposta por Cabral Filho e Baltazar (2006, p. 346): “[...] baseando-se em uma compreensão mais generosa e rigorosa do espaço arquitetônico do que a idéia de um cômodo (room), a TENDA não pretende ser um cômodo dentro de outro cômodo como as CAVes, mas sim pretende requalificar o ambiente onde ela se instala”.

Um último cuidado no desenho de tal interface é evitar que a complexidade dos mecanismos se sobreponha à experiência dos usuários, ou seja, a interface deve promover o que Baltazar e Cabral Filho (2011) chamam de magia da experiência, para que os usuários não fiquem seduzidos pelo mero desconhecimento dos mecanismos

operacionais que, quando revelados, fazem com que a experiência perca sua relevância (magia da ignorância).

Algumas pesquisas recentes produziram interfaces que buscam explorar a comunicação remota não visual. *Huggy Pijama* (TEH *et al.*, 2008), desenvolvido pelo *Mixed Reality Lab*, é um sistema composto por um vestível e um urso de pelúcia que procuram transmitir remotamente a sensação de um abraço. O participante A pressiona um urso de pelúcia, sensores de pressão leem os dados, e as informações são transmitidas pela internet para um casaco vestido pelo participante B. Esse paletó contém bolsas de ar que inflam e pressionam a pele, esquentam e mudam de cor conforme a pressão. O dispositivo explora a comunicação háptica, podendo inclusive substituir outras formas de comunicação. Apesar de ser apontada a possibilidade de que ambos os participantes tenham um urso e um casaco, isso não seria suficiente para transformar a comunicação em um diálogo, a interface é essencialmente unidirecional. Pelo caráter funcional da interface, a interação possível é previsível, abrindo pouco espaço para uma interação lúdica (BALTAZAR *et al.*, 2014) em que usuários podem se apropriar do aparato além das suas prescrições, envolvendo-se com o conteúdo e não apenas com a interface.

Di-Dah-Dit (VISNJIC, 2014) é um jogo telepresencial criado por Camille Morizot durante sua pesquisa de mestrado em *Media Design* na *Haute École d'art et de design* (FIGURA 26). São dois dispositivos similares compostos por uma bola metálica apoiada em duas hastes móveis sobre uma tela de LEDs, situados em ambientes distintos. Ambos os dispositivos se comunicam remotamente e se completam, reproduzindo o movimento das hastes e da bola de um dispositivo no outro. Em cada ambiente o dispositivo aciona as hastes de duas maneiras. O usuário A no ambiente A aciona diretamente as hastes pelo lado A do dispositivo (o único disponível). O mesmo acontece no ambiente B. A ação do usuário A é reproduzida remotamente no dispositivo B, simulando a presença do lado A no dispositivo B. O mesmo acontece no dispositivo A. A bola se move nos dois dispositivos simultaneamente de acordo com a negociação remota dos dois usuários para a abertura das hastes em cada uma das extremidades. Quando as hastes estão paralelas, a bola fica parada; se as pontas se afastam em uma das extremidades, a bola corre para este lado. A tela envia informações para os jogadores propondo um objetivo para a negociação. Apesar do *output* para os jogadores ser predominantemente visual, há uma atuação remota de fato na interface, e o aspecto lúdico da interação cria uma experiência envolvente e comunicativa promovida pela negociação na ação (não verbal). Não obstante, a abertura

FIGURA 26 – Jogo telepresencial Di-Dah-Dit.

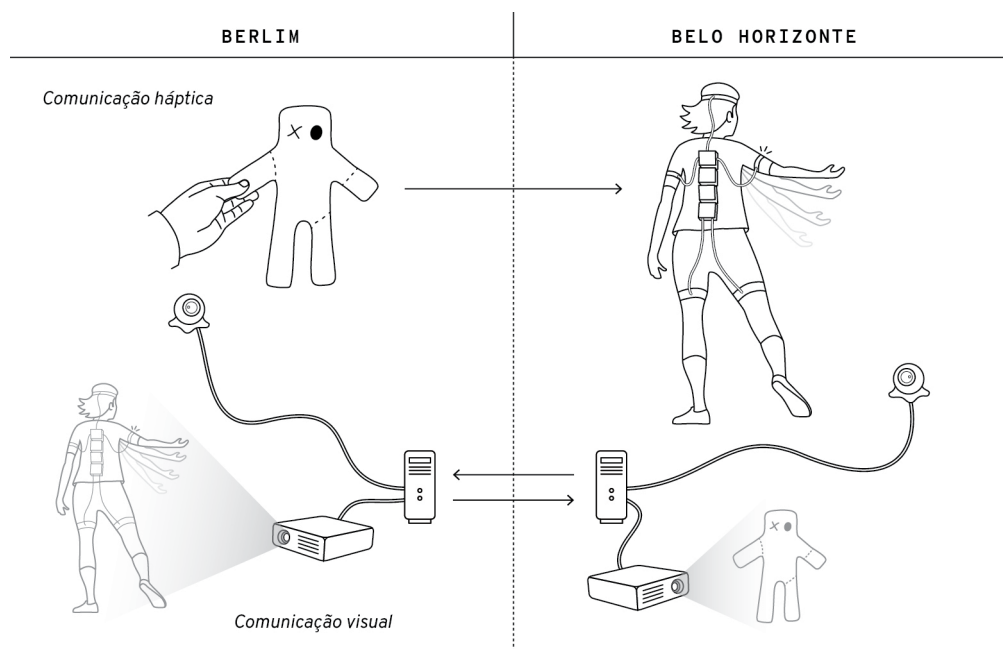
FONTE: Visnjic (2014).

da interface possibilita que os jogadores brinquem além da sua programação inicial.

O Laboratório Gráfico para Experimentação Arquitetônica (LAGEAR) da UFMG⁹⁰, do qual fiz parte como bolsista de iniciação científica, já realizou diversos experimentos com espaços híbridos e interfaces de telecomunicação para investigar como a atuação remota e a espacialização podem aumentar a sensação de presença e pertencimento, enriquecer a telecomunicação e promover o diálogo. Em ordem cronológica as pesquisas e ações sobre o tema realizadas pelo laboratório foram “Vale: Vozes e Visões” (2006), “Ocupar Espaços” (2006), “Interface Oratório” (2011) e “Long Distance Voodoo” (2011), sendo que participei das duas últimas. O Trambolho dá continuidade a essa pesquisa e tenta abordar, também, outros assuntos.

Long Distance Voodoo (BALTAZAR *et al.*, 2014), uma experiência realizada em 2011 pelo LAGEAR promoveu uma conexão entre duas cidades, Berlim e Belo Horizonte. O projeto iniciou-se por meio de uma parceria com o grupo de dança contemporânea Contato Improvisação. Os dançarinos dessa equipe iniciam seus movimentos improvisados a partir do toque de outro dançarino. Assim, foi criada uma interface (FIGURA 27) permitindo que pessoas em locais remotos possam interferir diretamente em um dançarino, e indiretamente em todo o conjunto, já que o movi-

90 Coordenado pelos pesquisadores e professores José dos Santos Cabral Filho e Ana Paula Baltazar.

FIGURA 27 – Esquema de funcionamento do Long Distance Voodoo.

FONTE: elaborado pelo autor.

mento de um reverbera em todos os outros. A interface consiste em uma boneca com sensores de pressão localizados na cabeça, nos dois braços e nas duas pernas e um vestível com motores e LEDs situados em lugares análogos aos sensores da boneca. A boneca foi pendurada em frente a um café em Berlim, e o vestível usado por um dançarino em uma praça de Belo Horizonte. Além da conexão por meio da interface, os dois locais estavam conectados por uma videoconferência que possibilitava retorno visual. Quando um participante em Berlim tocava na boneca, um sinal era enviado para o vestível em Belo Horizonte, vibrando o motor correspondente e estimulando um movimento do dançarino.

Nesse caso, o *delay* entre a ação na boneca e a resposta do dançarino dificultou a negociação entre os dois espaços. Em Berlim, as pessoas estavam interessadas mais na mágica do toque remoto do que no diálogo possível. A posição estática da boneca dificultou o engajamento corporal e a necessidade de olhar a projeção para entender o que estava acontecendo no outro espaço e dar significado à própria ação reforçava a lógica visual. Contudo, a interface tátil explorou o sentimento de presença além da representação, pois as pessoas estabeleceram uma conexão corporal através da atuação remota. A conexão disparou uma comunicação espacializada quando as pessoas gradualmente descobriam que poderiam tocar remotamente o

dançarino iniciando uma interação mais durável e significativa, já que o dançarino participava da conversa reagindo ao toque remoto, influenciando o resto do grupo e reverberando o estímulo recebido. O experimento conseguiu conectar dois espaços remotos com sucesso, apesar das dificuldades mencionadas.

5.4 INTERFACE PARA CONEXÃO REMOTA DE SENSORES E ATUADORES

Para avançar a investigação sobre meios de telecomunicação não verbal em tempo real e experimentar um espaço alternativo para interação, foi desenvolvido a interface híbrida Trambolho. A interface consiste em duas estruturas autoportantes nas quais podem ser plugados sensores e atuadores que são combinados livremente pelos usuários. Cada estrutura é montada em um espaço e usa a internet para enviar dados de um ambiente ao outro em tempo real. Por ser autoportante e articulada, a estrutura tem flexibilidade para se adaptar e transformar os espaços, requalificando o ambiente onde ela se instala. Se montada em espaços ocupados anteriormente por grupos sociais diferentes, a interface pode proporcionar o encontro entre essas pessoas mesmo que não compartilhem o mesmo interesse ou que estejam separadas geograficamente.

Tomei como ponto de partida o Sistema Hidra(!), “[...] um protótipo funcional de um sistema que propicia a recombinação e remapeamento dinâmico entre *inputs* e *outputs*, podendo estes serem locais ou remotos” (DE ABREU, 2014, p. 4), criado pelo professor Sandro Canavezzi⁹¹. O sistema Hidra(!) fundamenta-se em um software desenvolvido na plataforma MAX/MSP⁹² para controlar e programar dinamicamente um microcontrolador Arduino⁹³, alterando a conexão entre sensores e atuadores conectados a ele.

Além disso, o software pode se comunicar com outro Sistema Hidra(!) localizado em um ambiente remoto, compartilhando o controle de seus sensores e atuadores. Conceitualmente, o sistema flexível era ideal para o experimento que seria efetuado, mas encontrei dois problemas durante o desenvolvimento da interface: (i) como mobilidade era uma prioridade, foi necessário conectar o Arduino ao computador sem o

91 No período em que desenvolvi o Trambolho, o professor Sandro Canavezzi era docente da Universidade Federal de Uberlândia, atualmente, é docente da Universidade Federal de Minas Gerais.

92 Max é uma linguagem de programação visual com foco em manipulação e síntese de música e multimídia desenvolvida e mantida pela empresa Cycling ’74, com sede em São Francisco. Para mais informações, acesse o site: <cycling74.com/products/max>. Acesso em: 8 out. 2016.

93 Ver nota 68.

uso de fios, utilizando o módulo de comunicação *wireless* XBee, incompatível com o Sistema Hidra(!); (ii) o sistema era incompatível com os sensores de distância e alguns outros sensores, pois usava a biblioteca Firmata para a comunicação entre computador e Arduino, que não incluía essa funcionalidade. Por falta de conhecimento da linguagem de programação do MAX para alterar o Sistema Hidra(!), optei por criar uma versão simplificada no *Processing*⁹⁴ que atenderia às minhas demandas. Assim como no Sistema Hidra(!), a interface buscava facilitar a troca de dados entre em espaços remotos, propiciando a comunicação não verbal por meio da manipulação de atuadores remotos por sensores locais, que podem ser combinados livremente, sem um significado prescrito, cabendo aos usuários definirem o sentido de suas ações.

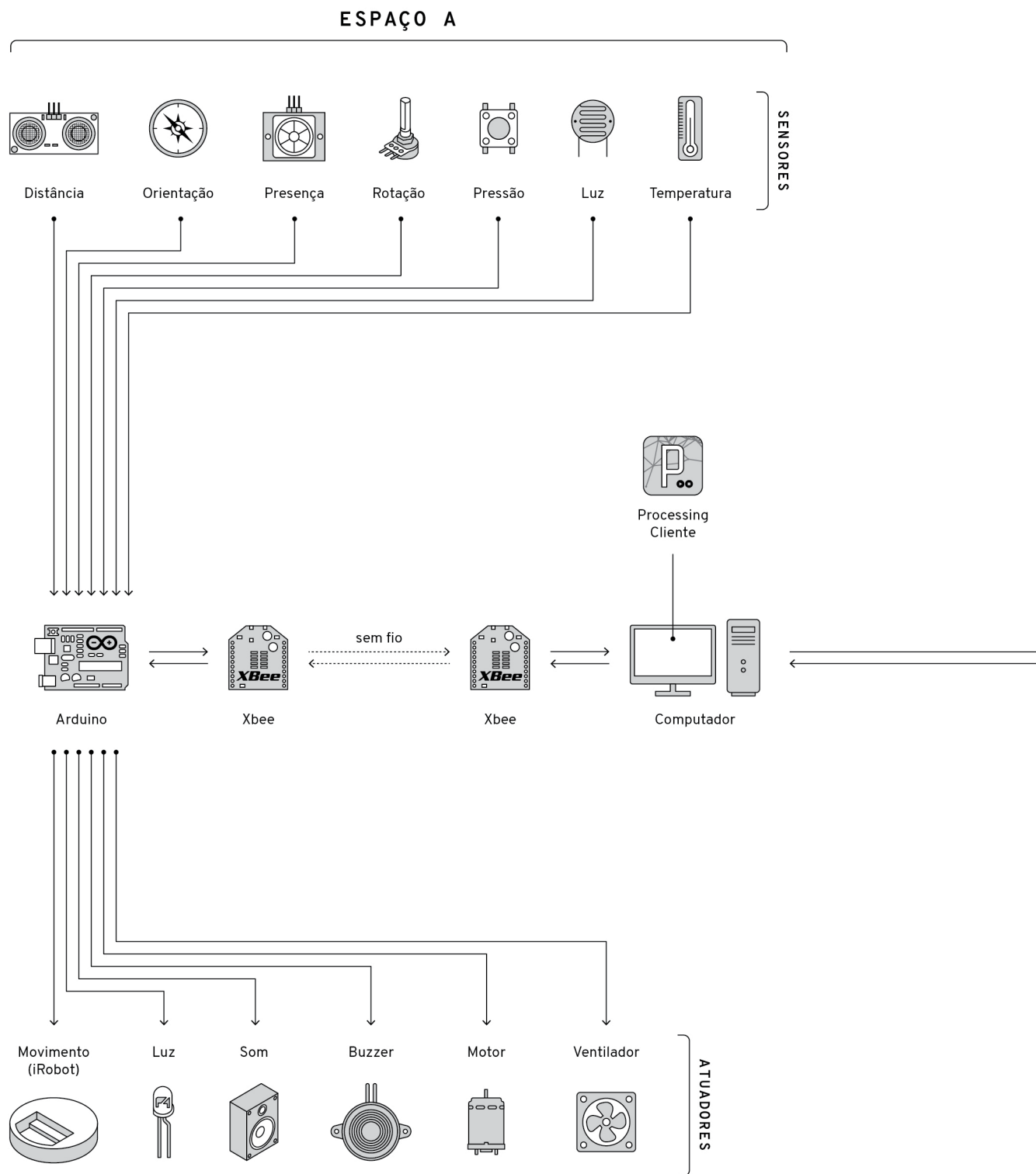
A interface desenvolvida no *Processing* conecta o espaço A ao espaço B através da mediação de um servidor. Ao estimular sensores (ex.: potenciômetro) em um espaço, os dados são coletados pelo servidor, que os envia ao outro espaço, onde ocorre a decodificação e o estímulo ao atuador (ex.: LED ou ventoinha) correspondente. Cada espaço recebe um kit (FIGURA 28) com um computador, um microcontrolador Arduino e um conjunto de sensores e atuadores.

Os sensores e os atuadores são divididos em dois grupos, analógicos e digitais. Os sensores analógicos são capazes de fazer leituras que variam dentro de uma determinada extensão como o sensor de rotação (potenciômetro), o sensor de pressão e o sensor de luz (LDR). Os sensores digitais são aqueles capazes de fazer leituras binárias como o *push-button* e o sensor de presença. Os atuadores analógicos são os atuadores que variam de intensidade dentro de uma determinada extensão como motor DC, LED, motor de vibração e *buzzer*. Os atuadores digitais são aqueles que têm apenas dois estados, ligado ou desligado, como o relé. Alguns motores DC são mistos, já que é possível controlar a direção com um *input* digital e a velocidade com um *input* analógico.

Cada Arduino está programado para manipular até seis sensores analógicos, seis atuadores analógicos, três sensores digitais e três atuadores digitais. O programa trabalha com a correspondência direta única, ou seja, cada sensor no espaço A controla um único atuador no espaço B e vice-versa. Por exemplo, ao girar um potenciômetro no espaço A, conectado à entrada analógica 01, o sinal é lido pelo Arduino, enviado ao computador através da porta serial, recebido pelo software desenvolvido

94 *Processing* é uma linguagem de programação de código aberto e um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) voltado para a arte eletrônica e baseado na linguagem de programação Java. Para mais informações, acesse o site: <processing.org>. Acesso em: 8 out. 2016.

FIGURA 28 – Esquema de comunicação e hardware necessário para conexão.



FONTE: elaborada pelo autor.

SERVIDOR

ESPAÇO B

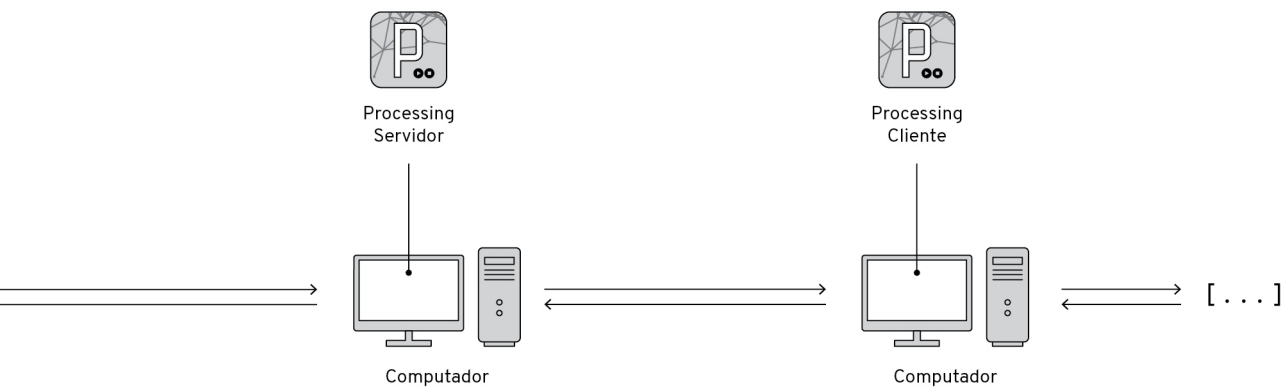
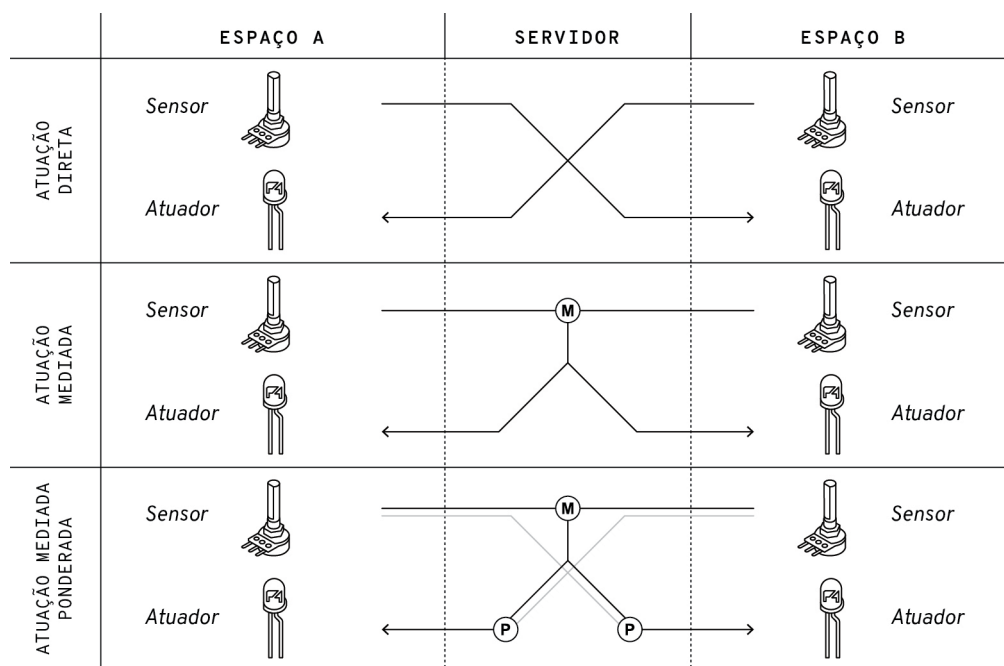


FIGURA 29 – Esquema das possibilidades de mediação pelo servidor.**FONTE:** elaborado pelo autor.**LEGENDA:** O M significa a média e o P a ponderação realizada.

no *Processing* e enviado ao servidor. Simultaneamente, o software no espaço B lê os dados enviados pelo servidor e os encaminha ao Arduino, que decodifica e altera a velocidade de giro de um motor conectado à saída analógica 01.

Apesar da conexão direta entre os dois espaços ser possível, o uso do servidor tem algumas vantagens, como: simplificar o processo de instalação removendo a necessidade de configurar o roteador da rede local, essencial para um dispositivo que proponha uma instalação efêmera e deseje ser flexível; e permitir a experimentação de outras formas de conexão por meio da mediação e do tratamento dos dados.

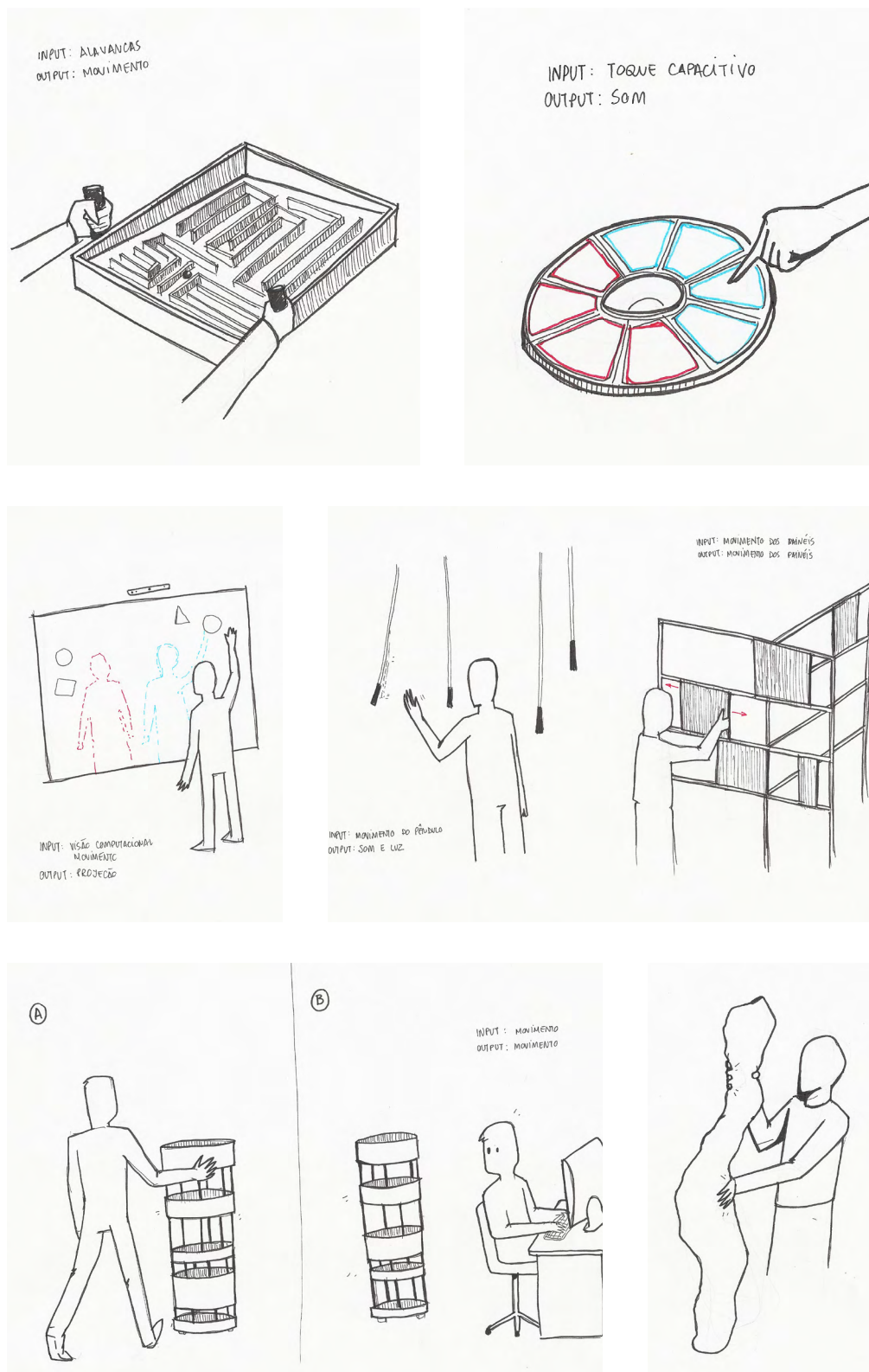
Como ilustrado na Figura 29, a transmissão de dados entre sensores e atuadores analógicos pelo servidor pode acontecer de três formas. A atuação direta, na qual o servidor não interfere nos dados enviados, e cada sensor está ligado diretamente a um atuador no espaço remoto; por exemplo, o sensor de giro mede 90% fazendo o servomotor no espaço remoto virar até a posição correspondente a 90%. Já a atuação mediada, em que o servidor recebe os dados de ambos os lugares e envia a média aritmética aos dois espaços estimulando igualmente os atuadores; por exemplo, no espaço A, o sensor de giro mede 90%, e no espaço B, o sensor de giro mede 20%, os servomotores em ambos os espaços vão rodar até a posição correspondente a

55% [ou seja: $(90 + 20) / 2$]. Por fim, a atuação mediada ponderada, na qual, após a operação dos dados, o servidor envia uma média ponderada aos dois espaços, sendo que os atuadores têm respostas diferentes. A conexão também pode ser mista, sendo mediada para alguns sensores e direta para outros, podendo usar os sensores e atuadores mediados para criar uma ambiência comum e a conexão direta para a atuação remota.

Cada forma de conexão apresenta vantagens e desvantagens. A conexão direta facilita a comunicação, pois o emissor tem controle exato sobre a informação que chega ao receptor. Essa opção, no entanto, dificulta a operação por excluir o *feedback* da ação. A conexão mediada, por sua vez, inclui o *feedback*, estimula os usuários a negociarem para alcançarem o resultado desejado; e como o resultado é similar nos dois espaços, o usuário sabe o que o outro está vendo. No entanto, o controle sobre o próprio espaço e sobre o espaço remoto é reduzido, pois cada usuário contribui com 50% do valor total. Já a conexão ponderada pode ser realizada de diversas maneiras, variando a porcentagem de influência de um ou outro sensor no valor final. Por exemplo, o usuário pode aumentar o controle sobre seu próprio espaço fazendo que o valor de seu *output* seja composto por 80% do *input* local e 20% do *input* remoto. Nesse tipo de conexão, também é possível a negociação; porém, dependendo dos pesos, pode dificultar o controle do resultado da atuação. No programa criado no *Processing*, não há uma interface gráfica para manipular a conexão dos atuadores no servidor, sendo necessário fazer pequenas alterações nas linhas de código.

Para transmissão de dados entre sensores e atuadores digitais pelo servidor, além da conexão direta, podem ser usadas as portas lógicas “e” e “ou”. A porta lógica “e” significa que os atuadores de ambos os espaços são ligados apenas se os sensores de ambos os espaços estiverem ligados. A porta lógica “ou” significa que os atuadores de ambos os espaços são conectados se o sensor de qualquer um dos dois espaços estiver ligado.

No Sistema Hidra(!), a combinação entre sensores e atuadores é feita por uma interface gráfica no computador. Já no sistema desenvolvido, a combinação é realizada pela manipulação física dos *plugs*, reduzindo o computador a um *relay* para o envio da informação. A vantagem é que a manipulação da interface é tangível. A desvantagem é que alguns sensores e atuadores, que apresentam um funcionamento especial (como sensor de distância e motor de passo), precisam ficar fixos a uma porta do Arduino determinada pela programação, amortizando as possibilidades de recombinação. Esse é um problema técnico que pode ser solucionado com a criação

FIGURA 30 – Primeiros esboços do Trambolho.**FONTE:** elaboração própria.

de algum mecanismo para que o Arduino reconheça qual sensor e atuador está conectado e altere automaticamente a programação dos seus pinos.

Como os sensores e os atuadores são fisicamente independentes e conectados ao Arduino por grandes cabos, é possível espacializar a comunicação e adaptar a interface a diferentes espaços. Com a espacialização, a atuação remota, os *inputs* que demandam um engajamento corporal (sensor de presença e distância) e os *outputs* que estimulam hapticamente (motores), é possível ir além do estímulo visual e ampliar a sensação de presença e pertencimento.

Foram realizados testes conectando duas salas da Escola de Arquitetura da UFMG via internet. O servidor foi instalado em um computador do LAGEAR que tem acesso direto à internet utilizando um IP fixo, e os clientes foram conectados à internet pelas redes internas da sala onde estavam instalados. O programa desenvolvido conseguiu enviar os dados com sucesso a uma taxa de atualização de 30 fps, adequada para uma comunicação em tempo real. Os sensores (potenciômetro, *push-button* e LDR) foram conectados diretamente (sem a mediação do servidor) aos atuadores (motores DC e LEDs).

5.5 SUPORTE FÍSICO E POSSIBILIDADES DE INTERAÇÃO

Apesar de nem todas as funcionalidades desejadas estarem implementadas, passei para o desenvolvimento do suporte físico da interface que, combinado com os sensores e os atuadores poderiam criar novas formas de comunicação e diálogo em um espaço compartilhado, sem reproduzir de antemão as relações de opressão ocorridas em interações presenciais ou por outros meios de telecomunicação.

Foram produzidos vários esboços (FIGURA 30) de possíveis interfaces levando em conta o equipamento disponível no LAGEAR. Entre as várias interfaces imaginadas, escolhi a que viria a se tornar o Trambolho. A interface consiste em duas estruturas articuladas e autoportantes. Uma das bases é robótica e, ao se mover, altera a altura e abertura das pernas, transformando a espacialidade. As estruturas são montadas em locais geograficamente distantes e conectadas pela internet para realizarem movimentos sincronizados em tempo real, que são calculados conforme a interação dos usuários com sensores de distância.

A interface também possui outros dispositivos eletrônicos, como sensores e atuadores que podem ser acoplados para modificar ainda mais a ambiência de ambos os espaços. Esses dispositivos também se comunicam em tempo real pela internet e

podem ser livremente combinados pelos usuários para se comunicarem. A comunicação proporcionada se baseia em experiências sensoriais não verbais e não figurativas, estimulando os usuários a interagirem de maneira mais espontânea e possibilitando uma negociação democrática.

Por ser autoportante e articulada, a estrutura tem flexibilidade para se adaptar e transformar os espaços, requalificando o ambiente onde se instala. Ao ser montada em espaços diversos da cidade, ela pode proporcionar o encontro entre essas pessoas mesmo que não compartilhem o mesmo interesse ou que estejam separadas geograficamente. A interface, por ser espacializada, possibilita uma comunicação mais imersiva, corporal e intuitiva, facilitando que pessoas sem conhecimento prévio possam manipulá-la.

A telecomunicação se baseia em experiências sensoriais não verbais e não figurativas. Essas trocas de sensações, frequentes na comunicação presencial, mas pouco exploradas na telecomunicação, estimulam os usuários a se comunicarem mais espontaneamente, reduzindo a reprodução das relações hierárquicas e opressivas. Para isso, o dispositivo dispõe de novos elementos para comunicação pouco utilizados para telecomunicação: sensores que captam giro, movimento, presença, proximidade, temperatura, umidade, direção, pressão e contato; conectados a atuadores que produzem correntes de ar, rotação, movimento, luz e som. As sensações geradas não estão atreladas a significados previamente definidos nem representam outros objetos ou sentimentos, permitindo aos usuários se apropriarem desses elementos e negociarem o seu significado.

Na linguagem verbal, por exemplo, cada palavra está ligada a um significado, ou seja, reflete algo, como a palavra cadeira representa um objeto ou a palavra amor representa um sentimento. A interface, por outro lado, conecta sensores e atuadores entre os ambientes. Sendo assim, é possível que, ao mover uma alavanca em um espaço, o usuário ative um ventilador no outro espaço. Dessa forma, o usuário produz uma corrente de ar no ambiente remoto e, diferente da palavra cadeira, a corrente de ar não representa algo, mas provoca uma sensação. Com base no uso contínuo, os usuários podem, eventualmente, desenvolver significados para essas ações. E, se levado ao limite, os usuários podem significar tais ações de forma colaborativa, sem nenhum tipo de prescrição.

A comunicação não verbal proporcionada pode ser utilizada de maneira autônoma ou pode complementar outras formas de telecomunicação, como o telefone ou a videoconferência. A interface também espacializa a telecomunicação, permi-

FIGURA 31 – Vista da estrutura da interface sem sensores e atuadores acoplados.



FONTE: Fotografia do autor, 2014.

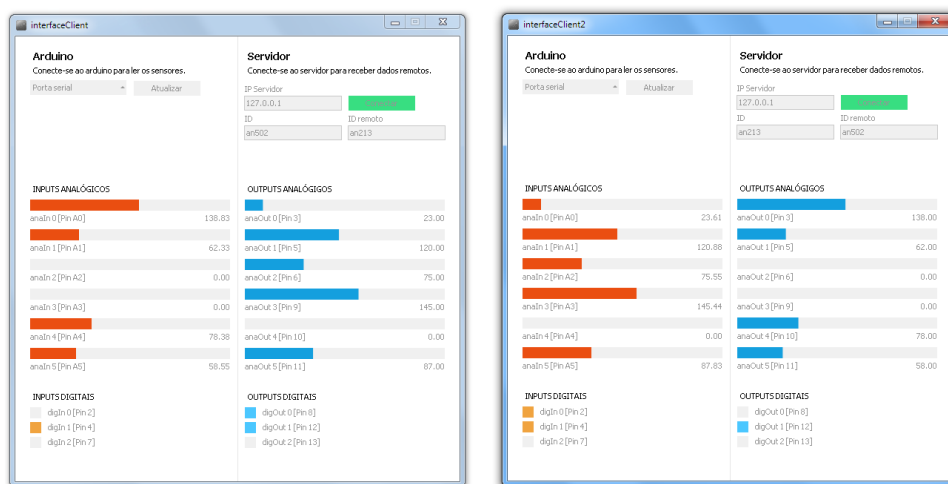
tindo que os usuários transformem os espaços remotos sem estarem fisicamente presentes. Assim como um celular ligado no viva voz altera o aspecto sonoro de um ambiente remoto, a interface possibilita, por exemplo, modificar a iluminação, a configuração espacial ou a sensação térmica do ambiente.

A explicação do funcionamento da interface está dividida em cinco partes: (i) a estrutura de suporte, (ii) o hardware, (iii) o software, (iv) a interação básica e (v) a interação ampliada.

A estrutura de suporte (i) foi construída utilizando tubos de PVC e peças de madeira para as bases e as articulações (FIGURA 31). As peças foram projetadas utilizando os softwares *SketchUp* e *Rhinoceros 3D* e foram fabricadas no LAGEAR empregando a cortadora laser para cortar chapas de compensado de 10mm. Foram desenvolvidos diversos encaixes para conexão entre os tubos e dos tubos com as bases. A estrutura tem quatro bases, sendo que três são dispostas compondo um triângulo e uma é colocada no centro desse triângulo. Os tubos de PVC, conectados por peças de madeira, formam pernas articuladas que se apoiam sobre duas bases: a central e uma das três bases externas. A base central é móvel e controlada por um robô que, ao se mover, altera a configuração espacial, abrindo e fechando as pernas.

O hardware (ii) de cada estrutura é composto por um Arduino, um *iRobot Create*, dois *XBees*, um computador com acesso à internet, além dos atuadores ventoi-

FIGURA 32 – Captura de tela do software para troca de dados entre espaços remotos.



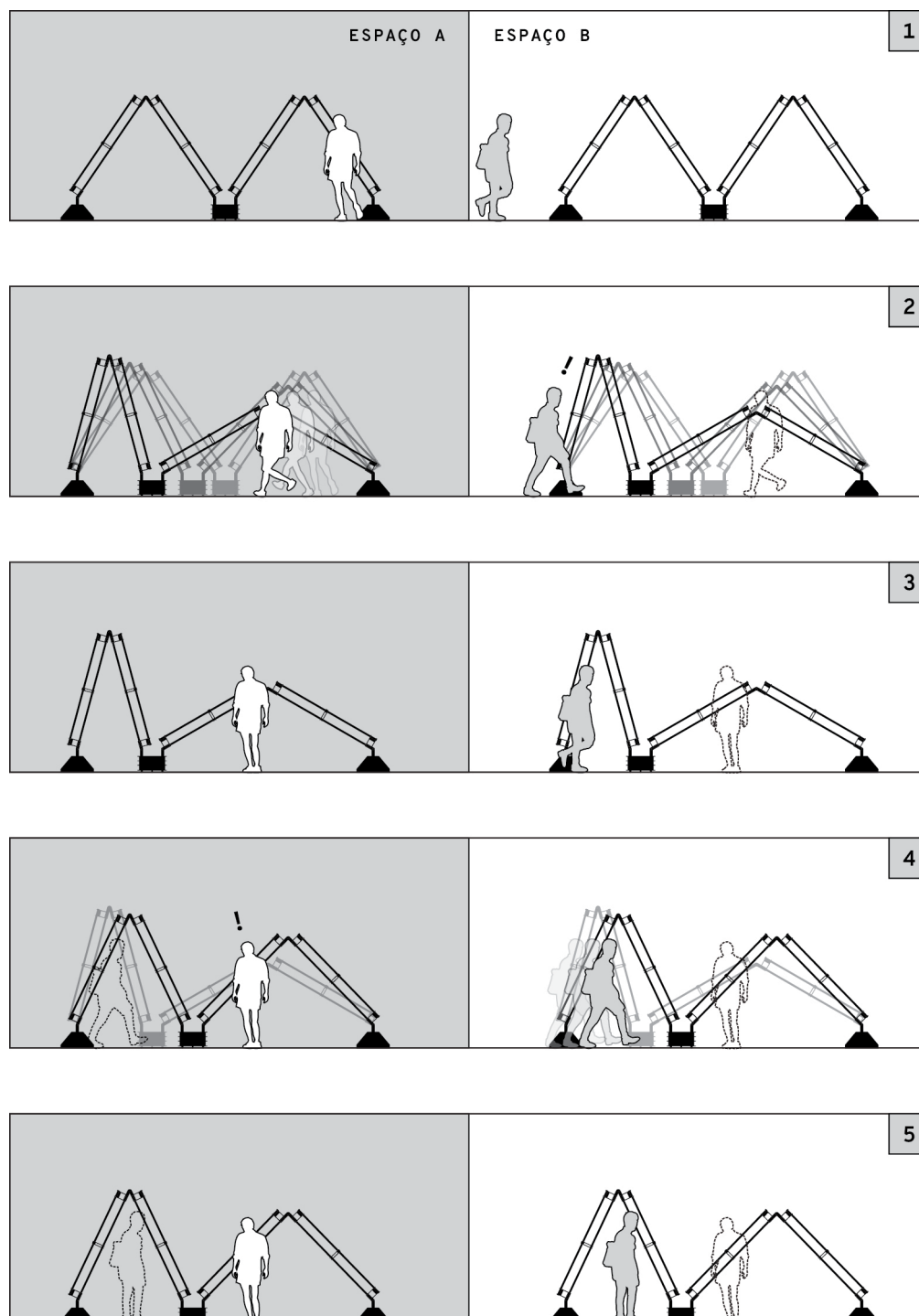
FONTE: acervo do autor, 2014.

nha, LED, motor DC, servomotor e motor vibrador e dos sensores de luz, movimento, presença, pressão, distância, temperatura, orientação (bússola) e rotação. O *iRobot Create* é a base robótica que controla o movimento da base central. O robô é gerenciado por um microcontrolador Arduino, que se comunica com o computador por uma conexão sem fio utilizando um par de XBees, que, por sua vez, envia os dados ao ambiente remoto por meio do software desenvolvido no *Processing* (FIGURA 32). O sensor de presença e o *iRobot* são empregados na interação básica, e os outros sensores e atuadores para a interação ampliada.

Já o software (iii) é o mesmo explicado anteriormente com algumas pequenas modificações para incluir o *iRobot* como um dos atuadores e para que o movimento dele seja uma média da leitura de sensores nos dois espaços.

A interação básica (iv) é a alteração da configuração espacial da estrutura conforme a movimentação dos usuários (FIGURA 33). Há uma interface no espaço A e uma interface no espaço B. Ambas executam os mesmos movimentos. Quando o usuário A se aproxima da base central da interface A, um sensor de distância percebe sua presença e o robô se move para trás, afastando-se. A interface B reproduz o mesmo movimento no ambiente B. Se o usuário B se aproxima do centro da interface B, ambas as estruturas se movem, buscando um ponto médio entre os usuários A e B. Essa movimentação possibilita a comunicação proxêmica, alarga a sensação de presença e estimula os usuários a negociarem a configuração do espaço.

Além de a própria estrutura ser um atuador, ela também serve como suporte

FIGURA 33 – Esquema de movimentação do robô e interação dos participantes.

FONTE: elaborada pelo autor.

LEGENDA: (1) Ambas as estruturas em repouso. (2) O robô sente a aproximação do usuário A no ambiente A e se move. A estrutura no ambiente B reproduz o mesmo movimento chamando a atenção do usuário B. (3) O usuário B se aproxima da estrutura no ambiente B. (4) A estrutura no ambiente B se movimenta em reposta à aproximação do usuário B. A estrutura no ambiente A também se move. (5) Ambas as estruturas param de se mover em uma posição média entre a distância dos dois usuários.

para acoplar outros sensores e atuadores utilizando abraçadeiras de plástico. A interação ampliada (v) consiste em conectar livremente os sensores aos atuadores, facilitando a espacialização da comunicação. Assim como esses sensores, outros objetos não eletrônicos podem ser acoplados para enriquecer a experiência da comunicação e aumentar o sentimento de pertencimento do usuário, incitando um uso mais frequente da interface.

Duas estruturas foram construídas, instaladas e testadas em dois espaços da Escola de Arquitetura da UFMG. Embora o software tenha enviado dados de um espaço para o outro e os robôs tenham performado movimentos sincronizados, vários problemas ocorreram. A primeira adversidade foi mecânica. A estrutura fica instável quando os robôs se movimentam, principalmente quando chegam a situações extremas nas quais as pernas estão muito abertas ou fechadas. Por causa do peso da estrutura, quando a base central se movimentava, ela também girava em torno de seu eixo, torcendo as pernas. Por esses motivos, as pernas caíram em algumas ocasiões.

Em alguns momentos, a plataforma *iRobot Create* falhou, pois não tinha potência suficiente para movimentar as pernas já que a estrutura ficou pesada e as articulações de madeira criavam muito atrito. Os materiais usados (madeira compensada e PVC), que já são pesados em comparação a tubos de alumínio e conexões de plástico, ainda foram superdimensionados. Essas matérias-primas foram escolhidas por estarem disponíveis no laboratório e não por sua eficiência.

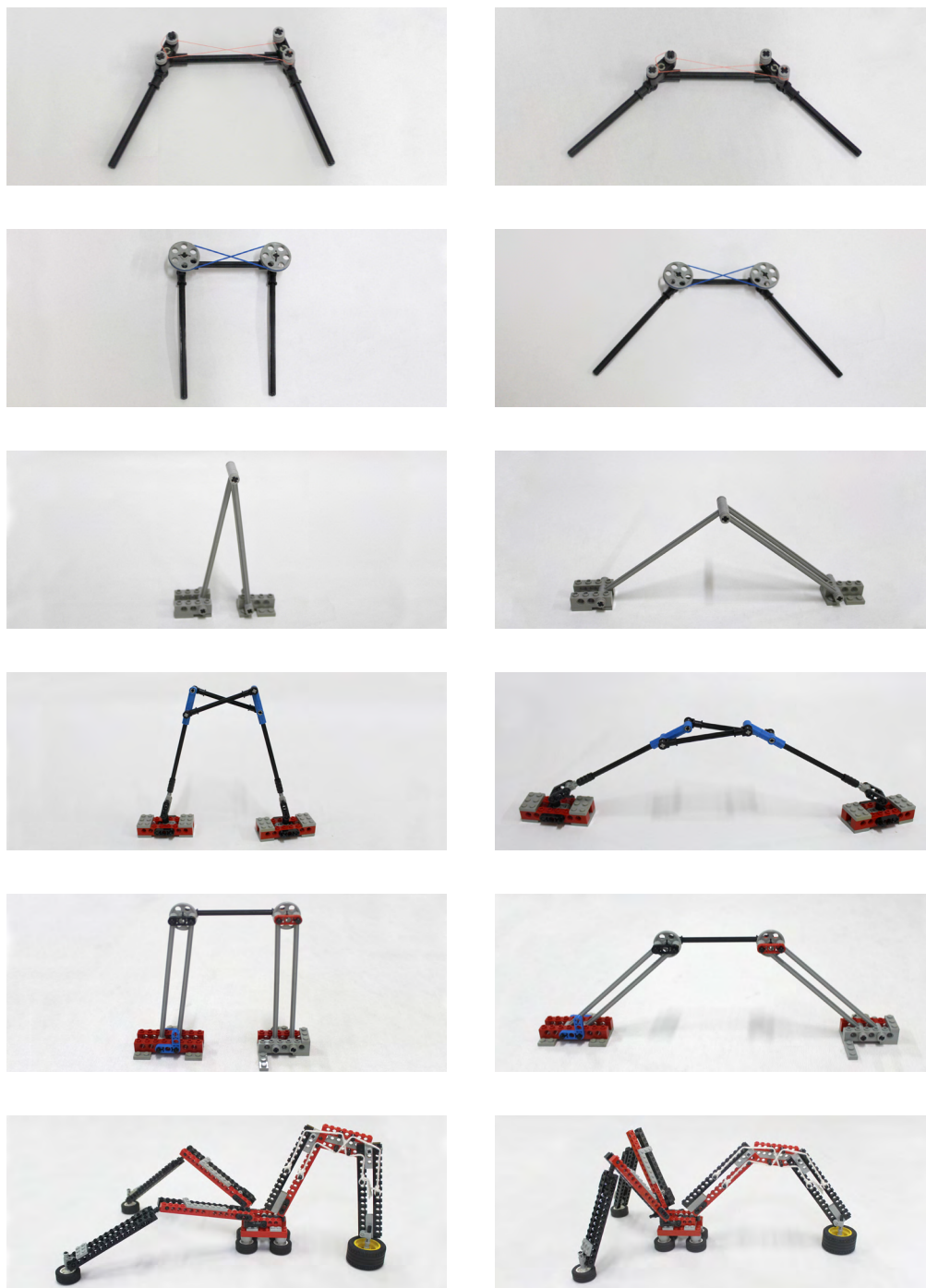
Outros dois problemas foram as conexões sem fio e os sensores de distância. As conexões sem fio eram instáveis e, às vezes, paravam de funcionar. Suponho que seja pelo grande volume de dados, que poderia ser solucionado refinando o software. Usei dois sensores de distância diferentes, o *MB1010 LV-MaxSonar-EZ1* e o *PING Ultrasonic Distance Sensor*. Nos testes realizados o *MaxSonar* não apresentava uma grande variedade de estados, ele variava apenas entre cinco valores. Por causa disso, o robô nunca encontrava um ponto médio estável.

Devido a tais entraves, não foi possível testar a interface com usuários e avaliar qualitativamente as mudanças na comunicação em relação aos outros dispositivos de telecomunicação. Somente é possível especular com base na proposta os problemas que poderiam surgir na interação.

5.6 AUTOMAÇÃO NO TRAMBOLHO

Nesse projeto, foi possível experimentar a automação em diversas etapas da arqui-

FIGURA 34 – Alguns dos modelos das pernas do Trambolho feitos com Lego.



FONTE: acervo do autor, 2014.

tetura: usar modelos eletrônicos para planejar; construir os protótipos e a própria interface com fabricação digital; e conectar os espaços e promover a interação com o uso de sensores e atuadores.

Durante a iniciativa, foram feitos esboços, maquetes físicas em escala, protótipos em tamanho real e modelos eletrônicos. As maquetes em escala reduzida (FIGURA 34) ajudaram a testar a estabilidade e as conexões, embora não tenham sido suficientes porque várias mudanças foram necessárias para que os protótipos em tamanho real funcionassem (FIGURA 35 e Figura 36).

Os modelos eletrônicos foram importantes para visualizar e planejar melhor os encaixes e foram usados para a fabricação digital das peças, com uma cortadora a laser. Grande parte dos cortes poderia ser realizada por um marceneiro experiente, mas, como não tenho nenhum conhecimento de marcenaria, foi necessário recorrer à automação. Pela precisão demandada, alguns dos cortes seriam difíceis de fazer manualmente, o que torna o projeto específico para fabricação digital. Nesse caso, a automação aproximou o arquiteto da produção, substituindo a operação manual de ferramentas e permitindo que alguém sem habilidade em marcenaria, mas com um conhecimento básico de modelagem, pudesse fabricar peças complexas. Já os tubos de PVC foram cortados manualmente.

Os sensores e os atuadores principais possibilitaram transformar geometricamente a estrutura e outras características espaciais sem grande esforço físico. Ou seja, o Trambolho automatiza as transformações físicas e não carece do indivíduo como força motriz. No entanto, ele depende das ações dos usuários, embora já tenham alguns comportamentos programados. Assim, a automação aproxima a pessoa da transformação do espaço, aumentando sua adaptabilidade.

FIGURA 35 – Protótipos em escala real das conexões do Trambolho.



FONTE: acervo do autor, 2014.

FIGURA 36 – Protótipos em escala real das pernas do Trambolho.



FONTE: acervo do autor, 2014.

6 CONCLUSÃO

Como apontou Alexander (1973, p. 28, tradução nossa), “[...] é comum ouvir no meio arquitetônico que as casas de civilizações mais simples que as nossas são, em certo sentido, melhores que nossas próprias casas. Embora essa afirmação possa ser exagerada, a observação ainda é, por vezes, correta”⁹⁵.

Alexander (1973) atribui a boa qualidade de ajuste da arquitetura vernacular a um processo inconsciente e autorregulado de produção da forma. Qualidade de ajuste é uma propriedade que avalia a relação entre arquitetura e contexto, sendo o contexto as demandas que o usuário põe sobre a forma. O processo autorregulado (homeostático) de produção da forma ocorre quando os desajustes apresentados pela arquitetura são corrigidos para mantê-la constantemente adaptada.

Esse processo contínuo de correção é possível porque o habitante possui o conhecimento das técnicas construtivas e os materiais necessários são de fácil acesso. Também é fundamental que o processo construtivo seja controlado por tradições rígidas, evitando que correções em um problema acabem gerando novos problemas (ALEXANDER, 1973, p. 52).

A baixa qualidade das construções em nossa sociedade se deve ao processo que era autorregulado deixar de sê-lo. Isso acontece por quatro motivos principais. Em primeiro lugar, há um distanciamento dos habitantes do planejamento e da construção dos espaços. Como as demandas estão sempre mudando, mesmo um espaço com ótima qualidade de ajuste, eventualmente, apresentará problemas. Quando isso

95 “It has often been claimed in architectural circles that the houses of simpler civilizations than our own are in some sense better than our own houses. While these claims have perhaps been exaggerated, the observation is still sometimes correct.” (ALEXANDER, 1973, p. 28).

advém, as pessoas precisam recorrer à ajuda de intermediários, como o arquiteto, o engenheiro e o pedreiro, já que não possuem meios técnicos para alterá-lo. Essa fragmentação das atividades acaba reduzindo a velocidade de resposta às falhas, fazendo que os defeitos se acumulem até que alguma providência seja tomada. A velocidade em que os erros aparecem também pode se tornar maior do que o tempo gasto para resolvê-los, fazendo com que a arquitetura nunca esteja adaptada.

Em segundo lugar, há a falta dos recursos necessários para alterar o espaço. Mesmo em situações nas quais a fragmentação do processo de produção não existe ou é muito pequena, como na autoconstrução nas favelas, a qualidade de ajuste das casas é baixa. Isso se sucede, principalmente, porque as pessoas não têm acesso ao que precisam para transformarem o espaço: falta espaço, dinheiro ou tempo.

Há, ainda, uma liberdade formal maior, pois a tradição não comanda mais o processo construtivo. E, como as diversas variáveis da arquitetura são muito interligadas, torna-se impossível conseguir intuitivamente um bom resultado arquitetônico.

Por fim, a cultura e o ambiente mudam mais rapidamente na sociedade contemporânea, principalmente nas grandes cidades, dificultando que a correção de erros acompanhe a velocidade com que surgem de novas demandas.

Além da fragmentação do processo construtivo contribuir para a baixa qualidade dos espaços, ela também está relacionada à reprodução da desigualdade social. Essa divisão temporal clara entre as etapas do processo de produção espacial (projeto, construção e uso) e a separação das pessoas envolvidas em cada uma dessas etapas começou no final do período medieval (FERRO, 2006).

Isso ocorreu em razão de os investidores terem percebido que poderiam ganhar mais dinheiro com as construções se reduzissem o salário dos operários. Como os operários estavam organizados em corporações, era preciso desarticulá-los politicamente. A estratégia adotada foi dividi-los em especializações e introduzir uma hierarquia no canteiro para controlá-los, comandada pelo arquiteto com o desenho técnico. Esse profissional, no entanto, não goza de liberdade e poder, ele é apenas um funcionário em uma cadeia de comando. Em resumo, a fragmentação do trabalho foi o que permitiu e ainda possibilita grandes lucros vindos do canteiro de obras, contribuindo para a desigualdade social.

Outra maneira de reprodução da desigualdade social que também é fruto da centralização da tomada de decisões nas mãos do arquiteto é o controle do comportamento do usuário por meio do espaço. Embora de maneira indireta e menos clara, o espaço tem um papel importante na mediação das relações sociais, pois é nele onde

elas são criadas. Com o arquiteto, as instituições de poder podem determinar os espaços e moldar o comportamento das pessoas, estimulando relações hierárquicas.

Preocupado com a qualidade de ajuste dos espaços produzidos por arquitetos, Alexander (1973) propõe um método que visa a solucionar os problemas espaciais e promete gerar edifícios com a qualidade de ajuste tão boa quanto os edifícios que surgem espontaneamente no processo vernacular. No entanto, ele não discute mudanças no processo produtivo para que os usuários mantenham a arquitetura constantemente adaptada. Ou seja, ele propõe uma maneira de criar formas bem adaptadas, mas não um processo de produção que volte a ser autorregulado.

Para que isso ocorra, é necessário aumentar o que chamei de adaptabilidade da arquitetura, que pode ser entendida como a capacidade do usuário de transformar o espaço para adequá-lo às suas demandas que mudam constantemente. Dizer que uma relação tem baixa adaptabilidade significa afirmar que é difícil para o habitante alterar a arquitetura. Já uma arquitetura com alta adaptabilidade reduz a fragmentação da produção espacial e, conseqüentemente, melhora a qualidade de ajuste do espaço e minimiza os processos de reprodução da desigualdade social.

Ao longo deste trabalho foi sugerido que a automação poderia ser uma alternativa, senão a única forma, de aumentar a adaptabilidade da relação entre habitantes e arquitetura em nossa já fragmentada sociedade. No entanto, como exemplificado no Capítulo 4, existem muitas formas de automação na arquitetura, e o efeito da grande maioria delas não é o aumento da adaptabilidade, mas o crescimento da exploração e da concentração de renda, sendo seus benefícios distribuídos apenas a um pequeno grupo.

Esse tipo de automação é denominado pontual, pois, em geral, ocorre apenas em uma das etapas da produção do espaço (projeto, construção ou uso) e não proporciona uma integração entre elas. Quando aplicada de maneira pontual, a automação pode elevar a eficiência de um processo ou livrar as pessoas de tarefas repetitivas, mas contribui para intensificar a reprodução da desigualdade e piorar a qualidade de ajuste do espaço.

Todavia, existem propostas de automação que utilizam as novas tecnologias para integrarem as fases, ampliar a participação dos habitantes na construção e no projeto e reduzir a atuação de intermediários (como arquiteto e operário) na transformação do espaço. Esses tipos de automação são chamados de transversal. As automações do projeto, da simulação e da transformação espacial, reunidas num contínuo, possibilitam retomar um processo autorregulado de produção da arquitetura

mesmo numa sociedade na qual as pessoas não têm tempo e conhecimento para transformarem o espaço. Dessa forma, a automação transversal reduz a resistência do espaço à transformação e favorece a diminuição da desigualdade e melhora a qualidade de ajuste dos espaços.

Dois exemplos de automação transversal apresentados neste trabalho são os projetos *Fun Palace* e *Generator*, do arquiteto Cedric Price, detalhados na seção 4.8. Ambos os edifícios nunca foram construídos, mas as ideias contidas nos projetos demonstram a preocupação em criar um espaço com alta adaptabilidade. Para isso, o arquiteto desenvolveu sistemas construtivos com diversas peças que poderiam ser montadas e desmontadas com o auxílio de máquinas automáticas: uma grua mecânica no *Fun Palace* e um guindaste móvel no *Generator*. O uso desses equipamentos substituiria a força humana e amortizaria a resistência do espaço à transformação. Além de facilitar a transformação do espaço utilizando máquinas, o *Fun Palace* e o *Generator* também empregaram computadores para calcularem as demandas e mediarem os conflitos espaciais.

Nos dois projetos, Price abriu mão do controle sobre parte do resultado final para que as pessoas decidissem sobre o espaço e o transformassem continuamente. Os usuários, por sua vez, poderiam criar ambientes mais diversos e desprovidos de significado, permitindo interações mais espontâneas e estimulando diálogos.

Ambos os projetos de Price são de espaços públicos, o que certamente justifica o custo de implementação dessas tecnologias, já que os usos variam frequentemente. No caso da produção de casas ou espaços com demandas menos voláteis, talvez os robôs não sejam necessários. Apenas o emprego de sistemas construtivos fáceis de montar e desmontar manualmente e interfaces eletrônicas que ajudam no planejamento e na simulação das mudanças podem ser suficientes para aumentar a adaptabilidade.

Outro exemplo de automação transversal é a interface Trambolho, que desenvolvi como Trabalho de Conclusão de Curso. Embora em uma escala muito menor, a proposta do Trambolho é ser uma ferramenta para que as pessoas possam facilmente negociar e transformar o espaço. A instalação é composta por duas estruturas mecânicas móveis e diversos sensores e atuadores que podem ser usados pelos usuários para alterarem a ambiência, aumentando a adaptabilidade da arquitetura por meio da automação. Um protótipo funcional foi construído e, apesar de alguns problemas, demonstrou a viabilidade do sistema.

O Trambolho e os dois projetos de Price são exemplos de formas de atuação do

arquiteto que contribuem para aumentar a adaptabilidade da arquitetura e produzir mudanças sociais. Apesar de abrirem mão da forma final do edifício, os arquitetos não são excluídos do processo de produção do espaço. Em um cenário de crescente automação, o papel do profissional passa a ser desenvolver interfaces para auxiliar as pessoas a produzirem seu próprio espaço. Seja desenvolvendo aplicativos que simplificam a criação de projetos, traduzindo conceitos como volumetria, equilíbrio, harmonia e cálculos matemáticos (por exemplo, cálculo de estrutura, iluminação, ventilação, conforto térmico e acústico) em imagens e representações gráficas que podem ser entendidas e manipuladas por leigos; seja criando sistemas construtivos adequados para mudanças constantes e compatíveis com as máquinas automáticas. Embora não seja necessário, pode ser muito útil aos arquitetos o conhecimento de linguagens de programação para proporem e testarem interfaces sem precisarem recorrer a outros profissionais.

As mudanças profissionais também se estendem aos operários da construção civil. A exploração do canteiro, no entanto, não deixa de existir, apenas migra para as fábricas que produzem as máquinas e as peças dos sistemas construtivos. Por isso, a adaptabilidade da arquitetura não soluciona a questão da exploração em todos os níveis; em alguns casos, ela é apenas deslocada para outra área.

Em resumo, o resultado da pesquisa mostra que se a automação for usada para dar mais controle ao usuário do espaço, mudando o processo de produção e diluindo a tomada de decisões, ela pode não apenas criar relações mais adaptadas e mitigar processos de reprodução da desigualdade, como, talvez, seja a única maneira de viabilizar isso no cenário atual.

No entanto, como o desenvolvimento tecnológico está subordinado a forças econômicas e políticas, as formas de automação mais disseminadas reforçam as divisões existentes e não alteram o processo de produção. Conclui-se que é necessário continuar a investigação a respeito das tecnologias computacionais e pautar o desenvolvimento de novas tecnologias para que sejam aplicadas de modo a garantir maior envolvimento dos usuários na produção do espaço.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, Carolina. De Rolê. **PISEAGRAMA**: Passeio, n. 7, p. 32-37. Belo Horizonte, 2015.
- ALEXANDER, Christopher. **Notes on the Synthesis of Form**. 7. ed. Cambridge: Harvard University Press, 1973. 216 p.
- ANDERSEN, Peter A.. Proxemics. In: LITTLEJOHN, Stephen W.; FOSS, Karen A. (eds.), **Encyclopedia of Communication Theory**. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, 2009, p. 807–808.
- ANTONELLI, Paola. Interview with Pierre Apraxine. In: RILEY, Terence (ed.). **The changing of the avant-garde: Visionary architectural drawings from the howard gilman collection**. New York: The Museum of Modern Art (MoMA), p. 147–154, 2002.
- ARANTES, Pedro Fiori. **Arquitetura na era digital-financeira**: desenho, canteiro e renda da forma. 2010. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- ASHBY, William Ross. The electronic brain. **Radio-Electronics**, New York, v. 20, n. 6, p. 77–80, mar. 1949.
- ASHBY, William Ross. **Design for a brain**: The origin of adaptive behaviour. New York: John Wiley & Sons, 1960.
- BALTAZAR, Ana Paula. **Cyberarchitecture**: the virtualisation of architecture beyond representation towards interactivity. 2009. PhD thesis – University College London, London, 2009.
- BALTAZAR, Ana Paula; CABRAL FILHO, José dos Santos. Magia além da ignorância: virtualizando a caixa preta. In: ROSCOE, Henrique; MORAN, Patrícia; MUCELLI, Tadeus (eds.). **FAD – Festival de Arte Digital 2010**, Belo Horizonte: Instituto Cidades Criativas, 2011, p. 12–18.
- BALTAZAR, Ana Paula; CABRAL FILHO, José dos Santos; ARRUDA, Guilherme; MELGAÇO, Lorena; ALMEIDA, Marcela. Beyond the visual in urban interactive interfaces: dialogue and social transformation. In: **International Journal of Creative Interfaces and Computer Graphics (IJCICG)**, v. 5, n. 2, p. 1–15, 2014.
- BALTAZAR, Ana Paula; KAPP, Silke. Por uma Arquitetura não planejada: o arquiteto como designer de interfaces e o usuário como produtor de espaços. **Impulso (Piracicaba)**, v. 17, p. 93–103, 2006.
- BANCO MUNDIAL State of electricity access report 2017. Washington: International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, 2017. Disponível em: <documents.worldbank.org/curated/en/364571494517675149/pdf/114841-REVISED-JUNE12-FINAL-SEAR-web-REV-optimized.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2018.

- BARBA, Ana Fernanda Hierro; CRUZ, Enrique Espinoza; MADRIGAL, José Luis González; ACOSTA, Waleska Marcela Pría. **Estudio sobre el impacto de las TICs en la formación de capitales**: El caso de Talea de Castro y Santa María Yaviche, Oaxaca. Lima: DIRSI publishes, 2014.
- BEER, Stafford. **Cybernetics and Management**. London: English Universities Press, 1959. 214p.
- BENNATON, Jocelyn. **O que é cibernética**. São Paulo: Brasiliense, 1986. 92 p.
- CABRAL FILHO, José dos Santos. Automação. In: GASPAR, João (Ed.). **101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital**. São Paulo: ProBooks, 2016, p. 31-32. 256 p.
- CABRAL FILHO, José dos Santos; BALTAZAR, Ana Paula. Tenda Digital/Digital TENT (Technological Environment for Negotiated Topology) e suas possíveis implicações em contextos sociais. In: **X SIGRADI Congreso Iberoamericano de Gráfica Digital**, Santiago: Universidad de Chile, 2006, p. 346–349.
- CABRAL FILHO, José dos Santos. Cybernetics Is the Answer, but What Was the Conversation About? **Constructivist Foundations**, vol. 11, n. 3, p. 587–589, 2016. Disponível em: <constructivist.info/11/3/587.cabral>. Acesso em: 4 set. 2018.
- CALDEIRA, Teresa Pires do Rio. Qual a novidade dos rolezinhos? Espaço público, desigualdade e mudança em São Paulo. **Novos estudos** – CEBRAP, São Paulo, n. 98, p. 13–20, 2014.
- CANNON, Walter Bradford. Organization for physiological homeostasis. **Physiological Reviews**, 9 (3): 399-431, 1929.
- CAU/BR (Brasil). Resolução nº 67, de 5 de dezembro de 2013. Dispõe sobre os Direitos Autorais na Arquitetura e Urbanismo, estabelece normas e condições para o registro de obras intelectuais no Conselho de Arquitetura e Urbanismo (CAU), e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, Edição nº 240, Seção 1, 11 dez. 2013, p. 163–164.
- CCA. **Cedric Price: Fun Palace**. Canadian Centre for Architecture (CCA). 20-- {?}. Disponível em: <www.cca.qc.ca/en/collection/283-cedric-price-fun-palace>. Acesso em: 12 dez. 2015.
- DE ABREU, Sandro Canavezzi. Construção do Meta-Lab: re-estruturação do laboratório de informática da FAUeD-UFU . In: **III ENANPARQ** (Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo): arquitetura, cidade e projeto: uma construção coletiva, São Paulo, 2014.
- DATAFOLHA. **Pesquisa Datafolha CAU/BR**. 2015. Disponível em: <www.cau.br.gov.br/pesquisa2015>. Acesso em: 21 nov. 2017.
- DUBBERLY, Hugh; PANGARO, Paul; HAQUE, Usman. What is interaction?: are there different types?. **Interactions**, v. 16, n. 1, p. 69-75, 2009.

- FACEBOOK. **Central de ajuda: Como o Feed de notícias funciona**. 2015. Disponível em: <www.facebook.com/help/327131014036297/>. Acesso em: 15 jul. 2015.
- FAIRS, Marcus. **ProtoHouse by Softkill Design**. 2012. Disponível em: <www.dezeen.com/2012/10/23/protohouse-by-softkill-design/>. Acesso em: 8 mar. 2018.
- FERRO, Sérgio. **Arquitetura e Trabalho Livre**. São Paulo: Cosac Naify, 2006. 456 p.
- FERRO, Sérgio. Conversa com Sérgio Ferro: mais uma peça na construção de um debate. **Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP**, São Paulo, v. 12, p. 10-32, dec. 2002. Disponível em: <www.revistas.usp.br/posfau/article/view/47672>. Acesso em: 10 nov. 2017.
- FLAHERTY, Joseph. **These Cute Little Drones Could 3-D Print a House**. 2014. Disponível em: <www.wired.com/2014/06/these-drones-could-3-d-print-your-next-house>. Acesso em: 10 dez. 2015;
- FLUSSER, Vilém. **Filosofia da caixa preta**. São Paulo: Hucitec, 1985. 92 p.
- FLUSSER, Vilém. **O universo das imagens técnicas: elogio da superficialidade**. São Paulo: Annablume, 2008. 150 p.
- FOUCAULT, Michel; RABINOW, Paul. **Space, Power, and Knowledge**. Skyline, 1982. Entrevista concedida a Paul Rabinow e transcrita por Christian Hubert. Disponível em: <thefunambulist.net/2012/06/20/foucault-episode-1-michel-foucaults-architectural-underestimation/>. Acesso em: 20 jul. 2015.
- FRAZER, John. **An Evolutionary Architecture**. Londres: Architectural Association, 1995. 127 p.
- FRIEDAN, Betty. **Mística Feminina**. Tradução de Áurea B. Weissenberg. Petrópolis: Vozes, 1971. 325p. Disponível em: <brasil.indymedia.org/media/2007/02/374147.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2018.
- FRIEDMAN, Yona. The Flatwriter: choice by computer. **Progressive Architecture**, v. 52, p. 98-101, mar. 1971.
- FRIEDMAN, Yona. **Principles Ville Spatiale**. 20--a {?}. Disponível em: <www.yonafriedman.nl/?page_id=396>. Acesso em: 1 jun. 2017.
- FRIEDMAN, Yona. **Flatwriter**. 20--b {?}. Disponível em: <www.yonafriedman.nl/?page_id=238&wppa-album=26&wppa-occur=1&wppa-photo=230>. Acesso em: 1 jun. 2017.
- FURUTO, Alison. Flight Assembled Architecture Exhibition. **Archdaily**. 22 out. 2011. Disponível em: <www.archdaily.com/177786/flight-assembled-architecture-exhibition/>. Acesso em: 4 mar. 2018.
- GALEOTTI, Giulia. La lavatrice e l'emancipazione della donna: Metti il detersivo, chiudi il coperchio e rilassati. **L'Osservatore Romano**, Vaticano, 8 mar. 2009. Disponível em: <www.

- vatican.va/news_services/or/or_quo/cultura/056q05a1.html>. Acesso em: 30 jan. 2018.
- HAQUE, Usman; SOMLAI-FISCHER, Adam. **Reconfigurable House**. 20-- {?}. Disponível em: <house.propositions.org.uk/>. Acesso em: 23 abr. 2018.
- IBGE. **Censo Demográfico 2010: aglomerados subnormais: primeiros resultados**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2011.
- IBGE. **Censo Demográfico 2010: aglomerados subnormais: informações territoriais**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013. Disponível em: <biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/552/cd_2010_agrn_if.pdf>. Acesso em: 8 mar. 2018.
- IBGE. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios 2015: Síntese de Indicadores**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2016. Disponível em: <biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv98887.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2018.
- JONES, John Chris. **Designing designing**. London: Architecture Design and Technology Press, 1991.
- LACERDA, Norma; BERNARDINO, Iana Ludermit. Fragmentação e integração nas metrópoles brasileiras: retorno à unidade espacial. In: LIMONAD, Ester; CASTRO, Edna. **Um novo planejamento para um novo Brasil?**. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2014. p. 202-224.
- LANSKY, Samy. **Na cidade, com crianças: uma etno-grafia espacializada**. 2012. 302 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2012.
- LEE, David. **As casas impressas em 3D que ficam prontas em 48 horas**. 2018. Disponível em: <www.bbc.com/portuguese/geral-43480639>. Acesso em: 26 mar. 2018.
- LIMA, Henrique Gazzola de. **Parametrização, zoneamento e produção autônoma do espaço urbano**. 2017. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.
- LOTT-LAVIGNA, Ruby. **Watch this giant 3D printer build a house**. 2015. Disponível em: <www.wired.co.uk/news/archive/2015-09/21/giant-3d-printer-builds-houses>. Acesso em: 10 dez. 2015.
- MATHEWS, Stanley. The Fun Palace: Cedric Price's experiment in architecture and technology. **Technoetic Arts**, v. 3, n. 2, p. 73-92, 2005.
- MATHEWS, Stanley. The Fun Palace as virtual architecture: Cedric Price and the practices of indeterminacy. **Journal of Architectural Education**, v. 59, n. 3, p. 39-48, 2006.
- MÜLLER, Werner. Le dessin technique a l'époque gothique. In: RECHT, Roland (ed.). **Les bâtisseurs des cathédrales gothiques**. Estrasburgo: Musées de la Ville de Strasbourg, 1989. p. 237-254.
- NEGROPONTE, Nicholas. **Soft Architecture Machines**. Massachusetts: The MIT press, 1975.

239 p.

NEGROPONTE, Nicholas. **The Architecture Machine: Toward a More Human Environment**. Massachusetts: The MIT Press, 1970. 153 p.

NEST LABS. **Energy Savings from the Nest Learning Thermostat: Energy Bill Analysis Results**. 2015. Disponível em: <downloads.nest.com/press/documents/energy-savings-white-paper.pdf>. Acesso em: 8 abr. 2018.

OMS; UNICEF. **Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene: 2017 Update and SDG Baselines**. Geneva: World Health Organization (WHO) and the United Nations Children's Fund (UNICEF), 2017. Disponível em: <washdata.org/sites/default/files/documents/reports/2018-01/JMP-2017-report-final.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2018.

QUINTINO, Estevam; BALTAZAR, Ana Paula. Interface para telecomunicação bidirecional não verbal em tempo real. **Blucher Design Proceedings**, v. 1, n. 8, p. 231-235, 2014.

RECHT, Roland (ed.). **Les Bâisseurs des cathédrales gothiques**. Estrasburgo: Musées de la Ville de Strasbourg, 1989.

RILEY, Terence (ed.). The changing of the avant-garde: Visionary architectural drawings from the howard gilman collection. New York: The Museum of Modern Art (MoMA), 2002.

ROSLING, Hans. The magic washing machine. **TEDWomen 2010**. dez. 2010. Disponível em: <www.ted.com/talks/hans_rosling_and_the_magic_washing_machine>. Acesso em: 30 jan. 2018.

RUDOFISKY, Bernard. **Architecture without architects: a short introduction to non-pedigreed architecture**. New York: Doubleday & Company, 1964.

RUS, Daniela; DONALD, Bruce; JENNINGS, Jim. Moving furniture with teams of autonomous robots. In: **Proceedings 1995 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems**, Pittsburgh, PA, ago. 1995, p. 235–242

SIMON, Matt. **This Robot Tractor Is Ready to Disrupt Construction**. Wired. 19 out. 2017. Disponível em: <www.wired.com/story/this-robot-tractor-is-ready-to-disrupt-construction/>. Acesso em: 05 mar. 2018.

SMITH, Jocelyn; MACLEAN, Karon. Communicating emotion through a haptic link: Design space and methodology. **International Journal of Human-Computer Studies**, v. 65, n. 4, p. 376–387, 2007.

SPROEWITZ, Alexander; BILLARD, Aude; DILLENBOURG, Pierre; IJSPEERT, Auke Jan. Roombots—mechanical design of self-reconfiguring modular robots for adaptive furniture. In: **Proceedings 2009 IEEE Int. Conf. Robotics and Automation**, Kobe, Japan, mai. 2009, p. 4259–4264. Disponível em: <infoscience.epfl.ch/record/142734/files/ICRA2009_sproewit_preprint.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2018.

- STEENSON, Molly Wright. Cedric Price's Generator. **Crit:**, n. 69, p. 14-15. Washington: American Institute of Architecture Students, 2010. Disponível em: <www.aias.org/wp-content/uploads/2016/03/Crit69_Press1.pdf>. Acesso em: 8 jan. 2018.
- STINSON, Elizabeth. **Cramped Apartment? Try Some Transforming, Robotic Furniture.** Wired. 14 ago. 2017. Disponível em: <www.wired.com/story/ori-robotic-furniture/>. Acesso em: 8 jan. 2018.
- STOTT, Rory. Chinese Company Showcases Ten 3D-Printed Houses. **Archdaily**. 2 set. 2014. Disponível em: <www.archdaily.com/543518/chinese-company-showcases-ten-3d-printed-houses/>. Acesso em: 4 mar. 2018.
- TEH, James Keng Soon *et al.* Huggy Pajama: a mobile parent and child hugging communication system. In: **Proceedings of the 7th international conference on Interaction design and children**. ACM, 2008, p. 250–257.
- THE MODEL Engineer. Read Books, 2016. 44p. Disponível em: <books.google.com.br/books?id=Ok8WDQAAQBAJ>. Acesso em: 6 set. 2018.
- VISNJIC, Filip. **Di-Dah-Dit:** A telepresence device by Camille Morizot. 2014. Disponível em: <www.creativeapplications.net/arduino-2/di-dah-dit-a-telepresence-device-bycamille-morizot/>. Acesso em: 20 out. 2014.
- WAIBEL, Markus. Architects Using Robots to Build Beautiful Structures: Swiss architects Fabio Gramazio and Matthias Kohler are using robots to create astonishing buildings. **IEEE Spectrum**. 20 set. 2011.
- WEIMER, Günter. **Arquitetura popular brasileira**. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2012.
- WEINZAPFEL, Guy; NEGROPONTE, Nicholas. Architecture-by-yourself: an experiment with computer graphics for house design. In: **ACM SIGGRAPH Computer Graphics**. ACM, 1976, p. 74–78. Disponível em: <dl.acm.org/citation.cfm?id=563290>. Acesso em: 20 mar. 2018.
- WOODS, Lebbeus. The question of space. **Technoscience and cyberculture**. New York: Routledge, 1996. p. 279-292.
- WOOLLASTON, Victoria; STEADMAN, Ian. **The race to build the first 3D-printed building**. 2017. Disponível em: <www.wired.co.uk/article/architecture-and-3d-printing>. Acesso em: 4 mar. 2018.
- YANG, Rayoung; NEWMAN, Mark W. Learning from a learning thermostat: lessons for intelligent systems for the home. In: **Proceedings of the 2013 ACM international joint conference on Pervasive and ubiquitous computing**. ACM, 2013, p. 93–102.