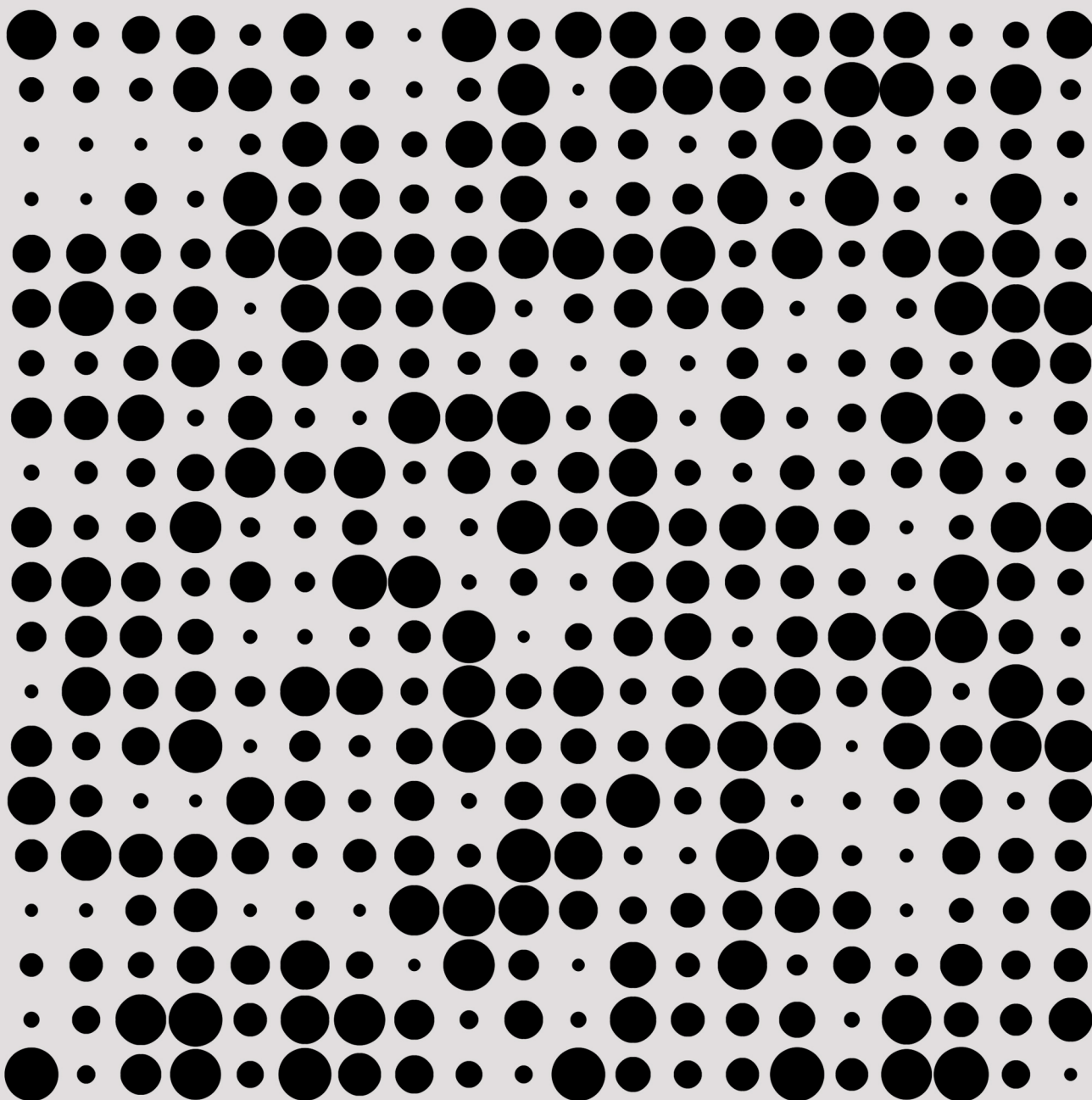


# Algoritmos Participativos:

Uma Ferramenta Computacional de Produtividade



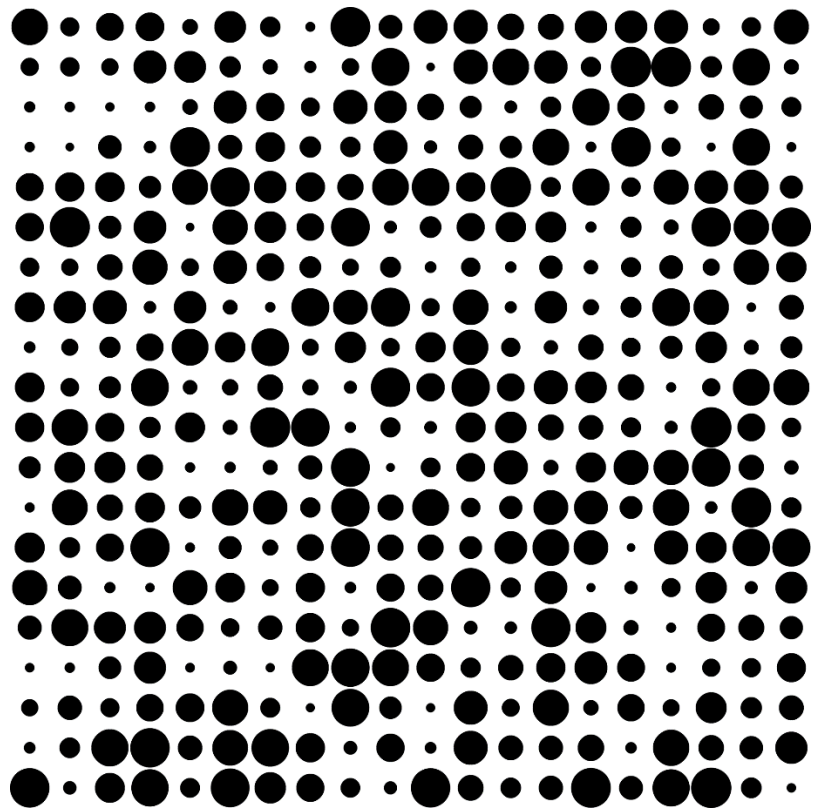
Luiz Alberto Fresl Backheuser



**Universidade de São Paulo**  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

**Algoritmos Participativos:**  
Uma Ferramenta Computacional de Produtividade

Luiz Alberto Fresl Backheuser



São Paulo · 2020

**Luiz Alberto Fresl Backheuser**

**Algoritmos participativos:**  
Uma Ferramenta Computacional de Produtividade

Exemplar revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade do autor e anuência do orientador.

A versão original, em formato digital, ficará arquivada na biblioteca da faculdade.

Tese apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador:  
**Professor Dr. Paulo Eduardo Fonseca de Campos**

Área de Concentração:  
Design e Arquitetura

Linha de Pesquisa:  
1 – Design e Arquitetura: Inter-relações

São Paulo, julho de 2020

Autorizo a divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo ou pesquisa, desde que citada a fonte.

backheuser@gmail.com

Catálogo na Publicação  
Serviço Técnico de Biblioteca  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo

Backheuser, Luiz Alberto Fresl  
Algoritmos participativos: Uma Ferramenta Computacional  
de Produtividade / Luiz Alberto  
Fresl Backheuser; orientador Paulo Eduardo Fonseca De  
Campos. - São Paulo, 2020.  
211 p.

Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo  
da Universidade de São Paulo. Área de concentração: Design e  
Arquitetura.

1. Customização em Massa. 2. Habitação Massificada. 3.  
Arquitetura Algorítmica. 4. Fabricação Digital. I. De Campos,  
Paulo Eduardo Fonseca, orient. II. Título.

Elaborada eletronicamente através do formulário disponível em: <<http://www.fau.usp.br/fichacatalografica/>>



BACKHEUSER, Luiz Alberto Fresl. **Algoritmos Participativos: Uma Ferramenta Computacional de Produtividade**. 211 páginas. Tese de doutorado – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

Aprovado em: 29 de maio de 2020

Banca Examinadora

Prof. Dr. Paulo Eduardo Fonseca de Campos

Instituição: FAU - USP

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. Marcelo Silva Oliveira

Instituição: FAU - USP

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. André Leme Fleury

Instituição: EP - USP

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. Charles de Castro Vincent

Instituição: FAU - UPM

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. Gonçalo de Castro Henriques

Instituição: FAU - UFRJ

Julgamento: Aprovado

A meu pai  
José Luiz Poyares Backheuser

A meu filho  
Luiz Gustavo Fernandes Backheuser

## Resumo

A presente tese propõe a criação de uma estratégia algorítmica para a aplicação do conceito de customização em massa, ou personalização em massa, na produção habitação. A partir de uma revisão bibliográfica sobre a produção massificada de edifícios residenciais ao longo do século XX e início do século XXI, evidencia-se a inadequação dessas experiências às demandas reais de seus moradores. Críticas a esses modelos levam à busca pelo envolvimento dos futuros ocupantes nas definições arquitetônicas e urbanísticas de novos empreendimentos. O envolvimento do morador, consumidor ou usuário na definição de um produto ganha força em diferentes setores produtivos, e na indústria de bens e serviços materializam-se em metodologias de otimização dessa participação identificadas como customização em massa. Uma vez que se produz habitação em larga escala, este trabalho busca, à luz da customização em massa, contribuir para uma metodologia de otimização da participação dos futuros moradores nas definições das características de suas casas. Assim, propõe a criação de uma ferramenta computacional que, a partir do diálogo com os usuários, gere uma ampla variedade de soluções de uma proposta arquitetônica. Para tanto, busca-se, por meio de uma prova de conceito, contribuir para as discussões sobre a incorporação dos futuros moradores na concepção arquitetônica através de ferramentas computacionais.

**Palavras-chave:** Habitação massificada. Customização em massa. Fabricação digital. Arquitetura Algorítmica. Arquitetura Paramétrica. Arquitetura Generativa.

## Abstract

This thesis proposes the creation of an algorithmic strategy for the application of the concept of mass customization in housing production. From a bibliographic review on the mass production of residential buildings throughout the 20th and early 21st centuries, the inadequacy of these experiences to the real demands of their residents is evident. Criticism of these models leads to the search for the involvement of future occupants in the architectural and urban definitions of new developments. The involvement of the resident, consumer or user in the definition of a product gains strength in different productive sectors, and in the goods and services industry materializes in methodologies for the optimization of this participation identified as mass customization. Since housing is produced on a large scale, this work seeks, in the light of mass customization, to contribute to a methodology for optimizing the participation of future residents in defining the characteristics of their homes. Thus, it proposes the creation of a computational tool that, from the dialogue with users, generates a wide variety of solutions for an architectural proposal. To this end, it is sought, through a proof of concept, to contribute to the discussions on the incorporation of future residents in architectural design through computational tools.

**Keywords:** Mass Housing. Mass Customization. Digital Fabrication. Algorithmic Architecture. Parametric Architecture. Generative Architecture.

## Agradecimentos

Este trabalho não seria possível sem o apoio direto e indireto de familiares, amigos e professores. Assim, agradeço a:

Gabriela Castanheira pelo apoio e sacrifícios que teve de fazer para que eu tivesse mais tempo para me dedicar a esta pesquisa.

Meu orientador, Professor Paulo Eduardo Fonseca de Campos, pela paciência, sabedoria e por ser um interlocutor tão disposto e afável.

Meu amigo e Professor Charles C. Vincent pelo companheirismo, apoio, revisões de textos e ensinamentos.

Meu amigo Eduardo Campolongo, pelo companheirismo, apoio e pelo impecável trabalho de pesquisa de mestrado, aqui mencionado.

Meu amigo e Professor Eduardo Sampaio Nardelli pelo incentivo, companheirismo e por me apresentar a discussão sobre processos digitais em Arquitetura.

Meus pais, José Luiz Poyares Backheuser e Bozana Fresl Backheuser, por me ensinarem a valorizar o conhecimento.

Por fim, a todos que de alguma maneira contribuíram com este trabalho.

*Computing is not about computers anymore. It is about living.*

*Nicholas Negroponte*

## Lista de figuras

- Figura 1 – *Siedlung Frankfurt-Praunheim*, 1929.
- Figura 2 – Método de incrementos sucessivos de A. Klein.
- Figura 3 – Plano *Voisin*, 1925.
- Figura 4 – *La Grande Borne*, Grigny, periferia de Paris.
- Figura 5 – Exemplo do *Million Programme*, Rinkeby-Kista, Estocolmo, Suécia.
- Figura 6 – Demolição do Pruitt Igoe.
- Figura 7 – Byker Wall.
- Figura 8 – Habitação social recente no México – fotografia – Livia Corona.
- Figura 9 – Habitação social recente no México – fotografia – Jorge Taboada.
- Figura 10 – Exemplo do PMCMV.
- Figura 11 – Exemplo do PMCMV.
- Figura 12 – *Environmental levels*.
- Figura 13 – Zonas e margens.
- Figura 14 – Combinações possíveis a partir da pré-fabricação aberta.
- Figura 15 – Sequências de ações do *Flatwriter*, de Yona Friedman.
- Figura 16 – Gráfico do *loop* condicionado de Yona Friedman.
- Figura 17 – Geração da forma através do processo de Stiny e Gips.
- Figura 18 – Tipos de modularidade.
- Figura 19 – Variações de tipologias.
- Figura 20 – Mesas paramétricas de Gramazio e Kohler.
- Figura 21 – Luminária personalizável.
- Figura 22 – Claraboia personalizável.
- Figura 23 – Fachadas personalizáveis.
- Figura 24 – Máquina Milwaukee-Matic-II do final dos anos 1950.
- Figura 25 – HtwoOexpo (1997) do escritório NOX.
- Figura 26 – *AA Summer Pavilion* de 2008.
- Figura 27 – *Instant House*.
- Figura 28 – *Instant House*.
- Figura 29 – *Wikihouse*.
- Figura 30 – Exemplo *Wikihouse* – *World Maker Faire*, 2013.
- Figura 31 – Visita do TPED à Casa Revista em maio de 2015.
- Figura 32 – Fresadora CNC adquirida com recursos da FINEP.
- Figura 33 – Treinamento em março de 2015.

Figura 34 – Studio\_v0.2.

Figura 35 – Proposta de casa-padrão PMCMV baseada no sistema *Wikihouse*.

Figura 36 – Modelo em escala 1:6 – Proposta de casa-padrão MCMV baseada no sistema *Wikihouse*.

Figura 37 – Montagem do primeiro modelo em escala real – fevereiro de 2016.

Figura 38 – Rompimento dos encaixes longitudinais.

Figura 39 – Estudo de revisão dos encaixes longitudinais.

Figura 40 – Segundo modelo.

Figura 41 – Montagem do segundo modelo – outubro de 2016.

Figura 42 – Segundo modelo pronto – outubro de 2016.

Figura 43 – *Cliphut*.

Figura 44 – *Cliphut*.

Figura 45 – *Cliphut*.

Figura 46 – *Wikicurva*.

Figura 47 – Simulações digitais sobre os pórticos do segundo modelo.

Figura 48 – Corpos de prova para ensaios de resistência mecânica.

Figura 49 – Ensaio de flexão elástica e compressão axial.

Figura 50 – Sequência de componentes dos pórticos do terceiro modelo.

Figura 51 – Planta e perspectiva da proposta para o terceiro modelo.

Figura 52 – Volumetria construtiva da proposta para o terceiro modelo.

Figura 53 – Montagem do modelo em escala 1:3.

Figura 54 – Modelo em escala 1:3.

Figura 55 – Volumetria explodida.

Figura 56 – Primeiros testes do modelo em escala real.

Figura 57 – Usinagem dos painéis de OSB.

Figura 58 – Início da montagem dos pórticos em agosto de 2019.

Figura 59 – Desenvolvimento da montagem.

Figura 60 – Desenvolvimento da montagem.

Figura 61 – Colocação do piso interno.

Figura 62 – O terceiro modelo recebendo visitantes em 29 de setembro de 2019.

Figura 63 – O terceiro modelo em dezembro de 2019.

Figura 64 – O terceiro modelo em dezembro de 2019.

Figura 65 – O terceiro modelo em dezembro de 2019.

Figura 66 – Exemplo de mobiliário com licença *Creative Commons*.

Figura 67 – Crescimento linear a partir da adição de pórticos.

Figura 68 – Crescimento linear a partir da adição de pórticos duplos.



Figura 69 – Unidade mínima.

Figura 70 – Opção com sala pequena em pórtico duplo, com cozinha média americana, banheiro grande e dormitório 1 grande.

Figura 71 – Opção com sala média em pórtico duplo, com cozinha grande fechada, banheiro pequeno, dormitório 1 médio e segundo dormitório 2 pequeno.

Figura 72 – Opção com sala grande em pórtico simples, com cozinha pequena fechada, banheiro grande, dormitório 1 pequeno, dormitório 2 pequeno e dormitório 3 pequeno.

Figura 73 – Opção com sala pequena em pórtico duplo, com cozinha pequena americana, banheiro pequeno, dormitório 1 pequeno e dormitório 3 grande.

Figura 74 – Decomposição da sala de pórtico simples.

Figura 75 – Decomposição da sala de pórtico duplo.

Figura 76 – Decomposição da sala de pórtico duplo.

Figura 77 – Opções para o banheiro.

Figura 78 – Opções para o dormitório 1.

Figura 79 – Opções para o dormitório 2.

Figura 80 – Opções para o dormitório 3.

Figura 81 – *Layout* sala pórtico simples.

Figura 82 – *Layout* sala pórtico duplo.

Figura 83 – *Layout* cozinha.

Figura 84 – *Layout* dormitório 1.

Figura 85 – *Layout* dormitório 2.

Figura 86 – *Layout* dormitório 3.

Figura 87 – Decomposição dos volumes da sala.

Figura 88 – Decomposição dos volumes da cozinha.

Figura 89 – Decomposição dos volumes do banheiro.

Figura 90 – Decomposição dos volumes do dormitório 1.

Figura 91 – Decomposição do volume do dormitório 2.

Figura 92 – Decomposição do volume do dormitório 3.

Figura 93 – Geometrias no *Rhinoceros*.

Figura 94 – Sobreposição dos ambientes.

Figura 95 – Sobreposição dos *layouts*.

Figura 96 – Canvas do algoritmo no *Grasshopper*.

Figura 97 – Comandos de edição das geometrias das plantas.

Figura 98 – Comandos de edição das geometrias da planta da sala.

Figura 99 – Comandos de edição das geometrias da planta da cozinha.

Figura 100 – Comandos de edição das geometrias da planta do banheiro.

Figura 101 – Comandos de edição das geometrias da planta do dormitório 1.

Figura 102 – Comandos de edição das geometrias da planta do dormitório 2.

Figura 103 – Comandos de edição das geometrias da planta do dormitório 3.

Figura 104 – Comandos de edição dos *layouts*.

Figura 105 – *Script* em Python.

Figura 106 – Comandos de edição das geometrias do *layout* da sala.

Figura 107 – Comandos de edição das geometrias do *layout* da cozinha.

Figura 108 – Comandos de edição das geometrias do *layout* do dormitório 1.

Figura 109 – Comandos de edição das geometrias do *layout* do dormitório 2.

Figura 110 – Comandos de edição das geometrias do *layout* do dormitório 3.

Figura 111 – Comandos de edição do modelo tridimensional.

Figura 112 – Comandos de edição do modelo tridimensional da sala.

Figura 113 – Comandos de edição do modelo tridimensional da cozinha.

Figura 114 – Comandos de edição do modelo tridimensional do banheiro.

Figura 115 – Comandos de edição do modelo tridimensional do dormitório 1.

Figura 116 – Comandos de edição do modelo tridimensional do dormitório 2.

Figura 117 – Comandos de edição do modelo tridimensional do dormitório 2.

Figura 118 – *Script* para o cálculo da área resultante.

Figura 119 – Cálculo da área do módulo.

Figura 120 – Cálculo da área da sala.

Figura 121 – Cálculo da área da cozinha.

Figura 122 – Cálculo da área do banheiro.

Figura 123 – Cálculo da área do dormitório 1.

Figura 124 – Cálculo da área do dormitório 2.

Figura 125 – Cálculo da área do dormitório 3.

Figura 126 – Cálculo da área total.

Figura 127 – *Script* de numeração da combinação.

Figura 128 – Distribuição das peças a serem usinadas nos painéis de OSB (*nesting*).

Figura 129 – Parte dos painéis do grupo 0 com os componentes de um pórtico duplo.

Figura 130 – *Script* de quantificação de grupos de painéis para usinagem.

Figura 131 – *Script* de quantificação de grupos de painéis para usinagem da sala.

Figura 132 – Soma final dos grupos de painéis necessários.

Figura 133 – Exemplo de arquivo .xlsx resultante das informações provenientes do algoritmo.

Figura 134 – Exemplo de arquivo .xlsx resultante das informações provenientes do algoritmo.

Figura 135 – Comandos de controle.

Figura 136 – As linhas verdes mostram como os mesmos *Sliders* e *Boolean Toggles* se conectam a diferentes comandos.

Figura 137 – Bloco interativo de controle.

Figura 138 – Bloco iterativo de controle.

Figura 139 – Quadro de redação do código em Python.

Figura 140 – Exemplo de comando recebendo simultaneamente informações do *Slider* tms (interativo) e quadro Python (iterativo).

Figura 141 – Quadro flutuante de iteração.

Figura 142 – Sequência de onze perguntas ou demandas nos quadros flutuantes.

Figura 143 – Opção com sala média em pórtico simples, com cozinha pequena fechada, banheiro grande, dormitório 1 médio e dormitório 3 pequeno.

Figura 144 – Opção com sala média em pórtico simples, com cozinha pequena americana, banheiro pequeno, dormitório 1 pequeno e dormitório 2 pequeno.

Figura 145 – Opção com sala pequena em pórtico duplo, com cozinha grande fechada, banheiro pequeno, dormitório 1 pequeno e dormitório 2 grande.

Figura 146 – Opção com sala média em pórtico duplo, com cozinha média fechada, banheiro pequeno, dormitório 1 médio e dormitório 3 pequeno.

Figura 147 – Opção com sala grande em pórtico duplo, com cozinha grande fechada, banheiro grande, dormitório 1 grande, dormitório 2 grande e dormitório 3 grande.

Figura 148 – Opção com sala pequena em pórtico duplo, com cozinha pequena americana, banheiro pequeno, dormitório 1 pequeno, dormitório 2 pequeno e dormitório 3 pequeno.

## Lista de quadros

Quadro 1 – Programas recentes de promoção de habitação social em larga escala.

Quadro 2 – Os oito degraus de Arnstein.

Quadro 3 – Gradação de Wulz.

Quadro 4 – Revisão de Wilcox.

Quadro 5 – Adaptação de Choguill.

Quadro 6 – Níveis de envolvimento do usuário através de ferramentas digitais.

Quadro 7 – Relação gradativa entre standardização e customização.

Quadro 8 – Quatro abordagens.

Quadro 9 – Resumo das abordagens anteriores.

Quadro 10 – Ponto de ruptura dos corpos de prova.

Quadro 11 – Ponto de ruptura dos corpos de prova.

Quadro 12 – Quadro comparativo.

Quadro 13 – Combinações de arranjos de ambientes.

## Lista de diagramas

Diagrama 1 – Diagrama de blocos do algoritmo.

Diagrama 2 – Sequência de ações propostas para um processo participativo auxiliado por computador.

## Lista de abreviaturas e siglas

CAD	<i>Computer Aided Design</i> (Desenho Assistido por Computador)
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i> (Manufatura auxiliada por computador)
CNC	<i>Computer Numeric Control</i> (Controle Numérico Computadorizado)
FAU	Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
HIS	Habitação de Interesse Social
LAMO	Laboratório de Modelos e Fabricação Digital
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i> (Placa de fibra de média densidade)
MIT	Massachusetts Institute of Technology (Instituto de Tecnologia de Massachusetts)
OSB	Oriented Strand Board
PMCM	Programa Minha Casa, Minha Vida
SVM	Semana Viver Metr�pole da Universidade Presbiteriana Mackenzie
TIC	Tecnologias da Informa�o e Comunica�o
TPED	Teoria e Projeto na Era Digital
UPM	Universidade Presbiteriana Mackenzie
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

## Sumário

Resumo .....	4
1. Introdução.....	17
1.2. Objeto e Objetivos .....	18
1.3. Hipótese, Proposição e Metodologia.....	20
2. Habitação em Larga Escala e Massificada.....	22
2.1. Século XX.....	22
2.2. A Crise do Modelo e a Emergência dos Processos Auto Gestionários.....	34
2.3. Habitação Social no Início do século XXI.....	37
3. Participação do usuário.....	47
3.1. Projetos Participativos .....	50
3.2. Processos digitais e participação do usuário .....	63
4. Customização em massa .....	75
4.1. Customização em Massa Aplicada à Arquitetura .....	87
4.2. Exemplos .....	93
5. Experimento Construtivo .....	96
5.1. Fabricação digital subtrativa .....	98
5.2. Primeiro modelo .....	110
5.3. Segundo modelo .....	115
5.4. Terceiro modelo.....	120
6. O algoritmo .....	135
6.1. Usuários e Espaços.....	135
6.2. Arquitetura de código aberto .....	138
6.3. Aplicação da customização em massa .....	143
6.4. A Construção do algoritmo .....	149
7. Considerações finais .....	199
8. Referências.....	202

## 1. Introdução

O presente trabalho é o resultado de um processo de amadurecimento desenvolvido ao longo dos últimos quatro anos, em um caminho não linear de constantes revisões e alterações, até que, por fim, após a qualificação em 2016, encontrou-se um caminho definitivo que aqui se apresenta.

O título do projeto de pesquisa apresentado no processo de seleção em 2015, ***O projeto arquitetônico generativo baseado em algoritmos: Variáveis culturais e ganhos geométricos***, evidenciava um desejo que se perpetuou: o de criar uma solução computacional que permita a geração automatizada de diferentes soluções arquitetônicas a partir de critérios sociais baseados no perfil dos usuários. No entanto esses critérios que definiriam o algoritmo, os dados de entrada, foram a grande discussão da primeira metade desses quatro anos.

Na apresentação de Qualificação, em 2018, o título do trabalho foi: ***Customização em Massa na produção de HIS: Participação do usuário e processos digitais***. Foi quando se cogitou a criação de um algoritmo para a personalização em grande escala de projetos arquitetônicos para o Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV). No entanto o PMCMV é um tema em si mesmo, e o foco do trabalho não é habitação social, mas uma ferramenta computacional para a geração de variações arquitetônicas. Assim, o trabalho passaria ao largo de discussões importantes para um programa tão problemático e discutível quanto o PMCMV.

Após a qualificação, o trabalho carecia de uma base para a definição do algoritmo, ou um objeto de aplicação da ferramenta computacional.

Paralelamente, outra pesquisa vinha sendo desenvolvida desde 2015 pelo grupo de pesquisa Teoria e Projeto na Era Digital (TPED) da Faculdade de Arquitetura da Universidade Presbiteriana Mackenzie (FAU UPM), onde se estudava a aplicação da fabricação digital na construção de edificações. Essa pesquisa já havia gerado dois modelos em escala real (1:1) e uma série de modelos de estudo menores ou em escala reduzida. Em 2018, um dos pesquisadores do TPED, Eduardo Campolongo, deu continuidade à pesquisa em seu trabalho de mestrado,

propondo algumas inovações, sob orientação do professor Dr. Charles C. Vincent e contribuições do autor deste trabalho, ambos membros do TPED. Em 2019, o grupo consegue um aporte financeiro para a construção de um terceiro modelo em escala real a partir da pesquisa de Campolongo.

Ainda em 2018, opta-se, então, por tomar a pesquisa em fabricação digital desenvolvida pelo TPED como objeto de estudo para a criação do algoritmo generativo, que foi sendo criado e modificado a partir dos testes de construção e ensaios físicos/computacionais dos componentes construtivos da terceira revisão do modelo de habitação desenvolvido pelo grupo de pesquisa.

O título final: ***Algoritmos Participativos: Uma Ferramenta Computacional de Produtividade***, preserva a ideia inicial de proposição de uma solução algorítmica, mas procura evidenciar seu caráter de facilitador de geração de soluções independente da arquitetura que será produzida. Assim, o título reforça a ideia de que a ferramenta aqui proposta traz um maior dinamismo ao processo de tomadas de decisões, mas que a qualidade de seu resultado depende da qualidade dos dados de entrada, ou seja, da qualidade da arquitetura que o algoritmo irá variar.

## 1.2. Objeto e Objetivos

A revisão da bibliografia evidenciou a continuidade da tendência de massificação da habitação no início do século XXI, principalmente em países em desenvolvimento. Urbanizações com grandes quantidades de residências unifamiliares, ocupando cada qual um lote, não é, porém, uma característica apenas da habitação social promovida por incorporadores privados com financiamento subsidiado pelo Estado. Outro contexto vem reproduzindo esse modelo há muitas décadas, como os subúrbios norte-americanos ou os bairros operários ingleses.

Se, no início do século XX, a busca pela planta mínima ou mesmo a defesa da construção de grandes quantidades de casas idênticas em uma apropriação da lógica fordista eram abertamente defendidas por arquitetos, no contexto atual de



valorização das complexidades sociais, a perpetuação dessa prática parece uma atitude anacrônica, desconectada das dinâmicas culturais reais.

No entanto, com o crescimento da população e com o grande *déficit* habitacional característicos de países em desenvolvimento como o Brasil, a emergência por habitação justifica a construção em grande escala e a toque de caixa.

Para tentar garantir que essas habitações atendam, com mais qualidade, as necessidades reais de quem as habitará, deve-se considerar a possibilidade de personalizá-las? individualmente.

A adaptação individual de bens produzidos em grande escala não é uma novidade para a indústria, mas vem se popularizando à medida que mais recursos tecnológicos são disponibilizados. *“Quanto mais se desenvolve a tecnologia, o mercado e o design, maior a diversidade de formas oferecidas”* (CARDOSO, 2011, p. 108). Mas a suburbanização da habitação social latino-americana e outros exemplos mundo afora vão na contramão dessa tendência.

Assim, este trabalho tem como objeto a produção de habitação em larga escala com o protagonismo dos usuários.

Como objetivo, propõe-se a desenvolver uma prova de conceito, através de uma solução digital de geração de variações arquitetônicas baseadas em uma interface de diálogo com usuários/futuros moradores, buscando a aplicação da customização em massa na produção de arquitetura e urbanismo. Para tanto, foram estabelecidas as seguintes fases:

- Compreender e avaliar a produção em larga escala de habitação do início do século XX até o início do século XXI a partir de uma revisão bibliográfica;
- Compreender a emergência de práticas participativas na produção de habitação no século XX a partir de uma revisão bibliográfica;
- Compreender a relação entre práticas participativas e ferramentas computacionais a partir de uma revisão bibliográfica;

- Compreender o que é customização em massa e sua aplicação em bens industrializados e na arquitetura/urbanismo, a partir de revisão bibliográfica pertinente;
- A partir das soluções construtivas estudadas no âmbito da pesquisa desenvolvida pelo TPED [Teoria e Projeto na Era Digital], criar um algoritmo generativo que possibilite variações arquitetônicas por meio de uma interface de diálogo com usuários/futuros moradores.

Espera-se, com isso, contribuir com elementos consistentes e recursos técnicos para aplicação em intervenções em escala real, particularmente aquelas que façam uso de metodologias participativas de projeto.

### 1.3. Hipótese, Proposição e Metodologia

Por se tratar de um trabalho que propõe a criação de uma ferramenta que permita a geração imediata de um grande número de variações de soluções arquitetônicas, apresenta-se aqui um cenário que mostra uma possível demanda por uma ferramenta similar: a perpetuação da moradia massificada e homogênea, as possibilidades ofertadas pelas ferramentas computacionais e a tendência do mercado consumidor atual que busca produtos adaptáveis.

A partir da observação da realidade, propõe-se uma resposta a ela, não uma solução conclusiva e definitiva, mas uma resposta possível. Trata-se, assim, de uma abordagem indutiva pela formulação de uma proposição geral a partir de premissas consolidadas.

Apropriando-se do método científico descrito por Serra (2006), o trabalho foi organizado a partir dos seguintes temas: a descrição das premissas, a formulação da hipótese e a realização do experimento que verifica a hipótese.

O projeto inicia-se com observação e descrição dos fenômenos que motivaram o trabalho, e este se organiza a partir da descrição do cenário observado, apresentando revisões bibliográficas de três temas principais: Habitação massificada do século XX ao início do século XXI; A participação do usuário na

tomada de decisões em projetos coletivos de habitação; A customização em massa; e O experimento prático desenvolvido pelo grupo de pesquisa TPED, quando se discutem os impactos das tecnologias de fabricação digital.

A partir disso, faz-se a proposição de que ferramentas digitais associadas a processos participativos poderiam facilitar a geração de um grande número de resultados, com a rapidez propiciada pelos computadores contemporâneos, tornando o processo ainda mais flexível e viabilizando a personalização em um nível familiar ou mesmo individual, não apenas coletivo ou comunitário.

Por fim, a título de construção de uma base empírica para respaldar a proposição, realiza-se um ensaio com a aplicação do algoritmo computacional desenvolvido, a partir de um experimento prático que se desenvolve em outra pesquisa paralela.

Trata-se, portanto, de uma pesquisa de abordagem teórico-prática, com caráter exploratório e qualitativo, de natureza aplicada.

## 2. Habitação em Larga Escala e Massificada

Neste capítulo é apresentada uma revisão da produção de habitação em larga escala ao longo do século XX e início do século XXI. Alguns exemplos foram selecionados para ilustrar as tendências de cada período, evidenciando suas características e mudanças. Das experiências capitaneadas por Ernst May em Frankfurt, a produção super massificada do pós-segunda-guerra, as revisões participativas da segunda metade do século XX e as promoções privadas de habitação social facilitadas pelo estado no século XXI. Assim espera-se oferecer um panorama que contribua com a explicação do tema desta tese.

### 2.1. Século XX

Com mais de quatro milhões de unidades entregues<sup>1</sup>, o Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV) completou dez anos de existência em 2019, com um recorde quantitativo absoluto. Ainda assim, o *déficit* habitacional cresceu no período<sup>2</sup>, mostrando que medidas meramente quantitativas não são suficientes para o enfrentamento da demanda por habitação.

Assim como o PMCMV, a produção de habitação em grandes quantidades, com a repetição de unidades idênticas, criadas ignorando-se demandas reais das comunidades e suas famílias, é uma tendência mundial, com inúmeros exemplos mundo afora, não apenas em programas governamentais de produção de habitação social como também em empreendimentos privados para diferentes classes sociais (BUCKLEY *et. al.*, 2016).

Essa tendência de produção de grandes conjuntos arquitetônicos que atendam a demanda por habitação de maneira rápida é a perpetuação de ações que remontam ao início do século XX, quando as crises urbanas europeias, oriundas da

---

<sup>1</sup> Dados do ministério da economia disponíveis no link: <http://www.economia.gov.br/central-de-conteudos/publicacoes/relatorios-e-boletins/2019/boletim-mensal-sobre-os-subsidios-da-uniao-2013-programa-minha-casa-minha-vida-edicao-10.pdf> (Acessado em 07/01/2020)

<sup>2</sup> O déficit habitacional Brasileiro medido pela fundação João Pinheiro, cuja última medição data de 2015, mostrando um aumento da demanda por habitação desde 2009. No entanto, outras fontes apontam dados mais recentes, confirmando esse aumento. <https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/03/25/minha-casa-minha-vida-completa-10-anos-com-queda-nas-contratacoes.ghtml> (Acessado em 07/01/2020)

Revolução Industrial e de conflitos armados, estimularam arquitetos a buscarem soluções em larga escala. O movimento moderno, com seu discurso racionalista e de apropriação de novas tecnologias, respondeu a essa demanda com soluções que vêm sendo reproduzidas até os dias atuais (BRUNA, 2010).

Entre as muitas críticas que o PMCMV recebe, a padronização das plantas das unidades, sejam casas sejam apartamentos, costuma ser citada com frequência. Estudos pós-ocupação comprovam a inadequação das unidades habitacionais às composições familiares e suas dinâmicas cotidianas, mostrando que unidades idênticas, copiadas à exaustão, atendem demandas econômicas e não necessidades reais de quem as ocupa (VILLA; SARAMAGO; GARCIA, 2015).

A preocupação com a funcionalidade dos espaços conforme seu uso tem sido debatido desde o século XIX (RYBCZYNSKI, 1996), mas encontra público entusiasta entre os arquitetos modernos. Le Corbusier chama a planta de “geradora”, ou seja, a arquitetura deve partir de sua funcionalidade, resolvida em planta (LE CORBUSIER, 2009). É na planta que os espaços são dimensionados em função do uso para o qual ele é concebido. Assim, a arquitetura é justificada pelo seu uso cotidiano, e não pelo seu caráter simbólico, compositivo, formal ou qualquer outro atributo que não considere o uso dos espaços.

*Nos anos de 1920, os grandes conjuntos habitacionais de Neues Frankfurt idealizados por Ernst May levaram a ideia da funcionalidade ao extremo, com a construção de grandes complexos arquitetônicos, onde buscou-se a mínima dimensão possível para um uso extremamente otimizado e racional. (BRUNA, 2010).*

*O novo conceito de vida de que falam Benevolo e Giedion toma forma, contemporaneamente, numa cidade perto de Estugarda – Frankfurt – pela mão de Ernst May, encarregado do Departamento de Habitação e Planeamento Urbano, onde formula um plano que visa eliminar a crise habitacional da cidade em dez anos, de 1925 a 1935. Este plano definia a criação de três siedlungs – Niddatal e Praunheim (764 habitações), Hedderheim (1500 habitações) e Ginnheim (84 habitações); Riederwaldkolonie e Rottenbush Bornheimer Hang Siedlung (1496 habitações). (MOREIRA, 2013, p. 34).*

Essa extrema funcionalidade dos Siedlungs<sup>3</sup> de Frankfurt, sintetizada pela cozinha de Grete Schutte-Lihotsky, fazia com que os grandes edifícios tivessem como ponto de partida os usos do espaço, ou seja, as plantas das unidades habitacionais, repetidas sempre que possível (BRUNA, 2010).

Embora o discurso surja de uma leitura do uso dos espaços, há um forte caráter idealizador nessa arquitetura super-racional, muito evidente nos *slogans* da época: “novo homem”, “nova mulher” e no título do livro de Bruno Taut: *Die Neue Wohnung (O novo apartamento)* (MOREIRA, 2013).

Figura 1 – *Siedlung Frankfurt-Praunheim*. Frankfurt, Alemanha, 1929.



Fonte: <https://www.welt.de/kultur/architektur/plus196899819/Ernst-May-mit-diesem-Architekten-begann-das-Elend-des-Staedtebaus.html#cs-Illustrationsvorschlaege-zum-Beitrag-Kla-20.jpg> (Acessado em 07/01/2020)

Também é evidente uma compreensão do arquiteto e do aparato técnico das administrações públicas como detentores de um conhecimento redentor, que definiria a situação ideal para todos. Um modelo tecnocrático baseado no Estado do Bem-Estar-Social, que atuou de maneira massificadora a fim de resolver um grande *déficit* habitacional com a rapidez e eficiência de uma linha de produção industrial.

A chamada habitação mínima foi grande tema de debate da época, evidente nas diversas apresentações do congresso *CIAM* de 1929, em Frankfurt. Siegfried Giedion, Walter Gropius, Ernst May, Le Corbusier, entre outros, proferiram

---

<sup>3</sup> Bairros operários. (Tradução livre)

palestras sobre o assunto, evidenciando a busca desses profissionais pela síntese generalizadora. Uma habitação que sirva a todos (BEVILACQUA, 2011).

A busca além pela planta ideal leva o arquiteto Alexander Klein a publicar, em 1928, um artigo intitulado *Grundrissbildung und Raumgestaltung von Kleinwohnungen und neue Auswertungsmethoden*<sup>4</sup>, em que apresenta um novo método de avaliação de plantas de mínimas, estabelecendo uma metodologia racional e objetiva, na qual defende que “*uma oportuna redução da habitação, como parece exigir a nossa situação económica atual, não deve acarretar necessariamente como consequência um piorar das condições de habitabilidade*” (MOREIRA, 2013, p. 40). Além da rígida regulamentação urbanística de Berlin e das preocupações de Gropius com as funções vitais, Klein também considera questões psicológicas, como desconfortos gerados pelo dimensionamento inadequado dos espaços. Ele defende que o número de camas deve definir o dimensionamento de toda a unidade, influenciando o tamanho da cozinha, dos banheiros etc. (BEVILACQUA, 2011).

Trabalhando para a *Reichskuratorium fur Wirtschaftlichkeit* (RKW), Agência do Estado Alemão para a Eficiência (BRUNA, 2010), Klein desenvolveu uma metodologia organizada em diferentes níveis e fases de análise, atendendo gradativamente a diferentes temas de pesquisa:

*Once the general problems regarding the geographic and cultural context (localization of lodgings, climatic conditions, local customs, familiar and social conditions, etc.) had been brought into focus, and the statistical data on the requirement for actual lodgings and the income of the population collected, the program then continued with in-depth research on the influences of the lodging on the inhabitants (influences related to hygiene, psychology, influences on the nervous and muscular systems, the increase in the number of children, education, the aesthetic sense, the social ethic). This level continued with the analysis of different possibilities for the design of the technological system, followed by the research on problems of construction (depth of the building, amount of flats for each staircase, height of the first floor, organization of the basement, shape of the roof, central or individual heating system). The result of this phase was*

---

<sup>4</sup> Planta e design de interiores de apartamentos pequenos e novos métodos de avaliação. (Tradução livre)

*the formulation of the "General Program"*<sup>5</sup>. (BEVILACQUA, 2011, p. 303).

O Programa Geral proposto por Klein pode ser sintetizado em quatro pontos: as unidades residenciais devem ser econômicas, portanto, os custos devem ser minimizados; questões de higiene devem ser atendidas, como utensílios sanitários, além de iluminação e ventilação adequados; as unidades residenciais devem contar com os equipamentos adequados para as atividades cotidianas, como todos os utensílios de cozinha, banheiro e demais mobiliários; deve haver soluções construtivas que garantam o conforto físico e emocional (BEVILACQUA, 2011).

A partir dessas premissas, o arquiteto é o único responsável pela definição das tipologias arquitetônicas, que são avaliadas por um sistema de pontuação, e este avalia o atendimento dos quatro pontos do Programa Geral. Com a finalidade de garantir a objetividade do sistema, Klein introduz coeficientes corretivos: a relação entre número de camas e a área total construída (*Betteffekt*), a relação entre área útil e área construída (*Nutzeffekt*) e a relação entre a área da sala de estar, dos quartos e a área total construída (*Wohneffekt*) (BEVILACQUA, 2011).

---

<sup>5</sup> Uma vez que os problemas gerais relacionados ao contexto geográfico e cultural (localização de alojamentos, condições climáticas, costumes locais, condições familiares e sociais etc.) foram enfatizados, e os dados estatísticos sobre a exigência de alojamentos reais e a renda da população coletada, o programa continuou com pesquisas aprofundadas sobre as influências do alojamento nos habitantes (influências relacionadas à higiene, psicologia, influências nos sistemas nervoso e muscular, aumento do número de crianças, educação, senso estético, a ética social). Esse nível continuou com a análise de diferentes possibilidades para o projeto do sistema tecnológico, seguida pela pesquisa sobre problemas de construção (profundidade do edifício, quantidade de apartamentos para cada escada, altura do primeiro andar, organização do porão, forma) do telhado, sistema de aquecimento central ou individual). O resultado dessa fase foi a formulação do "Programa Geral". (Tradução livre)



Figura 2 – Método de incrementos sucessivos de A. Klein.

WIDTH										DEPTH
11.70	11.20	10.70	10.20	9.70	9.20	8.70	8.20	7.70		
									8.50	
									8.89	
									9.28	
									9.67	
									10.06	
									10.45	
									10.84	
									11.23	
									11.62	

Fonte: BEVILACQUA, 2011.

As plantas selecionadas são agrupadas por dimensões e avaliadas a fim de se escolher as que atendam melhor os parâmetros definidos nas etapas anteriores. Essa fase de análise gráfica garantia definitivamente a objetividade do processo, evitando que fosse suscetível a interpretações pessoais (BEVILACQUA, 2011).

A planta tipo elaborada por Klein “foi utilizada nos projetos para os bairros operários (*siedlungen*) de *Bad Durrenberg em Leipzig (1927)*, e de *Fischtalgrund em Berlim-Zehlendorf (1928)*. Gropius, em sua busca pelo *Existenzminimum*<sup>6</sup>, vai recorrer à metodologia de Klein, cujo rigor científico foi reconhecido e admirado pelos seus pares racionalistas de então.

Os grandes conjuntos habitacionais alemães do Entre Guerras também se apresentaram como oportunidade para implantação de sistemas industrializados

<sup>6</sup> Subsistência. (Tradução livre)

de construção, a fim de reduzir custos e prazos, além de gerar trabalho para a abundante mão de obra não qualificada que seria absorvida na montagem *in loco* de peças industrializadas, o que não demandaria pedreiros especializados (BRUNA, 2010).

A Revolução Industrial, que causou grande parte dos problemas enfrentados por esses arquitetos do início do século XX, também parecia trazer as soluções. Ou seja, a arquitetura deveria abraçar essas novas tecnologias e buscar nelas uma resposta para esse mundo novo, superando definitivamente a arquitetura e a sociedade do passado:

*É totalmente errada a afirmativa de que a industrialização habitacional redundará em degenerescência das formas artísticas. Pelo contrário, a uniformização dos elementos construtivos terá como consequência saudável, o caráter harmonioso das novas habitações e bairros. Não se deve recear a monotonia existente nas casas suburbanas inglesas desde que seja cumprida uma exigência básica: só as partes da construção serão tipificadas, os corpos erigidos por meio delas não de variar e a beleza será garantida por materiais bem trabalhados nesta grande caixa de montagem, um espaço bem plasmado na obra arquitetônica dependerá então do talento criador do arquiteto construtor. (GROPIUS, 1972, p. 196).*

Assim, o paralelismo entre a arquitetura e a indústria parece ter influenciado esses arquitetos a se apropriarem da ideia de linha de produção, tanto na concepção quanto na execução dos edifícios, almejando a aplicação da economia em escala na arquitetura.

Le Corbusier notabiliza a “*estética que exala das criações da indústria moderna*”, defendendo que o “*estilo*” de sua época está em suas criações (LE CORBUSIER, 2009, p. 65). Nessa clara percepção de que as mudanças tecnológicas e sociais não estavam sendo percebidas e atendidas pela arquitetura, ele defende que a racionalidade funcional da engenharia e da indústria, a “*estética dos engenheiros*”, seja absorvida pelos arquitetos, citando uma série de silos de trigo como edifícios que, de fato, representam seu tempo (LE CORBUSIER, 2009).

Corbusier defende, então, as casas em série: “*casa como o Ford que comprei (ou meu Citroen, pois que sou snob)*” (LE CORBUSIER, 2009, p. 167). E, assim, a

apropriação de novas tecnologias e materiais na construção: *“Materiais artificiais homogêneos e provados em ensaios de laboratórios”* em detrimento do material natural, unidos para formar casas produzidas em fábricas como *“canhões, aviões, caminhões, vagões”* (LE CORBUSIER, 2009, p. 168). Corbusier queria eliminar o acaso, defendendo processos controlados, uma sociedade supervisionada, na qual não há espaço para o individual, mas a busca por um bem comum a todos, massificado e generalista. (LE CORBUSIER, 2009).

*Os loteamentos urbanos e suburbanos serão vastos e ortogonais e não mais desesperadamente disformes; permitirão o emprego do elemento de série e a industrialização da construção. Cessaremos enfim de construir “sob medida”. A fatal evolução social terá transformado as relações entre locatários e proprietários, terá modificado as concepções de habitação e as cidades serão ordenadas em lugar de serem caóticas.* (LE CORBUSIER, 2009, p. 166).

Assim como seus pares alemães, defende *“estudos aprofundados”* na busca por um *“padrão, do tipo”*, porque *“quando o tipo é criado estamos à porta do belo”*. Reconhece que o padrão promoverá a relação entre os diferentes componentes da construção, igualmente industrializados, como janelas e portas. Ele termina afirmando que, se o arquiteto admitisse os novos tempos, suas características e tecnologias, evitaria a revolução (LE CORBUSIER, 2009).

No entanto, ao contrário de Corbusier, Gropius defende que *“só as partes das construções são tipificadas, os corpos erigidos por meio delas hão de variar”* (GROPIUS, 1972, p. 196). Ou seja, Gropius já defendia uma industrialização da construção que permitisse a personalização dos edifícios a partir de componentes idênticos (GROPIUS, 1972).

Figura 3 – Plano *Voisin*, 1925.



Fonte: [www.fondationlecorbusier.fr/corbucache/900x720\\_2049\\_1707.jpg?r=0](http://www.fondationlecorbusier.fr/corbucache/900x720_2049_1707.jpg?r=0)

Se, no período Entre Guerras, May constrói 15.000 unidades de habitação (FRAMPTON, 2000), após a Segunda Guerra Mundial, cifras ainda mais surpreendentes provam que o modelo produtivista e massificador ainda era encarado como a melhor resposta à demanda por habitação, agravada com os bombardeios e os fluxos migratórios promovidos pelo esse trágico conflito.

Fica evidente a demanda por uma sistematização dos estudos para a produção de habitações em larga escala, considerando a industrialização e as experiências pulverizadas pela Europa (BRUNA, 2010).

Após a Segunda Grande Guerra, surgem as principais agências internacionais de fomento à produção de habitação, como o Banco Mundial, que participou de mais de 200 projetos em mais de 90 países. Nos países desenvolvidos, o modelo do Estado provedor entendia a produção de habitação como problema público, reconhecendo sofisticações até então ignoradas por programas anteriores, “*como a relação estado-mercado, o equilíbrio entre social e econômico e a inter-relação*”

*que políticas habitacionais e outras políticas”, aprofundando o debate (NOIA, 2017, p. 61).*

Entre os anos 1950 e 1960, esse modelo do bem-estar social europeu almejava a produção de habitação em larguíssima escala, substituindo assentamentos precários. *“No entanto tal ação era frequentemente realizada na forma de grandes complexos residenciais inaptos a reconhecer na realidade do contexto, suas reais necessidades” (NOIA, 2017, p. 62).*

Se, no período Entre Guerras, a experiência alemã em Frankfurt foi emblemática, após a Segunda Grande Guerra, a França assume um protagonismo na produção massificada de habitação. Nesse contexto, Le Corbusier encontra um terreno profícuo para suas aspirações a partir da segunda metade dos anos 1940. Desde o fim da guerra, um número crescente de franceses saiu do campo para viver nas cidades, ocupando edifícios inadequados e, eventualmente, superpopulosos. Em 1954, cerca de 14 milhões de pessoas viviam em acomodações superlotadas; meio milhão de pessoas viviam em albergues ou quartos em casas ou apartamentos compartilhados; centenas de milhares, em assentamentos improvisados e cerca de 10 mil pessoas ocupavam ilegalmente edifícios vazios. Ou seja, a maioria da população francesa não tinha uma moradia adequada (POWER, 1993).

Entre 1948 e 1955, o número de unidades construídas subiu de 40 mil para 210 mil, representando uma melhora da economia em geral e a reestruturação do país. No entanto ainda estava muito aquém das necessidades francesas (POWER, 1993).

Em 1953, o então ministro da reconstrução da França, Eugène Claudius Petit, argumentou que, ao invés de reconstruir o país, o que seria, segundo ele, olhar para o passado e não para o futuro, deveriam produzir novas casas para os franceses, exatamente 14 milhões de novas unidades habitacionais em 20 anos. Um número que se aproximava da demanda na época. Embora essa meta não tenha sido alcançada, em 1975, 2,5 milhões de unidades já tinham sido construídas (POWER, 1993).

Assim, a França entrou na era da habitação em massa, com uma enorme demanda quantitativa e um governo disposto a atendê-la de forma rápida e eficiente. Esse governo contou com novas tecnologias e uma indústria crescente, além de famílias menores. O discurso progressista – olhar para o futuro, e não para o passado – refletia a vontade do Estado de reorganizar a acomodação dos franceses, agora obrigados a morar em enormes conjuntos residenciais (*Grands Ensembles*), verticalizados e adensados, de *Habitation à Loyer Modéré*<sup>7</sup> (HLM), construídos nas *Banlieues*, as periferias das cidades (POWER, 1993).

Embora Corbusier não tenha construído suas fantasias urbanas em território francês e seu projeto de habitação social mais famoso, a *Unité d'habitation*, em Marselha, represente uma ação modesta e incompleta, sua influência foi determinante nas decisões do poder público e nas propostas de outros tantos arquitetos. A apropriação da indústria e suas potencialidades na construção em larga escala, bem como o raciocínio da produção em massa; a ideia de um homem ideal que se adaptaria, sem resistência, a essa nova forma de morar; e a ideia de uma máquina de habitar, uma unidade habitacional genérica supereficiente que atenderia, de maneira inequívoca, as demandas do corpo e das ações cotidianas moldaram a produção de habitação social no pós-guerra europeu e diversas outras experiências mundo afora (POWER, 1993).

A produção em massa de habitação na França contou com alguns fatores facilitadores: a oferta de grandes campos desocupados nas periferias das cidades, oferecendo poucos impedimentos físicos ou legais; as grandes dimensões dos empreendimentos, otimizando o uso do maquinário e de mão de obra; a falta de uma legislação rigorosa que impusesse restrições; e o fato de os franceses urbanos já estarem acostumados a viver em apartamentos. Assim, as condições francesas foram muito favoráveis à produção de habitação em massa, com um número crescente de unidades construídas, chegando a cifras muito expressivas, com mais

---

<sup>7</sup> Habitação de aluguel moderado (tradução livre)



de 9 milhões de unidades habitacionais construídas entre os anos 1960 e 1980 (POWER, 1993).

Figura 4 – *Le Grand Ensemble Sarcelles*. França, 1956.



Fonte: <http://www.leparisien.fr/val-d-oise-95/les-grands-ensembles-au-cinema-du-symbole-de-la-modernite-a-celui-de-la-misere-18-11-2019-8195571.php> (acessado em 11/02/2020)

Experiências similares se espalharam por toda a Europa e América, como os *Khrushchyovkas* soviéticos, os *Plattebaus* da Alemanha Oriental, os *Paneláks* Tcheco-eslovacos, o *Million Programme* sueco, as “*Tower Blocks*” britânicas etc., sempre almejando grandes quantidades de unidades habitacionais e frequentemente aplicando soluções construtivas industrializadas, com grandes repetições de plantas idênticas, ignorando demandas específicas de comunidades e famílias (URBAN, 2012).

Figura 5 – Exemplo do *Million Programme*, Rinkeby-Kista, Estocolmo, Suécia.



Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/Rinkeby-Kista>

## 2.2. A Crise do Modelo e a Emergência dos Processos Auto Gestionários

O cenário no qual um Estado provedor se responsabilizava pelo suprimento de habitação começa a se modificar a partir dos anos 1960, com o enfraquecimento dos investimentos no setor e uma maior influência keynesiana na política. Na década seguinte, agências internacionais, como o Banco Mundial (BM), o Fundo Monetário Internacional (FMI) e o Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD) passam investir mais em “*projetos urbanos estruturados na busca pela atenuação da pobreza, com o discurso da conjugação do crescimento econômico com a equidade*” (NOIA, 2017, p. 63).

Ainda nos anos 1970, a demolição do Pruitt Igoe, um enorme complexo residencial nos Estados Unidos, foi interpretada como o fim do modernismo, e seu modelo de promoção de habitação, classificado como massificado, produtivista e indiferente a demandas reais. Há outros tantos exemplos notórios de grandes blocos residenciais que tiveram o mesmo destino, como a Cité de la Muette, na França, ou o Killingworth Towers, na Inglaterra, além de tantos outros. Em 1968, o colapso, ainda que acidental, de parte da estrutura da torre Ronan Point, em Londres, ainda que provocado por uma explosão acidental, foi emblemático e contribuiu com o declínio desse modelo massificado de produção de habitação (FONSECA DE CAMPOS, 2016).

Figura 6 – Demolição do Pruitt Igoe. St. Louis, Missouri, EUA, 1972.



Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1b/Pruitt-Igoe-collapses.jpg> (Acessado em 07/01/2020)



Paralelamente, uma crescente preocupação com a preservação de edifícios e centros históricos ganha força, como reação ao modernismo massificador, que passava por cima da história e do patrimônio urbanos. Embora leis de proteção tenham surgido anteriormente na França, a lei promulgada em 1962, conhecida como Lei Malraux, por ser defendida pelo então primeiro-ministro André Malraux, criava os chamados *Secteur sauvegardé*, ou setores urbanos protegidos, incentivando sua salvaguarda e recuperação a partir de uma série de incentivos e proibição de demolições. Tratava-se de uma medida de proteção contra o afã arrasador dos arquitetos e urbanistas *corbusianos*. A primeira área protegida em Paris foi justamente o bairro do Marais, onde Corbusier imaginava seu *Plan Voisin*.

Outra mudança bastante expressiva foi o surgimento de um novo paradigma da habitação, em que comunidades específicas participavam, de maneira efetiva, da produção de habitação através da autogestão ou ajuda mútua. Apoiava-se na ideia de *“que a produção informal não deveria ser encarada como uma afronta social, mas como uma oportunidade para a promoção do controle e autonomia do habitante”* (NOIA, 2017, p. 64).

A importância e as vantagens dos processos participativos começam a ganhar defensores entusiastas, uma literatura própria, a partir do final dos anos 1960, e um contorno mais bem definido de seus objetivos, ainda que com forte caráter ideológico. Projetos participativos são *“a redistribuição do poder que permite aos cidadãos menos favorecidos [...] serem deliberadamente incluídos no futuro”* (ARNSTEIN *apud* CAIXETA, 2015, p. 99).

Nos anos 1970, o paradigma da habitação por ajuda mútua ganha força, reconhecendo que ninguém estaria mais bem preparado para optar por melhores soluções arquitetônicas do que os próprios usuários, que, de fato, conhecem suas necessidades e prioridades, além de estarem mais aptos para gerir os recursos disponíveis (NOIA, 2017).

*Quando os moradores controlam as grandes decisões e são livres para fazer suas contribuições próprias no projeto, construção ou gestão de suas moradias, tanto o processo quanto o ambiente produzido estimulam o bem-estar social. Quando as pessoas não têm controle nem responsabilidade nas decisões-chave da produção da habitação, tais ambientes podem se tornar uma barreira para a realização pessoal e um fardo para a economia. (TURNER; FLITCHER apud NOIA, 2017, p. 29).*

As ideias divulgadas pelos defensores desses processos participativos começam a ser adotadas por agências internacionais, estimulando investimentos habitacionais desvinculados do setor público (NOIA, 2017).

*Tais teorias de viabilidade econômica e replicabilidade podem ser interpretadas como reflexo de uma política econômica fundamentada no neoliberalismo. Nesse contexto, o papel do estado seria limitado à facilitação da autoconstrução familiar, à contratação de serviços de construção e infraestrutura ou a iniciativas de planejamento vinculadas a assentamentos de baixa-renda, e outras funções de apoio ou complementares. (NOIA, 2017, p. 66).*

Diversas experiências mundiais de estímulo a processos de autogestão ou outros tipos de ações participativas se popularizam tanto nos países ricos quanto em economias emergentes. Experiências como de Giancarlo de Carlo, na *Vila Matteotti*, em Terni, Itália; de Christopher Alexander, em *Mexicali*, no México; do Serviço de Apoio Local (SAAL), em Portugal; do egípcio Hassan Fathy; do Inglês John F. C. Turner, no Peru; das Cooperativas Habitacionais Uruguaias; e do *Byker Wall*, de Ralph Erskine, na Inglaterra, são exemplos notórios dos inúmeros casos mundiais de aplicação de metodologias participativas na produção de habitação que se popularizaram a partir dos anos 1970.

No Brasil, são notáveis as realizações das assim denominadas *Assessorias Técnicas*, criadas no âmbito da gestão da prefeita Luíza Erundina na cidade de São Paulo (1989-1992), a exemplo da Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano (CDHU), no estado de São Paulo (FONSECA DE CAMPOS, 2016), e das experiências do grupo USINA CTAH e, mais recentemente, da ONG Peabiru.

Figura 7 – Byker Wall. Newcastle upon Tyne, Inglaterra.  
Construído entre 1969 e 1982.



Fonte: <https://www.chroniclive.co.uk/news/north-east-news/gallery/inside-story-how-newcastles-byker-15187009> (Acessado em 07/01/2020)

Entre o final do século XX e o início do XXI, o Estado assume, cada vez mais, o papel de facilitador, em que, embora se baseie em discursos de valorização e planejamento urbano, enfatizando a importância da sustentabilidade e governança para o desenvolvimento das cidades, *“muitos países prosseguem desenvolvendo políticas habitacionais tradicionais e gerando ambiente de construção com qualidades sociais e espaciais questionáveis”* (NOIA, 2017, p. 76).

### 2.3. Habitação Social no Início do século XXI

Nesse início do século XXI, exemplos internacionais têm evidenciado uma tendência de produção de grandes complexos residenciais massificados, com unidades habitacionais idênticas. Se, no início do século, o Estado de Bem-estar Social produzia essas habitações massificadas, cem anos depois, o Estado facilita sua produção por empresas privadas, por meio de financiamentos e outras vantagens aos construtores (BUCKLEY *et. al.*, 2016).

Se na segunda metade do século XX, viu-se uma valorização da habitação diante de demandas reais, promovendo-se respostas específicas para cada comunidade, nos últimos dez anos, testemunhamos o ressurgimento da habitação massificada e homogênea em programas governamentais de estímulo à produção privada (BUCKLEY *et. al.*, 2016).

Essa mudança parece buscar atender, nos países de economia emergente, a enorme demanda por habitação adequada, principalmente nas cidades em que as favelas e outras modalidades precárias de moradia geram problemas em grande escala. Além disso, a estimativa de que dois bilhões de pessoas se somarão aos atuais moradores das cidades nos próximos 35 anos também serve como justificativa para a retomada de projetos massificadores (BUCKLEY *et. al.*, 2016).

Incentivos locais também surgem como motivadores para uma produção em grande escala de habitação:

*The Chinese attempt to move 250 million people into cities over the next years, the Brazilian desire to put a better face on their cities under Luis Inacio Lula da Silva's governments e more recently motivated by the organization of international events such as the World Cup and Olympics e or the South African effort to erase the dark heritage of apartheid planning, all constitute strong motivations for addressing housing issues<sup>8</sup>. (BUCKLEY *et. al.*, 2016, p. 2).*

Os países de economia emergente, como Brasil, Rússia, Índia, China, África do Sul entre outros, têm concentrado essas novas iniciativas massificadoras de produção de habitação, como nos exemplos listados a seguir:

Quadro 1 – Programas recentes de promoção de habitação social em larga escala.

País	Programa	Observações
Argentina	Programa de Crédito Argentino <i>del Bicentenario para la Vivienda Única Familiar</i> (PRO.CRE.AR)	Assistência financeira para habitação de baixa e média rendas a partir de juros subsidiados.
Brasil	Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV)	Programa de subsídio de financiamento para habitação.
Colômbia	<i>Vivienda de Interés Social</i> (VIS)	Tem objetivo de construir 100.000 casas para famílias de baixa renda.
Etiópia	<i>Integrated Housing Development Program</i> (IHDP)	Tem como objetivo fornecer 400.000 unidades habitacionais. Financiado por recursos públicos.

<sup>8</sup> Os chineses tentam deslocar 250 milhões de pessoas para as cidades nos próximos anos, o desejo brasileiro de dar uma cara melhor a suas cidades sob os governos de Luís Inácio Lula da Silva e mais recentemente motivado pela organização de eventos internacionais como Copa do Mundo e Olimpíadas e ou o esforço da África do Sul para apagar a herança sombria do planejamento do apartheid, todos constituem fortes motivações para tratar de questões habitacionais. (Tradução livre)

Índia	<i>Rajiv Awas Yojana (RAY)</i>	Programa que almeja a construção de 20 milhões de unidades habitacionais para comunidades carentes urbanas e rurais.
México	<i>Esta es tu Casa</i>	Objetiva facilitar o acesso à habitação para famílias que ganham até 560 dólares mensais.
África do Sul	<i>Comprehensive Plan for the Development of Sustainable Human Settlements a.k.a Breaking New Ground (BNG)</i>	Tem foco na entrega de novas unidades totalmente subsidiadas.
Tailândia	<i>Baan Mankong (CODI)</i>	Objetiva melhoria de favelas por meio de subsídios de infraestrutura e moradia.

Fonte: Adaptado de BUCKLEY *et. al.*, 2016.

Esses programas se caracterizam pelos enormes recursos financeiros delegados aos financiamentos subsidiados; pela preferência por construções novas ao invés da atualização do estoque habitacional existente; e pelo caráter massificador e homogeneizador de repetições de unidades idênticas, sem, no entanto, as preocupações arquitetônicas dos exemplos do início do século XX. Trata-se, na verdade, de programas de financiamento, não de propostas arquitetônicas e urbanísticas, cujos interesses ficam em segundo plano (BUCKLEY *et. al.*, 2016).

Duarte (2001) resume o cenário de produção de habitação em massa ao longo do século XX e início de século XXI, reconhecendo fases distintas no enfrentamento do problema.

Na primeira metade do século XX, arquitetos buscaram solução na industrialização da construção, na tentativa de reproduzir um processo baseado na linha de montagem, utilizando a lógica da repetição de produtos idênticos a partir de componentes repetidos (DUARTE, 2001).

Após o término da guerra, os Estados Unidos, cuja indústria se beneficiou com a destruição das plantas industriais europeias durante os anos de conflito, desenvolveram um paradigma de produção de habitação em massa na década de 1960, essencialmente baseado em componentes industrializados, mas intercambiáveis. Na abordagem anterior, não havia permutabilidade de peças. A

nova abordagem era um processo aberto, que exigia muita coordenação para integrar peças-padrão de diferentes empresas. Custos de produção foram reduzidos porque cada empresa, focada na produção de uma única peça, poderia otimizar o processo. No entanto dificuldades na comunicação e garantia de perfeita intercambialidade de peças constituíram barreiras à integração e redução de custos (DUARTE, 2001).

Duarte (2001) afirma que nenhuma das abordagens industriais mencionadas acima foi capaz de resolver o problema da habitação, especialmente naquelas partes do mundo com graus incipientes de industrialização. Assim, na segunda metade do século XX, houve uma mudança progressiva em direção a uma nova abordagem, preocupada com os aspectos humanos e sociais da habitação e seu impacto no *design*. Eventualmente, essa abordagem também se tornou popular nos países industrializados. Trata-se de métodos mais contextualizadores, que buscam atender às necessidades reais dos moradores, o que inclui processos participativos (DUARTE, 2001).

Enquanto isso, o aperfeiçoamento da informática e dos processos digitais cria novas relações com a indústria, principalmente viabilizando a criação de variações de um mesmo produto, ou seja, superando, ao menos em alguns setores da indústria, o modelo *fordista*. O setor imobiliário tem resistido a adotar práticas semelhantes, embora já venham sendo propostas há décadas (DUARTE, 2001).

## Dois casos latino-americanos no século XXI: México e Brasil

### México

Entre os anos 2000 e 2015, as grandes cidades mexicanas testemunharam um crescimento significativo de suas periferias. Esse fenômeno é resultado de uma guinada da política nacional de habitação a partir de meados dos anos 1990, sob as prescrições do Banco Mundial, valorizando ações focadas no desenvolvimento do livre mercado. Assim, órgãos públicos reduziram sua vocação inicial de provedores de moradia e concentraram seus esforços no gerenciamento de hipotecas de créditos sociais; no caso mexicano, através do Instituto *del Fondo*

*Nacional de la Vivienda para los Trabajadores* (Infonavit), estimulando a produção privada de habitações sociais (JACQUIN, 2012).

Se, até então, os órgãos públicos produziam e gerenciavam unidades residenciais verticalizadas, concebidas sob o modelo europeu dos *grands-ensembles*, a partir desse momento, começa a proliferar outro modelo de unidades habitacionais:

*El tipo de conjunto residencial producido masivamente responde a una normatividad rígida aunque preferente para los desarrolladores. Tiene como consecuencia el desarrollo sin variación de un mismo producto por todos los grupos inmobiliarios. El «conjunto urbano» es horizontal y se compone de un solo tipo de construcción: viviendas dúplex alineadas con muros compartidos, con uniformidad arquitectural, una densidad alta de viviendas, una proporción baja en equipamientos urbanos, y una agrupación de secciones de menos de 4 000 viviendas. Los conjuntos contienen en promedio 3 000 viviendas, y como máximo unas 20 000 viviendas en diferentes secciones<sup>9</sup>. (JACQUIN, 2012, p. 393).*

Além de responder à demanda por moradia, esses programas buscavam estimular a construção civil, reconhecendo-a como importante setor da economia e facilitando o acesso a hipotecas às famílias de baixa renda (JACQUIN, 2012).

Muitos dos grupos imobiliários beneficiados por esse modelo de produção de habitação já vinham acumulando terrenos desde o início do século, principalmente terras rurais em declínio, longe da metrópole, o que estimulou o modelo horizontal de casas repetidas em massa em periferias distantes. Mesmo estando frequentemente próximos às rodovias, esses empreendimentos já atingiram os limites geográficos praticáveis para seus habitantes, cuja maioria ainda depende de empregos nas áreas centrais, tornando a mobilidade um problema extremamente significativo nessas regiões (JACQUIN, 2012).

---

<sup>9</sup> O tipo de complexo residencial produzido em massa responde a uma regulamentação rígida, embora seja preferido pelos desenvolvedores. Isso resulta no desenvolvimento sem variação do mesmo produto por todos os grupos imobiliários. O "complexo urbano" é horizontal e consiste em um único tipo de construção: casas duplex alinhadas com paredes compartilhadas, com uniformidade arquitetônica, alta densidade de moradias, baixa proporção de equipamentos urbanos e um agrupamento de seções inferiores a 4 000 casas. Os conjuntos contêm uma média de 3.000 casas e no máximo 20.000 em seções diferentes. (Tradução livre)



A implantação de milhares de casas em períodos médios de seis meses promove uma explosão demográfica, transformando áreas rurais consolidadas em periferias urbanas superpovoadas, cuja população não está efetivamente integrada nem com os municípios onde estão implantadas nem com a metrópole distante onde trabalham (JACQUIN, 2012).

Figura 8 – Habitação social recente no México – fotografia: Livia Corona.



Fonte: <https://www.liviacorona.com/two-million-homes-for-mexico>

Ainda assim, em 2014, a *Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano* (Sedatu) identifica um *déficit* de quase três milhões de habitações, pois, apesar das milhões de unidades construídas, a preocupação meramente quantitativa das incorporadoras e a postura estatal de mero facilitador ignoraram que habitação não é apenas uma casa.

A má qualidade das construções, as dificuldades de locomoção até as áreas centrais e a falta de infraestruturas necessárias fizeram que muitas das milhões de unidades habitacionais construídas nas periferias mexicanas neste início de século fossem abandonadas, criando enormes complexos habitacionais subocupados e contribuindo com a degradação física e social dessas urbanizações.



*Muchos ciudadanos usaron su crédito del sistema Infonavit, se trasladaron a las periferias, donde no se contaba con transporte, agua potable, escuelas, electricidad ni espacios públicos adecuados y, después de un tiempo, terminaron abandonando sus casas. La inseguridad se convirtió en uno de los principales problemas para los habitantes de los fraccionamientos y las casas deshabitadas se convirtieron en blanco fácil para ser ocupadas de forma ilegal, para subarrendarlas o dismantelarlas<sup>10</sup>. (MAGIS, 2015).*

Figura 9 – Habitação social recente no México – fotografia: Jorge Taboada.



Fonte: <https://jorgetaboada.wixsite.com/jorgetaboada/alta-densidad>

## Brasil

Em 2009, o governo federal lançou o mais ambicioso programa de habitação social da história do Brasil. Concebido pelos ministérios da Casa Civil e da Fazenda, em acordo com a indústria da construção civil, o Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV) vem enfrentando dificuldades com aquilo que alguns autores chamam de uma leitura bastante simplificada do problema habitacional brasileiro, atacando o *déficit* segundo uma visão puramente produtivista, baseada, preponderantemente, em metas quantitativas (RIZEK; SANTO AMORE; CAMARGO, 2014).

---

<sup>10</sup> Muitos cidadãos usaram seu crédito do sistema *Infonavit*, mudaram-se para as periferias, onde não havia transporte, água potável, escolas, eletricidade ou espaços públicos adequados e, depois de um tempo, acabaram saindo de casa. A insegurança tornou-se um dos principais problemas para os habitantes das subdivisões e as casas desabitadas tornaram-se um alvo fácil de serem ocupadas ilegalmente, de sublocá-las ou dismantelá-las. (Tradução livre)

Em dez anos de existência, foram contratadas e entregues quatro milhões de unidades, confirmando esse caráter quantitativo, que parece perpetuar, de maneira mais acentuada, as características presentes em programas anteriores, como a experiência do Banco Nacional de Habitação (BNH) (NOIA, 2016), encarando o problema da habitação pela ótica financeira, relegando problemas arquitetônicos e urbanísticos a um segundo plano.

Entre as muitas críticas frequentes ao programa, pode-se citar a baixa porcentagem de financiamentos dedicados à faixa 1 (RIZEK; SANTO AMORE; CAMARGO, 2014) para famílias com renda mensal bruta de até R\$ 1.800,00, justamente o grupo mais necessitado. A busca por terrenos mais baratos também costuma afastar os empreendimentos dos centros urbanos, e as urbanizações impostas ignoram as dinâmicas cotidianas das famílias, fatores que dificultam a vida de seus moradores.

No entanto a atenção do presente estudo se volta para as unidades habitacionais e sua inadequação às famílias e seus hábitos cotidianos, outro aspecto frequentemente criticado no PMCMV. A perpetuação do modelo de unidade mínima, dimensionado para uma família hipotética, afasta-se da realidade, comprovando que o programa atende mais aos interesses de quem constrói do que aos de quem habita.

Figura 10 – Exemplo do PMCMV.



Fonte: <https://cbic.org.br/camara-aprova-projeto-que-prorroga-incentivos-do-minha-casa-minha-vida/>

*[A] grande diversidade de composições familiares, confirmando a inadequação de um único tipo de arranjo interno: o de “2 quartos”. Acrescenta-se a isto o fato dos sistemas construtivos utilizados no PMCMV invariavelmente serem fechados, ou seja, eles não dialogam com outros sistemas. Porém, mais do que isto, não comportam alterações, o que significa que os moradores têm pouca flexibilidade para [re]organizar seus espaços de vida de acordo com suas necessidades. (SANTO AMORE; SHIMBO; RUFINO, 2015, p. 188).*

A segunda fase do programa, iniciada em 2011, começa a atender as demandas de comunidades específicas, promovendo a realocação de população em situações precárias e a urbanização de favelas. Também surge uma nova modalidade, na qual o empreendimento é organizado e gerido diretamente por entidades populares de futuros moradores (PMCMV-ENTIDADES). Assim, incorporam-se as metodologias participativas na produção dos empreendimentos, que, no entanto, *“não vêm do arranjo do programa, mas de um longo histórico de luta pela moradia”* (NOIA, 2017).

No entanto a modalidade Entidades configura-se como exceção dentro PMCMV, com um número bastante limitado de exemplos, refletindo *“a maneira superficial como a participação do usuário/sociedade civil é explorada, questionando sua legitimidade e eficácia”* (NOIA, 2017, p.271). Além disso, é importante lembrar que a modalidade Entidades e toda a faixa 1 do PMCMV foram as que mais sofreram com os cortes orçamentários de 2011.

Avaliações pós-ocupação em exemplos de empreendimentos financiados pelo PMCMV evidenciam inadequação das unidades habitacionais não apenas nas diferentes composições familiares, mas no uso dos espaços. A concepção tripartida (em setores social, íntimo e de serviços) supõe um uso excessivamente racional dos espaços, o que não ocorre efetivamente. Diferentes atividades ocorrem em um cômodo imaginado para um uso muito específico. Por exemplo, além de dormir e vestir-se, um dormitório pode ser usado para trabalhar e receber visitas. Uma sala pode ser frequentemente utilizada para dormir e cuidar das roupas (passar e dobrar). Assim, perpetua-se a lógica de cem anos atrás, de uma

---

<sup>11</sup> <https://sao-paulo.estadao.com.br/noticias/geral,so-8-do-minha-casa-acolhe-faixa-mais-pobre,70002296499>

unidade ideal a todos, cujos espaços são concebidos na busca da eficiência funcional para usos bem definidos. Ou seja, perpetua-se a concepção da arquitetura para um homem ideal, evitando-se o confronto com a realidade (VILLA; SARAMAGO; GARCIA, 2015).

Figura 11 – Exemplo do PMCMV.



Fonte: <https://www.tvebrasil.com.br/beneficios/prefeitura-de-sao-luis-realizara-sorteio-de-mais-de-tres-mil-moradias-pelo-programa-minha-casa-minha-vida/>



### 3. Participação do usuário

Neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica de autores que defendem a participação do usuário nas definições arquitetônicas do edifício que irá habitar. São expostos argumentos de defesa dessa participação, bem como graus de envolvimento desses usuários. Três metodologias são revisadas para que se entenda possíveis formas de aplicação de processo participativos. Por fim, outra revisão bibliográfica discute envolvimento de ferramentas digitais em processos participativos.

A participação de usuários nas definições arquitetônicas e urbanísticas remonta ao século XIX, mas ganha importância a partir de meados do século XX, principalmente como reação ao planejamento tecnocrático e autoritário do pós-guerra europeu (WULZ, 1986).

O rápido crescimento das cidades a partir de meados do século XX, a proliferação de favelas e o desgaste do modelo dos *Grands Ensembles* estimulou uma revisão da maneira como a habitação social deveria ser encarada, na qual aspectos econômicos, sociais e ambientais se tornassem mais significativos. Paralelamente, mudanças no pensamento econômico e na compreensão do papel do Estado no problema transformam drasticamente a produção de habitação.

As relações sociais também passam por mudanças significativas. Em 1967, Guy Debord escreve *La Société du Spectacle*, obra por meio da qual critica a alienação social estimulada por meios de comunicação, como televisão, publicidade, rádio etc. As manifestações de 1968, em Praga e em Paris, mostram o descontentamento da sociedade com Estados controladores e massificadores. Henry Lefebvre defende que o cidadão urbano deve ter sua presença e participação valorizadas em uma forma de viver individualizada. Jane Jacobs defendia os valores de comunidade e vizinhança, desprezados pelo movimento moderno, criticando o excesso de planejamento (RAMOS, 2013).

*Muito mais do que um espaço urbano fechado, recortado por ruas e avenidas, construído com blocos de concreto e lajes de aço... a dominar todas as paisagens, a cidade é... um território de relações no qual cada cidadão/cidadã busca satisfazer suas necessidades e realizar seus quereres. [...] É uma realidade viva, pulsante. Ela é composta e compõe uma rede de fluxos de pessoas, mercadorias, matérias... energias em constante movimento. (JACOBS, 2000).*

Nos anos 1970, o paradigma da habitação por ajuda-mútua ganha força, reconhecendo que ninguém estaria mais bem preparado para optar por melhores soluções arquitetônicas do que os próprios usuários, os quais, de fato, conhecem suas necessidades e prioridades, além de estarem mais aptos para gerir os recursos disponíveis (NOIA, 2017).

*Quando os moradores controlam as grandes decisões e são livres para fazer suas contribuições próprias no projeto, construção ou gestão de suas moradias, tanto o processo quanto o ambiente produzido estimulam o bem-estar social. Quando as pessoas não têm controle nem responsabilidade nas decisões-chave da produção da habitação, tais ambientes podem se tornar uma barreira para a realização pessoal e um fardo para a economia. (TURNER; FLITCHER apud NOIA, 2017, p. 29).*

Nessa década, com a influência do pensamento keynesiano e as mudanças nos cenários políticos e econômicos globais, o papel do Estado como provedor de habitação se enfraquece, assumindo, cada vez mais, um papel de facilitador, estimulando a demanda, e não a provisão direta (NOIA, 2017).

Nesse período, os Estados assumiram a produção de infraestruturas, como rodovias, redes de telefonia, saneamento etc. e, com o apoio do Banco Mundial, propiciaram *“projetos urbanos estruturados na busca pela atenuação da pobreza, com o discurso da conjugação do crescimento econômico com a equidade”*. O discurso predominante defendia a atenuação da pobreza a partir da conjugação do crescimento econômico com a equidade social. A grande preocupação com a redução da pobreza foi explicitada nas palavras do então presidente do Banco Mundial, Robert McNamara: *“Se as cidades não começarem a lidar de forma mais construtiva com a pobreza, a pobreza pode começar a lidar de forma mais destrutiva com cidades”* (WORLD-BANK apud NOIA, 2017, p. 63).

Pesquisas conduzidas em países latino-americanos e documentadas por Charles Abrams, John Turner, William Mangin, Ivan Illich e outros (NOIA, 2017) mostram que a participação da população na produção da própria habitação encontra um cenário favorável na economia de tendência liberais, com o enfraquecimento do Estado impositivo e a valorização de ações diversificadas.

As experiências de Patrick Geddes estimulam a valorização das produções informais, valorizando o conhecimento do morador na construção da própria moradia, levando Charles Abrams a sugerir uma provisão habitacional baseada na produção de lotes individuais, núcleos habitacionais extensíveis e pequenos empréstimos para materiais de construção. John Turner, em seguida, defende *“incremento à produção habitacional ao longo do tempo, inicialmente enfatizando a ajuda-mútua como forma de trabalho, transformando-se posteriormente em autogestão”* (NOIA, 2017, P.65).

Esse modelo da ajuda mútua ganha força, principalmente com o apoio do Banco Mundial, que defendia que se tratava de uma solução que libertava as camadas mais pobres da população das estruturas burocráticas do Estado. No entanto também sofreu críticas por quem via uma desresponsabilização do Estado, deixando essa população à mercê dos interesses dos donos do capital (NOIA, 2017).

No final dos anos 1980, o modelo de ajuda mútua se enfraquece, enquanto o Estado, como facilitador, se torna mais forte, valorizando a produção de habitação social como experiência econômica, com programas dedicados ao financiamento de construções, e não dedicados a pensar as habitações e as cidades.

### 3.1. Projetos Participativos

*The activity of community participation is based on the principle that the environment works better if citizens are active and involved in its creation and management instead of being treated as passive consumers<sup>12</sup>. (SANOFF, 2008, p. 59).*

Segundo Sanoff (2008), projetos participativos são processos que cruzam os limites tradicionais das profissões, carregando a premissa democrática da tomada de decisão coletiva, por meio da qual os indivíduos possam atuar nas resoluções de questões que os afetam. No entanto o grau de envolvimento dos usuários é variável, de acordo com objetivos e metodologias a serem aplicadas.

Assim, o termo participação engloba uma grande variedade de atividades que ocorrem em situações distintas (SINCLAIR, 2004), cobrindo diferentes formas de tomadas de decisão pelos envolvidos (WULZ, 1986), buscando melhorar o processo de projeto e seus resultados (GRANATH; LINDAHL; REHAL, 1996).

No entanto as especificidades de cada grupo de usuários devem ser consideradas, e, assim, deve-se adaptar o grau de envolvimento e as naturezas das atividades para que sejam coerentes não apenas com os objetivos a serem alcançados, mas também com o repertório e a cultura locais.

Carole Pateman (1970), ao analisar ambientes de trabalho, reconhece três níveis de participação: *Full Participation*, no qual cada membro individual de um órgão de decisão deve ter o mesmo poder de determinar o resultado das decisões; *Partial Participation*, quando não há poder igual na maneira como a decisão é tomada; *Pseudo-Participation*, quando são utilizadas técnicas para persuadir a aceitação de decisões já tomadas. Embora não tenha estudado o desenvolvimento de projetos arquitetônicos, a proposta de Pateman parece pertinente na compreensão de processos colaborativos.

---

<sup>12</sup> A atividade de participação comunitária é baseada no princípio de que o meio ambiente funciona melhor se os cidadãos estiverem ativos e envolvidos em sua criação e gerenciamento, em vez de serem tratados como consumidores passivos. (Tradução livre)



Till (2005), analisando o trabalho de Pateman, conclui que a participação plena (*Full Participation*) seria impossível, embora ideal, uma vez que depende de que haja canais transparentes de comunicação entre as partes e dos conhecimentos necessários para a plena compreensão do problema. Azuma (2016) conclui que, na arquitetura, “o conhecimento especializado do arquiteto e o conhecimento tácito do usuário participante permanecem em níveis diferentes, e os meios de comunicação estão comprometidos por códigos, convenções e autoridade” (AZUMA, 2016, p. 37).

Assim, Till (2005) reconhece a necessidade de outra forma de participação que seja realista o suficiente para reconhecer os desequilíbrios de poder e conhecimento, mas, ao mesmo tempo, trabalhar com esses desequilíbrios de maneira que transforme as expectativas e o futuro dos participantes. Ele chama esse modelo de *transformative participation*, ressaltando seu caráter ativo como oposição à natureza passiva da participação.

Arnstein (1969) afirma que o projeto participativo pode ser uma experiência vazia ou ter um impacto efetivo no resultado do processo. Reconhecendo diferentes níveis de envolvimento, a falta de homogeneidade entre os grupos de envolvidos e interesses conflitantes, Arnstein (1969) estabelece o que chama de oito degraus (*eight rungs*) da participação. Esses degraus variam do real poder de decisão dos cidadãos à manipulação dos menos favorecidos pelos mais favorecidos.

Quadro 2 – Os oito degraus de Arnstein.

		Degraus	Descrição
Graus de poder cidadão	8	Controle do Cidadão	Embora muitos grupos de cidadãos usem a retórica do Controle do Cidadão, ele não é efetivamente possível. Assim, o que se espera são conselhos e comitês que façam a medição de interesses.
	7	Poder delegado	Quando as negociações entre cidadãos e funcionários públicos resultam em cidadãos que alcançam tomadas de decisão sobre um plano ou programa específico.
	6	Parceria	Quando poder é de fato redistribuído através de negociações entre cidadãos e detentores de poder. Eles concordam em compartilhar o planejamento e a tomada de decisões através de estruturas como políticas conjuntas conselhos, comitês de planejamento e mecanismos para resolver impasses.

5 4 3	Graus de tokenismo* <sup>13</sup>	Colocação	Quando cidadãos começam a ter algum grau influência. Alguns membros da comunidade são escolhidos para participar, mas na verdade seu papel é o de legitimar as decisões dos detentores do poder.
		Consulta	Quando os cidadãos são consultados em situações como audiências públicas, mas essas consultas não são combinadas com outras ferramentas participativas, tornando-as rituais sem impacto no processo.
		Informação	Quando os cidadãos são informados de seus direitos de maneira unidirecional, frequentemente em etapas tardias do processo, sem oportunidades para que haja participação.
2 1	Não participação	Terapia	Especialista em saúde mental, de assistentes sociais a psiquiatras, admitem que a pobreza é um problema do indivíduo, e ao invés de tratar suas causas, oferecem uma pretensa cura a partir de terapias em grupo.
		Manipulação	Uma forma ilusória de participação onde comitês são pretensamente organizados para tomadas de decisões, mas acabam sendo manipulados para legitimar decisões já tomadas pelos detentores do poder.

Fonte: Arnstein, 1969.

Wulz (1986) defende que a participação na produção de arquitetura e urbanismo pode ser dividida em dois extremos: ativa ou passiva. Se, na primeira ponta, o especialista, arquiteto/urbanista toma todas as decisões autonomamente, no outro, ele é eliminado do processo. Assim, Wulz propõe uma gradação entre esses polos, necessária para a efetivação real de qualquer projeto, a partir do que observa no cenário europeu de então. Segundo ele, as formas de participação são:

<sup>13</sup> Tokenismo: quando menos favorecidos são ouvidos.

Quadro 3 – Gradação de Wulz.

Usuário passivo	Representação	A forma mais passiva de participação, onde o arquiteto interpreta subjetivamente os desejos do usuário. O atendimento das necessidades reais do usuário depende da capacidade do arquiteto de interpretá-los.
	Questionário	A partir da coleta de dados estatísticos da população, surgem estudos sistematizados com respostas generalista, uniformizadora e simplificadora a partir de demandas comuns de uma comunidade.
	Regionalismo	Reconhece a importância das características locais para a qualidade arquitetônica e o bem-estar da sua população. A partir de um inventário das preferências da população, o regionalismo se preocupa em atender a necessidades específicas da comunidade.
	Diálogo	Frequentemente baseada em conversas informais, o arquiteto confronta suas propostas com os usuários e para ouvir comentários, propostas e críticas. No entanto, cabe a ele a decisão final. O diálogo tem quatro objetivos principais: a democratização do planejamento; a introdução de sugestões dos usuários ao processo de projeto; a inclusão de características regionais no projeto; e o encontro entre arquitetos e usuários, impedindo o anonimato dos participantes.
	Alternativa	Quando os usuários sugerem alternativas ao projeto arquitetônico a partir de critérios previamente estabelecidos. Todos os usuários devem participar, surgindo o risco de se atender as demandas dos grupos majoritários, relegando os grupos minoritários a uma situação similar à participação por amostragem da população.
Usuário ativo	Codecisão	Uma situação de equilíbrio entre arquiteto e usuários, com a participação direta dos usuários desde o início do processo. Essa participação direta pressupõe que os usuários se conheçam entre si; que estejam interessados e motivados; que tenham tempo para se envolver no processo. Os custos eventuais de um prolongamento do processo são pagos pelos usuários. Se essas condições não forem respeitadas, corre-se o risco de os usuários se tornarem passivos no processo.
	Autodecisão	Surge de duas premissas: As pessoas são vistas como entidades criativas e a independência das pessoas de qualquer forma de intervenção autoritária é vista como a mais pura forma de democracia. Assim, reconhecem-se as vontades e demandas individuais, mas considerando que a cooperação entre indivíduos é decisiva na autodecisão. O arquiteto atua como consultor, principalmente em questões técnicas específicas de sua formação.

Fonte: Wulz, 1986.

Wilcox (1994) analisa criticamente a proposta de Arnstein e defende uma revisão, na qual cada degrau não é melhor que o anterior, mas uma resposta adequada para situações distintas, com interesses e objetivos diferentes. Assim, reduz a lista a cinco degraus:

Quadro 4 – Revisão de Wilcox.

Informação	Comunicar à comunidade o que foi decidido.
Consulta	Oferecer opções e ouvir as repostas, mas não permitir novas ideias.
Decisão conjunta	Estimular mais opções e ideias e oferecer opções para a tomada de decisões conjuntas.
Ação conjunta	Interesses distintos unidos pela melhor decisão em parcerias igualitárias.
Apoio a interesses comunitários	São oferecidos fundos, apoio a outros tipos de suportes, a grupos ou organizações sociais para desenvolverem seus projetos.

Fonte: Wilcox, 1994.

Choguill (1996) faz uma adaptação da tabela de Arnstein, modificando seus termos, adaptando-os a uma linguagem adequada a países em desenvolvimento. Tal como Arnstein, Choguill cita casos, mas agora internacionais, entre eles, casos brasileiros, como o do Jardim Celeste, em São Paulo (Empoderamento), a proposta para Curitiba, de Jaime Lerner (Conciliação) e o caso de planejamento urbano para Campo Grande, em Mato Grosso do Sul (Dissimulação).

Quadro 5 – Adaptação de Choguill.

		Arnstein 1969	Choguill 1994	
Graus de poder cidadão		Controle do Cidadão	Empoderamento	Apoio
		Poder delegado	Parceria	
		Parceria	Conciliação	
Graus de tokenismo		Colocação	Dissimulação	Manipulação
		Consulta	Diplomacia	
		Informação	Informação	
Não participação		Terapia	Conspiração	Rejeição
		Manipulação	Autogerenciamento	Negligência

Fonte: Choguill, 1996.

Sanders e Stappers (2008) separam processos de projetos em dois tipos, de acordo com o envolvimento dos usuários: Projeto Centrado no Usuário e Co-design. No primeiro, observa-se e entrevista-se os usuários para a formulação da proposta arquitetônica/urbanística. O usuário é visto como uma figura passiva, que deve ser considerada, consultada e atendida. Já no *co-design*, os usuários participam

ativamente do processo de criação, com proposição de ideias e problematização das decisões, em uma relação igualitária com o arquiteto. No entanto os autores diferenciam os conceitos de *co-design* e *co-creation*, entendendo esse último como um termo mais amplo, que abrange diferentes formas de participação e pode incluir o *co-design*, que se refere ao usuário leigo trabalhando diretamente com o arquiteto no processo de criação.

## Três casos Práticos

### A Pattern Language

Nascido na Áustria e radicado no Estados Unidos, Christopher Alexander, arquiteto e matemático, publicou, em 1977, um trabalho que buscava uma maneira de facilitar a interlocução entre arquitetos e usuários. Batizado *A Pattern Language*, ou linguagem de padrões, tem foco no processo e no usuário como protagonista, oferecendo uma série de opções para que fossem escolhidas e combinadas, dando autonomia aos futuros moradores (ALEXANDER, 1977).

A Linguagem de Padrões constitui-se em uma compilação de 253 parâmetros projetuais estabelecidos pelo arquiteto que variam de escalas projetuais, como regiões, cidades, bairros, áreas comuns externas e edifícios. Esses padrões se combinam como palavras formando uma frase, permitindo uma grande variedade de arranjos (ALEXANDER, 1977).

*All 253 patterns together form a language. They create a coherent Picture of an entire region, with the power to generate such regions in a million forms, with infinite variety in all the details. It is also true that any small sequence of patterns from this language is itself a language for a smaller part of the environment; and this parks, paths, houses, workshops, or gardens<sup>14</sup>. (ALEXANDER, 1977, p.XXXV)*

O próprio autor dá como exemplo uma sequência de padrões para mostrar uma combinação possível: *Private Terrace On the Street* (padrão 140) + *Sunny Place*

---

<sup>14</sup> Todos os 253 padrões juntos formam um idioma. Eles criam uma imagem coerente de uma região inteira, com o poder de gerar essas regiões em um milhão de formas, com infinita variedade em todos os detalhes. Também é verdade que qualquer pequena sequência de padrões dessa linguagem é ela própria uma linguagem para uma parte menor do ambiente; e isso parques, caminhos, casas, oficinas ou jardins. (Tradução livre)

(padrão 161) + *Outdoor Room* (padrão 163) + *Six-Foot Balcony* (padrão 167) + *Paths and Goals* (padrão 120) + *Ceiling Height Variety* (padrão 190) + *Columns at the Corners* (padrão 212) + *Front Door Bench* (242) + *Raised Flowers* (padrão 245) + *Diferent Chair* (padrão 251)<sup>15</sup> (ALEXANDER, 1977).

Alexander traduz uma grande quantidade de dados complexos e soluções técnicas em imagens reconhecíveis, com as quais os usuários conseguem estabelecer uma identificação. Assim, as pessoas poderiam definir o desenho da própria habitação de maneira eficaz e sem a interferência de um arquiteto.

A metodologia dos padrões parte de uma sequência de *inputs*, estruturados algoritmicamente e perfeitamente interpretáveis por um computador. Na verdade, o autor, dez anos antes, já tinha discorrido sobre métodos sistemáticos de projetos baseados em sistemas computacionais no trabalho: *Notes on the Synthesis of Form*, de 1964. E, no mesmo ano, Alexander participou da IV conferência *Architecture and Computers*, onde proferiu a apresentação *A much asked question about computers and design*. Nessa apresentação, Alexander reconhece o ganho de tempo que o computador oferece, mas defende que não há nada que a máquina faça que um exército de homens não poderia fazer (NATIVIDADE, 2010).

### A Teoria dos Suportes

Nikolaas John Habraken, arquiteto holandês nascido na Indonésia, estudou Arquitetura na Universidade Tecnológica de Delft, entre 1948 e 1955, e participou da criação do *Stichting Architecten Research* (SAR) em 1965, Fundação para Pesquisa Arquitetônica, do qual foi diretor por dez anos. O SAR buscava unir arquitetos, clientes e indústrias para a produção de habitação em grande escala, mas buscando alternativas à solução massificada comum na Europa do pós-guerra (LAMOUNIER, 2017).

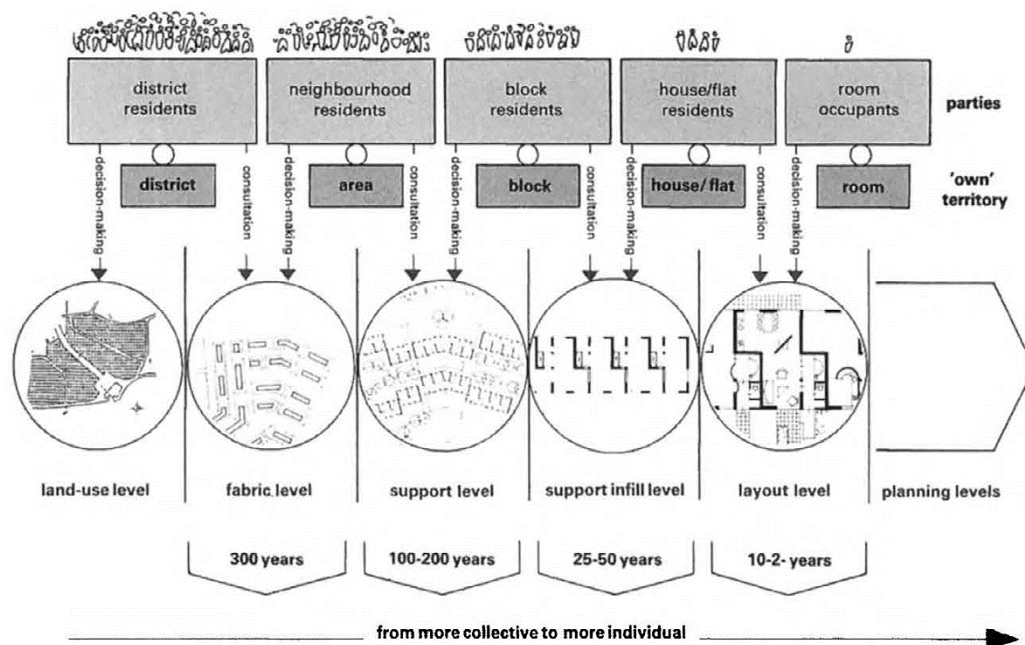
---

<sup>15</sup> Terraço Privado Na Rua (padrão 140) + Lugar Ensolarado (padrão 161) + Sala Ao Ar Livre (padrão 163) + Varanda De Dois Pés (padrão 167) + Caminhos E Objetivos (padrão 120) + Variedade De Altura Do Teto (padrão 190) + Colunas nos cantos (padrão 212) + banco da porta da frente (242) + flores em relevo (padrão 245) + cadeira diferente (padrão 251). (Tradução livre)

A partir das experiências do SAR, surge a Fundação *Open Building* (1984), assim como o *Open Building Development Model* (OBOM), grupo de pesquisa da TU Delft voltado para pesquisas tecnológicas em continuidade às conquistas do SAR. Esses grupos se dedicam a aprofundar as pesquisas de Habraken, buscando a reintrodução do usuário no processo de projeto, na produção industrializada e em grande escala de habitação (LAMOUNIER, 2017).

A partir das teorias de Habraken, a ideia do *Open Building* se baseia na participação dos usuários em níveis de decisão (*environmental levels*), do coletivo ao individual, da escala urbana ao cômodo da casa (LAMOUNIER, 2017).

Figura 12 – *Environmental levels*.



Fonte: Kendall & Teicher, 2000.

Em 1961, Habraken publica *Supports: an alternative to mass housing*. Trata-se de uma proposta de envolvimento efetivo dos usuários no processo de decisão, não apenas consultivo, para que o arquiteto interprete esses desejos e os execute. Assim, sugere uma nova forma de trabalho e organização das partes envolvidas.

Parte-se de duas etapas: uma coletiva, que definirá os suportes, e outra individual, que definirá os interiores desses suportes. Os suportes são fixos, definidos a partir

das decisões comunitárias. Já os interiores são modificáveis, transformáveis. Assim, a discussão vai da escala urbana aos móveis que ocuparão os ambientes.

*La distinción entre soporte y unidad separable, por lo tanto, distingue dos tipos de producción. Em cada área son posibles iniciativas independientes, pero por otra parte el diseño de soportes debe acomodar todas las unidades separables posibles, mientras que todas las unidades separables deberían poderse acoplar a cada soporte<sup>16</sup>. (HABRAKEN, 2000, p. 30).*

Do ponto de vista construtivo, os suportes são a caixa do edifício, ou sua construção-base, que inclui estruturas e, eventualmente, algumas instalações. Já vedações, paredes e esquadrias podem ser ou não entendidos como suporte. Já a parte mutável inclui paredes internas, instalações, acabamentos etc.

Se, nas primeiras publicações, Habraken não apresenta desenhos, só um discurso verbal, nas publicações seguintes, vai introduzindo desenhos. Primeiro, uma sequência de pictogramas, que, depois, evoluíram para representações menos abstratas, como plantas e cortes, mas também diagramas e esquemas.

Habraken, dentro do SAR, apresenta um esquema de setorização dos edifícios que chama de método de Zonas e Margens. Ele apresenta essa solução na publicação de 1979, *El Diseño de Soportes*. Fartamente ilustrado, o livro apresenta o método em diferentes projetos, buscando provar sua versatilidade.

*Zonas y márgenes son bandas fijas dentro de las cuales los espacios pueden ser colocados de acuerdo con ciertas convenciones. El diseño de un soporte de basa em un conjunto de estándares que están incorporados a un sistema específico de zona/márgenes<sup>17</sup>. (HABRAKEN, 2000, p. 50).*

Trata-se da organização de plantas em faixas paralelas e intercaladas (faixa zona e faixa margem). Ele as batizou de  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  e  $\delta$  – alfa, beta, gama e delta (zona  $\alpha$ ,

---

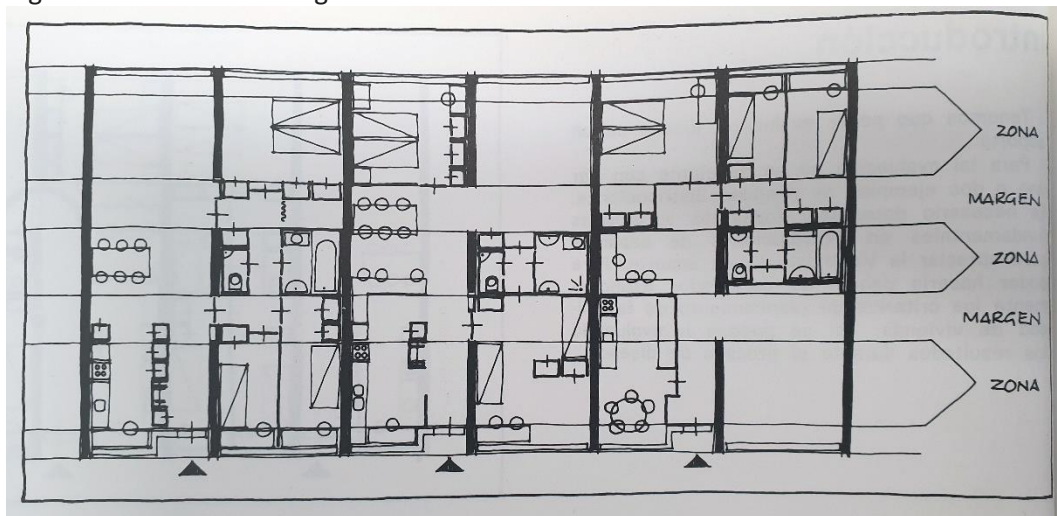
<sup>16</sup> A distinção entre suporte e unidade separável, portanto, distingue dois tipos de produção. Em cada área, são possíveis iniciativas independentes, mas, por outro lado, o design dos suportes deve acomodar todas as unidades separáveis possíveis, enquanto todas as unidades separáveis devem poder ser acopladas a cada suporte. (Tradução livre)

<sup>17</sup> Zonas e margens são faixas fixas nas quais os espaços podem ser colocados de acordo com certas convenções. O design de um suporte baseado em um conjunto de padrões que são incorporados a um sistema de zona / margem específico. (Tradução livre)



margem  $\alpha$   $\beta$ , zona  $\beta$ ). Os critérios para a definição das faixas, largura, disposição etc. são definidos coletivamente e dependem das características do suporte, no entanto devem garantir a flexibilidade dos usos em seu interior. As zonas abrigam usos principais, e as margens abrigam circulações ou extensões dos cômodos das zonas. Ou seja, a profundidade mínima de um ambiente se refere à largura da faixa da zona, e sua profundidade máxima à soma da largura da faixa da zona e da faixa da largura da margem (HABRAKEN, 2000).

Figura 13 – Zonas e margens.



Fonte: HABRAKEN, 2000.

As faixas de zona e margem são cruzadas perpendicularmente por outras mais estreitas, que delimitam regularmente as dimensões dos ambientes e a separação de unidades habitacionais distintas. Batizadas de “malha tartan”, essas faixas mais estreitas sugerem a modulação estrutural do suporte (HABRAKEN, 2000).

MolenVliet na cidade de Papendrecht, nos Países Baixos, é uma das primeiras propostas a aplicar o método dos suportes. Com o suporte concebido pelo arquiteto Frans van der Werf, membro do SAR, MolenVliet é composta por 124 habitações de aluguel, caracterizadas por uma estrutura de concreto armado que forma túneis, cujas lajes têm aberturas para passagens de instalações em diferentes posições. Parte das fachadas é mutável, a partir de algumas opções ofertadas ao morador (LAMOUNIER, 2017).

## Pré-fabricação participativa: Metaprojeto Construtivo

Metaprojeto é uma reflexão crítica sobre o processo que leva à concepção de determinado projeto. Trata-se de análise e confronto de diferentes conhecimentos que devem contribuir para a obtenção de um resultado, em um “*processo dedutivo*” em que são consideradas “*as hipóteses possíveis*” e os “*cenários mutantes*” (DE MORAES, 2010, p. 26).

Assim, o metaprojeto visa responder a cenários complexos que condicionam o *design* de determinado projeto, auxiliando na compreensão de demandas sofisticadas, relacionando-as a processos produtivos e tecnológicos, fatores mercadológicos, sustentabilidade ambiental, influências socioculturais, além de fatores tipológicos-formais e ergonômicos (DE MORAES, 2010).

Dessa forma, “*tecnologias produtivas e materiais empregados*” são parte de uma discussão mais ampla, como mais um dos aspectos a serem considerados. Ou seja, o metaprojeto se contrapõe ao “*output como modelo de projetual único e soluções técnicas preestabelecidas*” (DE MORAES, 2010, p. 25). A opção por soluções técnicas de produção e materiais deve se adaptar ao processo e estar definida, *a priori*, independentemente das demais condicionantes.

Em 1972, Mário Oliveri cita Van Onk ao defender o metaprojeto, argumentando em defesa de um sistema aberto que possua, intrinsecamente, a capacidade de mutação e de variar resultados. Ele vai além, citando Esherick: “*un sistema de diseño, es una estructura reproductiva, y por conseguinte, no debe dar lugar a productos definidos, lo que equivale a decir que debe ser neutro, es decir, objeto de transformación*” (OLIVERI, 1972, p. 137).

Oliveri (1972) segue defendendo que o desenho de um “sistema aberto” deve confrontar funções complexas e contraditórias, gerando resultados inesperados, reduzindo o controle e aumentando a liberdade de comunicação e movimento, e dando poder de decisão aos usuários (OLIVERI, 1972).

A defesa de Oliveri se alinha, assim, com o discurso de valorização dos processos participativos predominante na época, mas também antecipa uma discussão contemporânea do usuário como agente participativo do processo de concepção, ideia defendida por autores recentes, como Neil Gershenfeld e Carlo Ratti.

No entanto Oliveri parte de um sistema construtivo preestabelecido: a pré-fabricação, baseada essencialmente em componentes de concreto armado. Assim, sua proposta difere do discurso de Van Onk, entre outros, e ele a chama de Metaprojeto Construtivo.

*El objetivo encerrado em este concepto se transfiere por analogía a la construcción, es el mismo que perseguimos, por lo que conviene denominar con el término "metaproyecto constructivo" la estructura reproductiva investigada por nosotros. El metaproyecto constructivo es, por consiguiente, la alternativa o, si se quiere, la evolución lógica de la prefabricación en la que se encuentra la identidad conceptual entre metadesign y prefabricación abierta*<sup>18</sup>. (OLIVERI, 1972, p. 138).

O metaprojeto construtivo se viabilizaria na ideia da pré-fabricação aberta, ou seja, componentes produzidos em série, baseados em um sistema de coordenação modular, que permitam que catálogos de diferentes fabricantes possam interagir em uma mesma obra, viabilizando infinitas composições possíveis: “[...] *producción de elementos en serie aptos para ser utilizados en cualquier proyecto de cualquier proyectista y posto en obra por parte de empresas de montaje*”<sup>19</sup>. (OLIVERI, 1972, p. 105). Quanto mais fabricantes e maiores seus catálogos, melhor.

Os componentes poderiam ser concebidos para uma obra específica e, depois, fazer parte do catálogo do fabricante que a produzirá, mas é fundamental que arquitetos concebam os componentes, impedindo que esses profissionais se

---

<sup>18</sup> O objetivo contido nesse conceito é transferido por analogia à construção, é o mesmo que buscamos, portanto, é apropriado chamar o termo "metaprojeto da construção" a estrutura reprodutiva investigada por nós. O metaprojeto construtivo é, portanto, a alternativa ou, se desejado, a evolução lógica da pré-fabricação, na qual é encontrada a identidade conceitual entre o metadesign e a pré-fabricação aberta (Tradução livre)

<sup>19</sup> [...] produção de elementos seriais adequados para uso em qualquer projeto de qualquer designer e pós-trabalho por empresas de montagem. (Tradução livre)

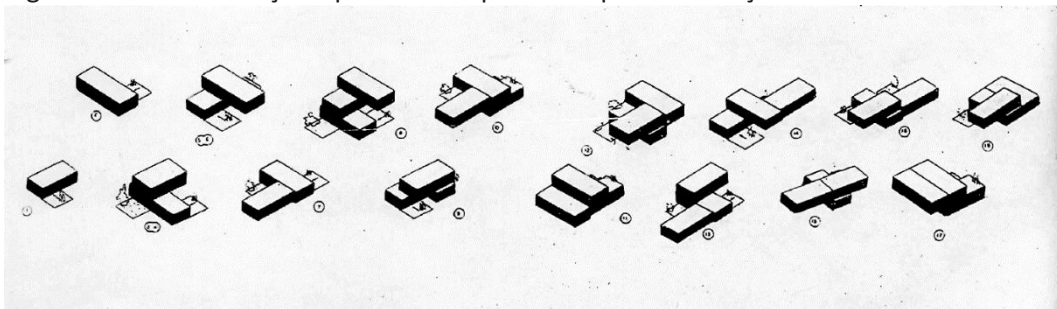
tornem meros combinadores de peças, mas agentes ativos na criação dos componentes.

Esses componentes devem estar organizados por categorias, unidos por uma modulação comum, permitindo projetos leves e elásticos, pensados também para uma produção industrial, ou seja, *“reducido al puro y absoluto valor de constructibilidad”*, unindo a arte e a produção industrial e promovendo uma unidade de método entre os processos criativos e produtivos. Segundo Olivieri, *“La arquitectura encontrará en la industrialización de la construcción, es decir, en la estandarización, el modo de escapar de uniformidad y el aburrimiento”*<sup>20</sup>.(OLIVERI, 1972, p. 127).

Unindo o metaprojeto com a pré-fabricação a fim de atingir seu objetivo, a flexibilização de resultados para que atendam às demandas dos usuários defende o que chama de teoria das três liberdades:

- Liberdade de adequação do edifício às exigências da habitação (flexibilidade de uso);
- Liberdade de incorporação da indústria no ciclo produtivo da construção, sem necessidade de acordos preventivos entre fabricantes (fabricação aberta);
- Liberdade de configuração espacial do edifício (liberdade de forma) e de dar a ele a carga formal que se pretende (liberdade de expressão figurativa).

Figura 14 – Combinações possíveis a partir da pré-fabricação aberta.



Fonte: OLIVERI, 1972.

<sup>20</sup> A arquitetura será encontrada na industrialização da construção, ou seja, na padronização, a maneira de escapar da uniformidade e do tédio. (Tradução livre)

A teoria de Oliveri busca viabilizar o metaprojeto de maneira prática, defendendo uma metodologia de aplicação que, embora pareça reducionista, se adaptava aos valores da época, incorporando o desejo pelos processos participativos ao que havia de mais atual em processos de construção.

### 3.2. Processos digitais e participação do usuário

Segundo Mitchel (1992), inovações tecnológicas criam novos potenciais culturais, uma vez que novas técnicas permitem o surgimento de novas artes, como no caso do cinema e da fotografia, além de criações em outras tantas áreas do conhecimento, como Medicina, Engenharia etc. O professor e pesquisador americano John Culkin resumiu o impacto de novas ferramentas ao discorrer sobre as ideias de seu amigo Marshall McLuhan na frase *“We shape our tools and thereafter they shape us”*<sup>21</sup>. Ou seja, criamos ferramentas que nos ajudam a resolver problemas, mas acabam oferecendo novos caminhos, novas possibilidades, até então não imaginados. Gordon Pask, em seu artigo *Architectural Relevance of Cybernetics*, de 1969, imaginava trocas mais efetivas entre novas tecnologias e concepção de projetos arquitetônicos, assim como Ivan Sutherland (1964) afirmava que o desenho produzido no computador depende das características próprias desse equipamento que, portanto, devem ser consideradas na concepção do objeto.

Nicholas Negroponte (1970) foi um dos pioneiros no estudo prático de trocas entre homem e máquina em um diálogo criativo. Ele acreditava que o computador poderia ser não apenas uma mera ferramenta para se alcançar um objetivo, mas um parceiro efetivo, um interlocutor que apresentaria possibilidades inimagináveis.

---

<sup>21</sup> “Nós moldamos nossas ferramentas e, então, elas nos moldam”. Frase escrita pelo padre John Culkin no artigo que escreveu sobre Herbert Marshall McLuhan. <https://webpace.royalroads.ca/llefevre/wp-content/uploads/sites/258/2017/08/A-Schoolmans-Guide-to-Marshall-McLuhan-1.pdf> (Acessado em 07/01/2020)

*A machine, meanwhile, could procreate forms that respond to many hereto-unmanageable dynamics. Such a colleague would not be an omen of professional retirement but rather a tickler of the architect's imagination, presenting alternatives of form possibly not visualized or not visualizable by the human designer*<sup>22</sup>. (NEGROPONTE, 1970, p. 39).

Terzidis (2006) faz uma distinção entre o uso mais frequente para o computador nos processos de projeto, a digitalização de processos predefinidos, e um uso que se apropria mais efetivamente das potencialidades da máquina, em que o indeterminado é explorado pelos processos digitais. Assim, trabalha-se não um objeto, mas em como alcançá-lo, cruzando informações que nos darão uma resposta possivelmente inalcançável por seres humanos.

No entanto, para que a máquina entenda o que deve fazer, as informações devem ser transformadas em dados compreensíveis por ela, *inputs* claros e objetivos que possam funcionar sistematicamente em um algoritmo.

Se a prática corrente de produção de arquitetura é essencialmente a manipulação de uma resposta, esse processo é, essencialmente, baseado na intuição, ou a “Teoria da Caixa preta” (TERZIDIS *apud* NATIVIDADE, 2010), ou seja, um processo pouco objetivo.

*An algorithm is a set of instructions given by a human to be performed by a computer. Therefore, an algorithm can describe either the way a problem is to be addressed as if it would be resolved by a human or the way it should be addressed to be understood by a computer (the notion of “understanding” here refers to the capacity the computer has to process information given by a human and not to its conscious interpretation of that information)*<sup>23</sup>. (TERZIDIS, 2006, p. 16).

Terzidis (2006) defende que o algoritmo permite a comunicação entre a mente humana e o computador, viabilizando um diálogo bidirecional, com o conceito

---

<sup>22</sup> Enquanto isso, uma máquina pode procriar formas que respondem a muitas dinâmicas incontroláveis. Tal colega não seria um presságio de aposentadoria profissional, mas um estimulador da imaginação do arquiteto, apresentando alternativas de forma possivelmente não visualizadas ou não visualizáveis pelo designer humano. \*tradução livre)

<sup>23</sup> Um algoritmo é um conjunto de instruções dadas por um ser humano a ser executado por um computador. Portanto, um algoritmo pode descrever a maneira como um problema deve ser tratado como se fosse resolvido por um ser humano ou a maneira como deveria ser tratado para ser entendido por um computador (a noção de "entendimento" aqui se refere à capacidade que o problema computador precisa processar as informações fornecidas por um ser humano e não sua interpretação consciente dessas informações). (Tradução livre)

agora chamado de alteridade, isto é, quando o computador se torna efetivamente um interlocutor, embora nunca deva ser tratado ou entendido como um humano.

Yona Friedman, arquiteto francês nascido na Hungria, criticou ativamente a massificação modernista, valorizando a democratização do *design* e defendendo uma arquitetura adaptável às mudanças sociais, em um diálogo entre novas tecnologias e usuários. Ao longo de sua carreira, Friedman segue defendendo a importância dos usuários na definição da arquitetura e em sua adaptabilidade, portanto, uma arquitetura “móvel”, reconhecendo que o arquiteto seria incapaz de dar uma resposta definitiva para o uso e caráter do edifício (ALMEIDA, 2008).

Friedman propunha que o usuário assumisse papel ativo na criação, uma vez que ele é quem realmente conhece suas necessidades. No entanto a falta de domínio técnico, do método e seu ferramental o impediria de criar o que precisa. Assim, a máquina poderia oferecer os recursos necessários para que o usuário pudesse criar o que precisa (RAMOS, 2013).

Assim, Friedman defendeu que arquitetura deveria ter regras claras, para que todos os agentes envolvidos em sua produção pudessem ter participações objetivas e bem definidas, portanto, uma arquitetura científica, que se apropriasse das tecnologias da informação para lidar com a complexidade inerente ao objeto (ALMEIDA, 2008).

Em 1967, Friedman apresenta uma proposta para uma ferramenta computacional que auxiliaria a relação entre o arquiteto e o usuário, permitindo que o futuro habitante possa participar do processo de concepção de sua casa.

*Thanks to the machine which I call Flatwriter, each future inhabitant of a city can imprint his personal preferences with respect to his apartment (flat) to be. Using symbols which put in visual form the different elements of his decision so that the builder as well as his neighbors can understand what his choice is<sup>24</sup>. (FRIEDMAN, 1975, p. 53).*

---

<sup>24</sup> Graças à máquina que chamo Flatwriter, cada futuro habitante de uma cidade pode imprimir suas preferências pessoais em relação ao seu apartamento (apartamento). Usando símbolos que

O usuário declara seus desejos futuros em relação à sua casa, visualizados através de um conjunto de símbolos, que são compreensíveis pelo construtor e pelos vizinhos do usuário. Ao coletar esses desejos individuais, o Flatwriter está em posição de "saber" se a localização de cada habitante entrará em conflito com os desejos declarados de qualquer um dos outros habitantes (VARDOULI, 2011).

Com a premissa de que os arquitetos trabalham não mais com clientes individuais, mas com milhões de clientes simultâneos, cujas demandas devem ser atendidas, e a partir da analogia de um *menu* de restaurante, por meio do qual o cliente escolhe os pratos e suas combinações, o Flatwriter ofereceria milhões de opções de plantas de habitação que poderiam ser combinadas personalizando-se a solução final. A combinação customizada ficaria acomodada em um esqueleto estrutural que abrigaria as infraestruturas necessárias (FRIEDMAN, 1975).

Mas a ferramenta não atenderia simplesmente às demandas do pretendo morador, ela também reagiria, advertindo um futuro usuário sobre suas escolhas, impedindo que elas se efetivassem caso apresentassem algum conflito com características do próprio usuário ou dos vizinhos (FRIEDMAN, 1975).

Em um raciocínio linear e sequencial, o processo de definição da arquitetura no Flatwriter se daria em oito etapas, em algumas, o usuário faria escolhas e, em outras a máquina mostraria o resultado e advertências. Nesse sistema, o papel do arquiteto seria o de criar as opções (ALMEIDA, 2008).

Friedman descreve a operação do Flatwriter utilizando o exemplo de um usuário, Sr. Smith, que deseja projetar uma casa de três quartos. O procedimento é dividido em duas grandes etapas: primeira, o *design* do apartamento e, em seguida, sua colocação na grande infraestrutura. No início do processo, o Sr. Smith é apresentado com um teclado de 53 teclas que contém todas as configurações possíveis entre os três espaços, todas as formas dos espaços e todas as orientações que o apartamento pode ter, nas quais ele deve inserir seu desejo sem

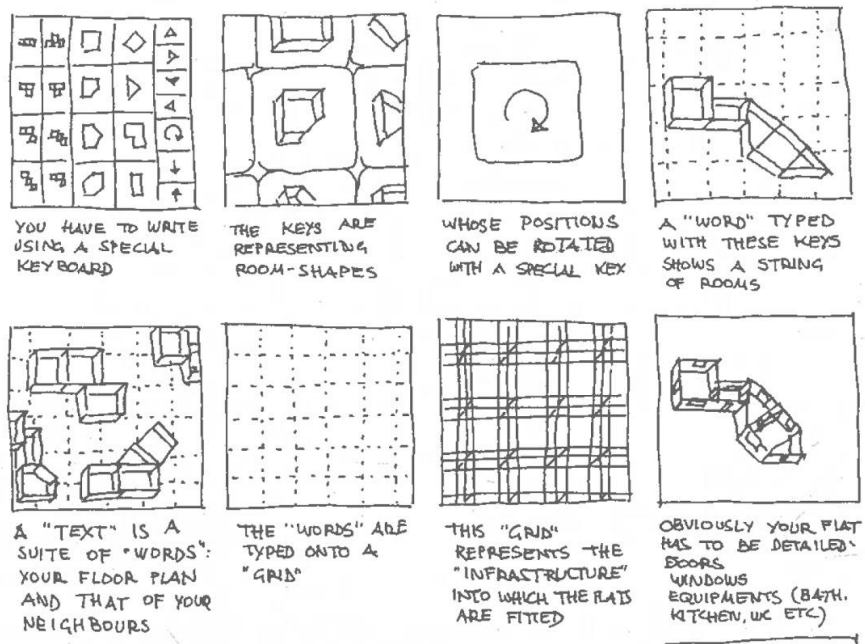
---

colocam em forma visual os diferentes elementos de sua decisão, para que o construtor e seus vizinhos possam entender qual é a sua escolha. (Tradução livre)



qualquer interferência da máquina. O que se segue é um segundo teclado, um teclado de "pesos", em que o Sr. Smith é solicitado a inserir frequentemente o número de vezes que ele entra em cada sala, permitindo que o Flatwriter avalie e declare se sua escolha (VARDOULI, 2011).

Figura 15 – Sequências de ações do Flatwriter, de Yona Friedman.



Fonte: <http://unit23d.blogspot.com/2013/03/p2-art-of-inhabitation-constructing.html> (Acessado em 07/01/2020)

Uma vez finalizado o plano, o computador o coloca em uma infraestrutura vazia que permite vários posicionamentos e pequenas modificações que não desafiam a estabilidade de todo o sistema. Depois de "ouvir" a preferência de localização do usuário, o Flatwriter calcula o efeito dessa escolha para seus vizinhos e, potencialmente, pede ao usuário que a altere. A etapa final do processo é o cálculo do efeito global desse posicionamento, a informação de toda a população sobre mudanças na utilização do bairro, implícitas nas escolhas de cada recém-chegado, em termos de parâmetros como circulação, ruído, valor comercial e acessibilidade (o que Friedman chama de "linhas de esforço ISO") (VARDOULI, 2011).

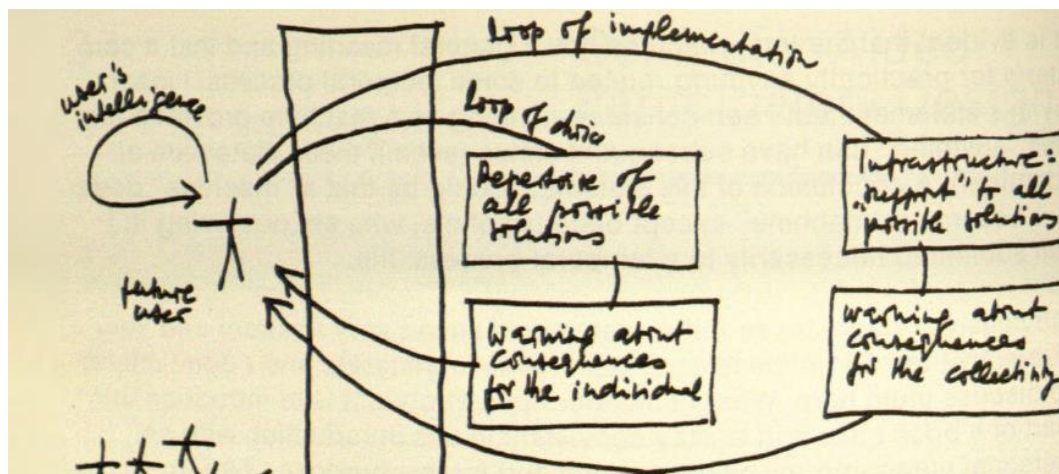
Embora os computadores só tenham se estabelecido efetivamente nos escritórios de arquitetura a partir do final dos anos 1980 e início dos anos 1990, suas possibilidades e impactos no processo de criação de projetos vêm sendo debatidos

desde o final dos anos 1960, justamente quando a discussão sobre projetos participativos ganha força.

Assim, diversos autores buscaram um paralelismo entre ambas as discussões, perguntando-se como computadores poderiam contribuir com processos participativos de produção de arquitetura e urbanismo. A preocupação em desenhar o processo e não o produto e entender o resultado final como sua consequência imprevisível desse processo, certamente define ambas as discussões.

No terceiro capítulo do livro *Soft Architecture Machines* (1975), de Nicholas Negroponte, intitulado *Computer-Aided Participatory Design*, há uma introdução escrita por Friedman, na qual ele defende que o computador é um tradutor, uma interface entre o usuário e o objeto a ser projetado. A partir de um gráfico, ele imagina que o computador funcionaria em um *loop* condicionado pelas escolhas arbitrárias e pessoais do usuário. No entanto ele observa duas possíveis maneiras de incorporar o computador no processo de projeto. Na primeira, a máquina funciona de maneira paternalista, quando já toma algumas decisões pelo usuário, relegando a ele algumas opções a serem escolhidas e a responsabilidade por eventuais más escolhas. Na segunda maneira, a não paternalista, o computador daria mais liberdade ao usuário, mostrando, com mais velocidade, o resultado de suas escolhas e suas consequências.

Figura 16 – Gráfico do *loop* condicionado de Yona Friedman.



Fonte: NEGROPONTE, 1975.

Em seguida, Negroponte desenvolve o tema afirmando que a máquina tentaria entender os desejos do usuário a partir de perguntas. Assim, o autor defende três percepções de como se dá a participação do usuário. Na primeira, o usuário responde a perguntas, cujas respostas serão avaliadas de maneira científica e seriam interpretadas pelo arquiteto, o juiz final, na solução projetual. A segunda, a qual Negroponte chama de *advocacy planning*, ocorre quando um grupo é eleito para representar os interesses da comunidade e participa, assim, nas decisões a serem tomadas. Na terceira, cada usuário se torna seu próprio arquiteto, sendo educado para representar suas ideias graficamente. Embora defenda que a terceira percepção é a melhor, o autor reconhece que não há exemplos reais nos quais ela tenha sido colocada em prática. Também se faz uma série de perguntas, tais como: As pessoas iriam querer desenhar a própria casa? Quais seriam as vantagens de desenhar ao invés de escolher opções? Perdemos qualidade ao remover o arquiteto do processo? Esse conhecimento do arquiteto poderia ser um conhecimento armazenado no computador? Isso é realmente uma arquitetura sem arquitetos ou estamos criando arquitetos substitutos? (NEGROPONTE, 1975).

Negroponte retoma a ideia de Friedman, afirmando que a remoção do arquiteto do processo elimina seu caráter paternalista, e seu conhecimento poderia ser organizado de maneira objetiva, de maneira que, ao ser confrontado com os desejos do usuário, surja um *feedback*, que permitirá ao usuário ver as consequências de suas escolhas e tomar novas decisões (NEGROPONTE, 1975).

Assim sendo, Negroponte propõe o que chama de *design amplifier*, que representaria uma etapa intermediária entre a situação atual e uma inteligência artificial. Esse *design amplifier* traria os conhecimentos técnicos para que o usuário pudesse materializar seus desejos. Esse recurso não avaliaria os resultados, apenas os mostraria, sem a riqueza de um diálogo com um arquiteto de verdade. No entanto a inteligência da máquina, necessária para sustentar a riqueza do diálogo, seria contraproducente à participação, porque essa mesma inteligência, como a do arquiteto humano, seria vítima dos males da tradução,

atribuindo significados próprios. Em outras palavras, a inteligência necessária para se comunicar contradiz a noção de amplificação (NEGROPONTE, 1975).

Assim, o autor faz duas perguntas: — O que a máquina sabe? — Como o usuário lida com o conhecimento da máquina? E responde afirmando que o método mais óbvio seria construir uma máquina com um vasto conhecimento de arquitetura e ver o usuário como um explorador desse conhecimento através de uma interface homem-máquina sofisticada (NEGROPONTE, 1975).

William J. Mitchell também se debruça sobre o tema em um artigo publicado no livro *Design Participation* (1971), organizado por Nigel Cross. Mitchell parte da afirmação de que toda a representação de arquitetura é uma imitação da realidade propositalmente não realista, cuja complexidade é reduzida para que possamos lidar com ela. Ou seja, construímos um objeto para representar outro. Assim, um modelo satisfatório para determinada finalidade combina a necessária simplificação com realismo, relevância e precisão adequados para nos permitir alcançar um objetivo (MITCHELL *in* CROSS, 1971).

Logo, o autor se pergunta: — Como os sistemas de computador podem nos ajudar a alcançar esse objetivo? Para responder a essa pergunta, Mitchell recorre a um diagrama que representa uma árvore de soluções possíveis para determinado problema. Nessa árvore, estão representados possíveis caminhos e seus desdobramentos, revelando que, para cada escolha, surgem outras tantas decorrentes da anterior. Ou seja, se tomarmos determinada ação (*if*), qual será sua consequência (*then*)? (MITCHELL *in* CROSS, 1971).

No entanto a aplicação depende da complexidade do problema e do número de soluções possíveis para cada etapa. Assim, a construção dessas consequências para cada ação pode levar segundos, mas também dias, semanas ou meses, o que poderia tornar inviável sua aplicação (MITCHELL *in* CROSS, 1971).

Uma metodologia que ofereça alternativas sequenciais para cada escolha que fazemos poderia ser muito eficiente, mas exigiria respostas rápidas e uma apresentação simplificada o suficiente para que sejam compreendidas por não

especialistas. Logo, a combinação da alta velocidade de processamento com recursos versáteis de exibição de informações gráficas dos computadores modernos pode ser uma solução eficiente na aplicação de processos participativos (MITCHELL *in* CROSS, 1971).

Mitchell segue afirmando que podemos encontrar dois tipos de situações nesse processo *if/then*: na primeira, nossas escolhas teriam consequências simples, claras e objetivas; e a segunda geraria resultados mais complexos (MITCHELL *in* CROSS, 1971).

Perguntas como: “Como seria a sombra projetada por um edifício?”; “Qual a resistência necessária para aguentar determinada carga?”; “Qual a porcentagem de determinado grupo populacional no censo?”; geram resultados objetivos e inequívocos (MITCHELL *in* CROSS, 1971).

Mas há situações em que a resposta não é conclusiva na tomada de decisão, mas uma possibilidade que deve ser comparada com outras para que se escolha a mais conveniente a partir de critérios eventualmente não programáveis. Trata-se da definição de cenários possíveis, produzidos com a rapidez da máquina, que podem ser modificados com a alteração das escolhas anteriores na sequência de decisões. Por exemplo: “Como poderia ser o arranjo de diferentes espaços de um edifício?”. (MITCHELL *in* CROSS, 1971).

Assim, a qualidade dos cenários apresentados pelo computador em um processo *if/then* depende diretamente da qualidade das perguntas, ou seja, de como o problema é estruturado e como se dão seus desdobramentos a partir das definições que servirão de dados de entrada.

Em 1981, surge um grupo preocupado em dar apoio computacional a comunidades e usuários envolvidos em projetos participativos. A aliança denominada *Computer Professionals for Social Responsibility* (CPSR) não apenas

se engaja em diversas experiências participativas como também patrocina conferências bienais sobre o tema<sup>25</sup>. O CPSR define *design* participativo como:

*[...] uma abordagem para avaliação, projeto e desenvolvimento de sistemas tecnológicos e organizacionais que premia o envolvimento ativo de práticas do ambiente de trabalho nos processos de projeto e tomada de decisão. (SANOFF apud CAIXETA, 2015, p. 100).*

Damodaran (1996), considerando os impactos das tecnologias da informação e comunicação (TICS), afirma que, por décadas, as tecnologias da informação (TI) falharam em fornecer os benefícios esperados pelos usuários. Participação inadequada dos usuários no processo de *design* é um fator determinante nesse fracasso. Diferentes abordagens de participação se concentram no grau em que os usuários são capazes de influenciar o sistema. O problema está justamente nessa incapacidade de o usuário, efetivamente, transformar o resultado.

Assim, a autora defende que uma maior participação dos usuários traz os seguintes benefícios: melhor qualidade do sistema, decorrente de mais requisitos precisos do usuário; evita caros recursos do sistema que o usuário não quer ou não pode usar; níveis aprimorados de aceitação do sistema; maior compreensão do sistema pelo usuário, resultando em um uso mais eficaz; maior participação na tomada de decisões na organização.

Damodaran (1996) lista três níveis de envolvimento do usuário através de ferramentas digitais:

Quadro 6 – Níveis de envolvimento do usuário através de ferramentas digitais.

Informativo	Quando o usuário dá ou recebe informações.
Consultivo	Quando os usuários comentam ou ajudam a definir um serviço ou uma gama de recursos.
Participativo	Quando os usuários influenciam as decisões relacionadas a todo o sistema.

Fonte: Damodaran, 1996.

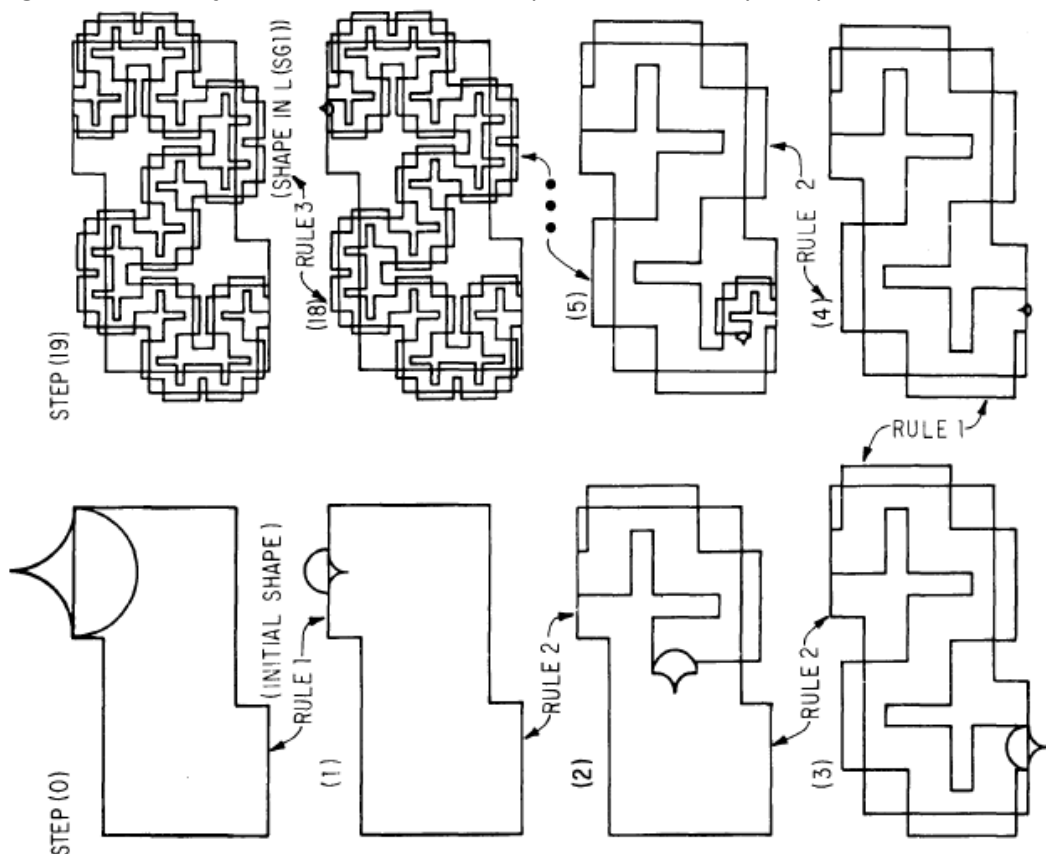
<sup>25</sup> Veja mais detalhes em: <http://cpsr.org/>

## Gramática da forma

Em 1972, dois pesquisadores americanos, George Stiny e James Gips, publicam um trabalho no qual apresentam um método de geração de forma que chamam de *Shape Grammar*, ou Gramática da Forma<sup>26</sup>. Trata-se de um processo generativo a partir de geometrias bidimensionais<sup>27</sup>, inspirado no trabalho de Noah Chomsky<sup>28</sup>.

Chomsky, um linguista, apresentou um alfabeto de símbolos que, a partir de uma série de regras, formariam linhas unidimensionais de informações e frases. Já na *Gramática da Forma* de Stiny e Gips, o alfabeto definiria um número limitado de geometrias que gerariam combinações variadas a partir da definição de regras de transformação e regras de combinações dessas geometrias (STINY; GIPS, 1972).

Figura 17 – Geração da forma através do processo de Stiny e Gips.



Fonte: Stiny; Gips, 1972.

<sup>26</sup> O artigo encontra-se disponível no link:

<http://www.shapegrammar.org/ifip/SGBestPapers72.pdf> (Acessado em 07/01/2020)

<sup>27</sup> Embora esse trabalho apresente uma pesquisa baseada em formas bidimensionais (pintura), os autores defendem que a mesma metodologia pode ser aplicada em experiências tridimensionais (esculturas).

<sup>28</sup> Trata-se da publicação *Syntactic Structures*, cuja primeira edição é de 1957.

Stiny e Gips afirmam que o processo se inicia com a definição de um alfabeto de geometrias iniciais e a regra de seleção e por uma lista finita de regras de pinturas e limites da tela. Assim, parte-se da forma inicial (I) e aplica-se, sucessivamente, as regras (R -  $u \rightarrow v$ ). O resultado da aplicação de uma regra a uma forma é outra forma, sendo que, em cada aplicação de uma regra, a forma que será modificada torna-se o “u” da regra. Ou seja, ao aplicarmos uma regra à forma inicial I, essa forma será colocada no lado esquerdo da regra como “u”. Ao aplicarmos outra regra na resultante da primeira (v) esta torna-se “u”, e assim por diante. O processo acaba quando nenhuma regra pode mais ser aplicada.

A gramática da forma pode definir uma linguagem com um número infinito de formas e, assim, um mecanismo de seleção é fundamental, para que sejam modificadas as partes desejadas de uma geometria potencialmente muito sofisticada (STINY; GIPS, 1972).

Em um processo generativo, as decisões do artista/designer se concentram nas definições das especificações da forma, na organização e nos materiais que comporão o objeto final, de maneira que este possa ser gerado algoritmicamente. Isso permite que o artista/designer obtenha resultados finais sofisticados, mesmo com especificações simples (STINY; GIPS, 1972).



## 4. Customização em massa

*A Customização em Massa prospera na turbulência.  
(PINE, 1994, p. XXIII)*

Neste capítulo apresenta-se o conceito de customização em massa a partir de uma série de autores que refletem sobre suas qualidades e aplicações. A princípio surge voltado à indústria de bens e serviços, mas sua aplicação à arquitetura a partir de autores que promovem essa reflexão. Por fim, alguns exemplos ilustram a discussão do capítulo.

Em 1909, Henry Ford afirmou: *“Any Customer can have a car painted any color that he wants so long as it is black”* (FORD; CROWTHER, 1922, p. 72). Essa frase resume o que foi a produção em massa, ou Fordismo. Herdeira direta do chamado Sistema Americano, a produção em massa foi a primeira a utilizar processos industriais contínuos. Ela foi implantada na produção de diferentes produtos e caracterizou a produção industrial mundial por décadas (PINE, 1994).

Em 1913, Ford e seus engenheiros de produção introduziram o princípio de fluxo, com uma linha de movimento na qual cada operário acrescenta um componente do produto, sendo seguido por outros trabalhadores que faziam as mesmas operações todos os dias, o dia todo. Esse processo regular e ritmado ficou conhecido por produção em série. Assim, o tempo produção do *Model T* caiu de 12 horas e 8 minutos para 2 horas e 35 minutos (PINE, 1994).

O objetivo claro era criar produtos para as massas, ou seja, produzir em grande e crescente quantidade e, assim, promover uma redução de custos, com a chamada Economia em Escala; *“quanto maior a empresa, maior sua produção, mais baixos seus custos”* (PINE, 1994, p. 18). Se, em 1908, um *Model T* custava USD\$ 850,00 e foram vendidas 5.986 unidades, em 1916, o *Model T* custava USD\$ 360,00 e foram vendidas 577.036 unidades, provando o absoluto sucesso do Fordismo (PINE, 1994).

Mas a produção em série depende de um mercado homogêneo, com as mesmas expectativas e os mesmos desejos.

*No mundo da produção em série, os consumidores aceitaram as mercadorias padronizadas; essa aceitação facilitou a extensão do mercado e a redução de preços, através da crescente economia de escala; e a crescente defasagem entre preços de mercadoria produzidas em série e os das produzidas artesanalmente encorajou posteriormente o agrupamento da demanda em torno de produtos homogêneos. (PIORE; SABEL apud PINE, 1994, p. 27).*

No entanto o reconhecimento da diversificação do mercado consumidor levou a outras estratégias de diversificação de produtos. Alfred Sloan, presidente da General Motors (GM), entre 1923 e 1937, criou o conceito de empresas multidivisionais e ofereceu uma pequena gama diferenciada de produtos para atender consumidores com poder aquisitivo distinto. Enquanto a Ford só oferecia o *Model T*, com suas variações, a GM de Sloan oferecia cinco modelos básicos de veículos. No entanto a proposta de Sloan ainda era a manutenção do paradigma Fordista (WOOD Jr., 1992).

Coube a Eiji Toyoda romper com o modelo Fordista, introduzindo uma efetiva flexibilização da produção na Toyota. Aliado ao seu especialista em produção, Taiichi Ohno, criou, no final dos anos 1950, o método conhecido como *Just-in-Time* (JIT), que adaptava a produção à demanda, ou seja, adaptando-se ao mercado. Assim, criaram uma linha de produção adaptável a modificações nos produtos, o que *“levou a uma inesperada descoberta: tornou-se mais barato fabricar pequenos lotes de peças estampadas, diferentes entre si, que enormes lotes homogêneos”* (WOOD Jr., 1992, p. 13). Consequentemente, ofereciam uma gama maior de produtos, que também foi possível graças ao estabelecimento de uma relação de parcerias com a rede de venda, integrando toda a cadeia produtiva (WOOD Jr., 1992)

Segundo Harvey (2001), a segunda metade do século XX testemunhou grandes mudanças sociais, com os movimentos sociais dos anos 1960, as crises econômicas dos anos 1970 e as reestruturações sociais da década de 1980. Assim, esse período consolida uma:

*[...] flexibilidade dos processos de trabalho, dos mercados de trabalho, dos produtos e padrões de consumo. Caracteriza-se pelo surgimento de setores de produção inteiramente novos, novas maneiras de fornecimentos de serviços financeiros, novos mercados e, sobretudo, taxas altamente intensificadas de inovação comercial, tecnológica e organizacional. (HARVEY, 2001, p. 140).*

As indústrias ocidentais tiveram dificuldade de entender as mudanças, tardando a adaptar-se a um novo paradigma, definido nos anos 1990 por características como: proliferação de variedades, produção *just-in-time*, personalização aumentada, hierarquias horizontalizadas, fabricação integrada por computador, reengenharia de processos, mercado fragmentado, sistemas de fabricação flexíveis e *marketing* com banco de dados (PINE, 1994).

Assim, em 1987, Stan Davis cunha a expressão *Mass Customization*, ou Customização em Massa, em seu livro *Future Perfect*. Trata-se de um manifesto que defende um permanente estado de revolução econômica, sustentando que produtos e serviços devem ficar disponíveis no instante em que um cliente desenvolve uma necessidade; que produtos e serviços devem ser enviados aos clientes, e não vice-versa; que os fabricantes devem separar as informações contidas em um produto da matéria física que lhe dá forma; e que os processos de produção devem gerar uma variedade infinita de bens e serviços, adaptados exclusivamente aos clientes: “[...] *the same large number of customers can be reached as in mass markets of the industrial economy, and simultaneously [...] be treated individually as in the customized markets of preindustrial economies*”<sup>29</sup> (DAVIS, 1987, p. 177).

A Customização em Massa não é a disponibilização de produtos variados, mas a participação do consumidor na definição ou especificação de características desses produtos. Ou seja, não são ofertados apenas produtos, mas a capacidade de transformá-los, ou defini-los a partir de possibilidades previamente disponibilizadas. Isso quer dizer que o fornecedor deve definir quais atributos ou características do produto podem ser customizadas, obrigando-o a uma

---

<sup>29</sup> [...] o mesmo grande número de clientes pode ser alcançado como nos mercados de massa da economia industrial e simultaneamente [...] ser tratado individualmente como nos mercados personalizados das economias pré-industriais. (Tradução livre)

abordagem voltada ao cliente, e não voltada ao mercado e ao produto, como geralmente ocorre (MACHADO; MORAES, 2010).

*Enquanto os praticantes da Produção em Série partilham metas comuns de desenvolvimento, produção, comercialização e entrega de mercadorias e serviços a preços baixos o suficiente para que quase todos tenham acesso a eles, os praticantes da Customização Maciça partilham metas de desenvolvimento, produção, comercialização e entrega de produtos e serviços disponíveis com suficiente variedade e personalização para que quase todos encontrem exatamente o que querem. (PINE, 1994, p. 48).*

Na Customização em Massa, a eficiência da produção em série é associada à possibilidade de adaptação, frequentemente identificada como *Build to order*, *make to order*, *assemble to order*, *configure to order*, *engineer to order*, evidenciando a produção a partir da demanda. Assim, se, no Fordismo, antecipasse o desejo do consumidor, na Customização em Massa, o produto surge dele, mas exige grandes esforços, de modo a projetar e documentar para que todas as solicitações sejam atendidas (GARDNER *apud* AZUMA, 2016).

A aplicação da Customização em Massa tem sido facilitada ou mesmo viabilizada graças às tecnologias da Informação e Comunicação (TICs), e aos processos *Computer Aided Design (CAD)* e *Computer Aided Manufacturing (CAM)* (PINE, 1994), permitindo um diálogo melhor com os consumidores, facilitando modificações, produzindo rapidamente novos produtos e fabricando-os com uma agilidade nunca vista antes (PINE, 1994). Para uma máquina de fabricação digital, como uma *Router Computer Numerical Control (CNC)*, é tão fácil e econômico produzir 1000 objetos diferentes quanto produzir 1000 objetos idênticos (KOLAREVIC, 2005).

Segundo Yolovich, o que distingue a Customização em Massa da simples customização é a integração de sistemas informatizados de concepção e produção, permitindo uma produção flexível, viabilizando produtos exclusivos para cada cliente de maneira rápida e sem custos adicionais (YOLOVICH *apud* BARDAKCI; WHITELOCK, 2003)

Piller (2009) sugere três recursos comuns que determinarão a capacidade fundamental de uma empresa se beneficiar do pensamento de personalização em massa:

1. Um personalizador em massa deve identificar primeiro as necessidades idiossincráticas de seus clientes. Quando essas informações são conhecidas e entendidas, uma empresa pode definir o limite de onde estará a solução, delineando claramente o que oferecerá e o que não oferecerá.

2. Um personalizador em massa precisa garantir que uma maior variabilidade nos requisitos dos clientes não prejudique significativamente as operações e a cadeia de suprimentos da empresa. Isso pode ser alcançado por meio de um *design* de processo robusto – ou seja, a capacidade de reutilizar ou recombinar os recursos organizacionais e da cadeia de valor existentes – para oferecer soluções personalizadas com eficiência e confiabilidade na produção em massa.

3. Um personalizador em massa deve apoiar os clientes na identificação de seus próprios problemas e soluções, minimizando a complexidade e a carga de escolha. É importante lembrar que, quando um cliente é exposto a inúmeras opções, o custo para avaliar essas opções pode facilmente superar o benefício adicional da multiplicidade de alternativas. A síndrome resultante foi chamada de "*paradoxo da escolha*", na qual muitas opções podem realmente reduzir o valor do cliente em vez de aumentá-lo. Em tais situações, os clientes podem adiar suas decisões de compra e, pior, classificar o fornecedor como difícil e indesejável. Para evitar isso, uma empresa pode fornecer opções de navegação para simplificar as maneiras pelas quais as pessoas exploram suas ofertas.

No entanto o mesmo autor (PILLER, 2010) lembra que personalização em massa não exige, necessariamente, grandes quantidades de produtos exclusivos, mas produtos personalizados podem ser produzidos em grandes quantidades para um cliente individual. Isso acontece frequentemente no mercado industrial, quando, por exemplo, um fornecedor disponibiliza um componente personalizado que é integrado a um produto.

Piller (2010) também busca diferenciar os termos Customização em Massa e Personalização. Para ele, Personalização em massa significa criar processos e recursos para alinhar uma organização às necessidades de seus clientes. A oferta resultante pode ser chamada de oferta personalizada na perspectiva do cliente.

Raulas (2006, *apud* PIROOZFAR, 2013) sugere que a customização é um elemento de personalização e mostra como diferentes fases da personalização (interação com o cliente, análise de dados do cliente, customização com base no perfil do cliente e direcionamento das atividades de *marketing*) estão vinculadas. Isso, no entanto, não invalida o fato de que a customização depende muito da colaboração entre cliente e empresa.

Se Henry Ford imaginava que todos teriam carros iguais, hoje personaliza-se os carros da Ford em sua página *web*, alterando características como potência do motor, acabamentos e complementos. Mas a Customização em Massa atinge outros setores, como diferentes setores das indústrias de produtos e serviços (PINE, 1994).

Pine (1994) estabelece cinco métodos para alcançar a Customização em Massa. A saber:

**Personalizar serviços em torno de produtos e serviços padronizados:** sem afetar o *design* ou a produção, a personalização se dá na entrega do produto.

**Criar produtos e serviços customizáveis:** trata-se de produtos idênticos, mas com usos customizáveis.

**Prover pontos de entrega de customização:** o produto é adaptado no momento em que é adquirido no ponto de venda.

**Fornecer respostas rápidas por toda a cadeia de valor:** promover uma resposta rápida, “até mesmo instantânea, aos desejos dos consumidores” (p.203), reduzindo os ciclos de desenvolvimento, produção, *marketing* e distribuição.

**Modularizar componentes para customizar produtos finais e serviços:** criação de componentes modularizados que possam ser combinados em uma larga gama de produtos finais e serviços.

Lampel e Mintzberg (1996) estabelecem uma relação gradativa, inversamente proporcional entre estandardização e customização, a partir de cinco colunas que vão da estandardização pura à customização pura:

**Estandardização pura:** o modelo Fordista.

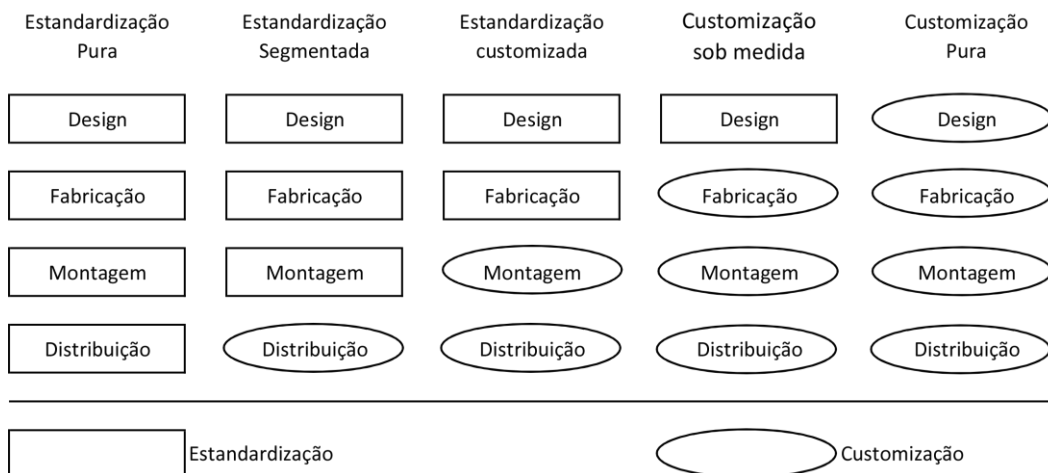
**Estandardização segmentada:** diferentes produtos para diferentes consumidores, mas opções de modificação desses produtos. Como, por exemplo, as ações de Alfred Sloan na GM.

**Estandardização customizada:** produtos cujos componentes podem ser combinados de maneiras diferentes, ou que oferecem adicionais ou acabamentos variados que podem ser escolhidos a partir de um catálogo.

**Customização sob medida:** um produto que pode ser efetivamente adaptado a um cliente específico, como uma roupa. Aqui, a personalização trabalha antes da fabricação, mas não antes do *design*.

**Customização pura:** Quando a criação, o *design* e a fabricação são adaptados a um consumidor específico.

Quadro 7 – Relação gradativa entre estandardização e customização.



Fonte: Lampel; Mintzberg, 1996.

Gilmore e Pine (1997) identificaram quatro abordagens distintas para enfrentar a questão: Colaborativa, Adaptativa, Cosmética e Transparente. Em alguns casos, apenas uma abordagem será aplicável, em outros, será feita uma combinação delas.

A abordagem Colaborativa é a mais frequente na Customização em Massa; nela, mantém-se um diálogo com clientes individuais para ajudá-los a articular suas necessidades, identificar a oferta precisa que atende essas necessidades e criar produtos personalizados para eles.

Já a Adaptativa oferece um produto padrão, mas personalizável, projetado para que os usuários possam alterá-lo. A abordagem Adaptativa é apropriada para empresas cujos clientes desejam que o produto funcione de maneiras diferentes em diferentes ocasiões, e a tecnologia disponível permite que eles personalizem o produto facilmente por conta própria.

A abordagem Cosmética é aplicada quando um produto padrão é apresentado de maneiras diferentes para diferentes clientes. Ou seja, trata-se do mesmo produto, mas entregue, empacotado ou mostrado de maneiras distintas. Por exemplo, quando o nome do cliente é impresso na embalagem. Embora não haja uma efetiva personalização do produto, essa abordagem tem significativo impacto na economia.

Por fim, a abordagem Transparente fornece aos clientes produtos ou serviços exclusivos, sem que eles saibam explicitamente que foram personalizados para eles. É apropriada quando as necessidades específicas dos clientes são previsíveis ou podem ser facilmente deduzidas, e especialmente quando os clientes não desejam declarar suas necessidades repetidamente. Personalizadores transparentes observam o comportamento dos clientes sem interação direta e personalizam discretamente suas ofertas em um pacote padrão.





Os mesmos autores listam a seguinte sequência de quatro etapas que descreve as atividades envolvidas no estabelecimento de um *link* de comunicação cliente-fabricante (DA SILVEIRA; BORENSTEIN; FOGLIATTO, 2001).

**Passo 1: Definir um catálogo de opções que serão oferecidas aos consumidores:** o catálogo de opções define o grau de customização. Quanto mais personalizável, maior o catálogo. As opções do catálogo podem ser definidas com base em análises do passado do consumidor.

**Passo 2: Coletar e armazenar informações sobre as escolhas dos clientes:** as informações podem ser coletadas por um vendedor ou um funcionário treinado para guiar o cliente no processo de decisão. Essas informações também podem ser coletadas por meio de uma interface digital, com um mínimo de interferência humana.

**Passo 3: Transferência de dados da loja para o fabricante:** a internet tem sido um meio importante na transferência de informações. O sistema deve gerar um identificador para que o cliente possa rastrear seu produto.

**Passo 4: Traduzir as escolhas dos clientes em instruções de *design* e de fabricação do produto:** O sistema CAD/CAM tem sido fundamental nesse diálogo em ambientes informatizados. O sistema CAD permite que os usuários criem suas variações no produto, executadas pelo sistema CAM.

Percebe-se que a modularidade descrita por Pine (1994) facilita a combinação de componentes intercambiáveis variados. A modularidade também permite que esses componentes sejam fabricados em larga escala, em uma produção repetida, produzidos com técnicas de fabricação em massa, apropriando-se da economia em escala e obtendo conseqüente redução de custo, com velocidade de produção e de entrega (AZUMA, 2016).

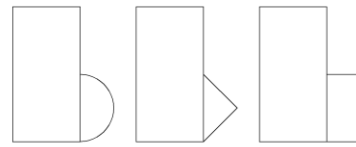
Pine (1994) organiza a modularidade em seis tipos:

1. **Modularidade por compartilhamento de componentes:** o mesmo componente é usado em diferentes produtos. Essa modularidade não resulta em uma efetiva personalização, mas permite redução de custos.
2. **Modularidade por permuta de componentes:** nesta modularidade, há completo compartilhamento de componentes, em que diferentes componentes se ajustam ao produto básico, criando tantos produtos quantos componentes houver.
3. **Modularidade por ajuste de componentes:** modularidade similar às anteriores, porém um ou mais componentes são continuamente variáveis.
4. **Modularidade por mix:** nesta modularidade, há componentes combináveis que transformam o produto final.
5. **Modularidade por bus:** esta modularidade utiliza uma estrutura que permite receber diferentes componentes dentro de um limite mínimo e máximo.
6. **Modularidade seccional:** permite a colocação e combinação de qualquer quantidade de componentes de maneira arbitrária. Trata-se da opção com maior grau de customização.

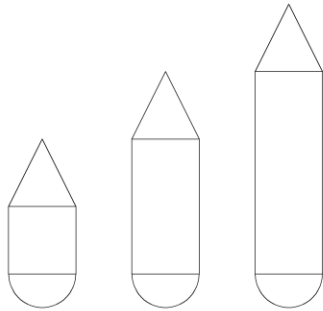
Figura 18 – Tipos de modularidade.



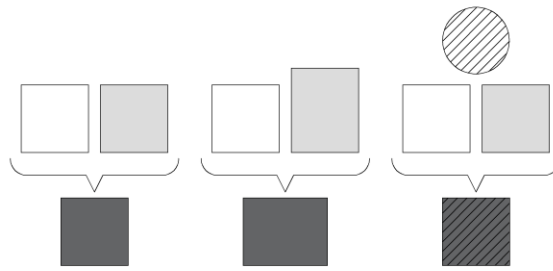
**Modularidade por compartilhamento de componentes**



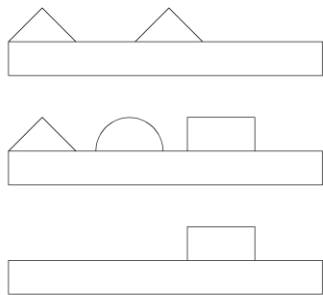
**Modularidade por permuta de componentes**



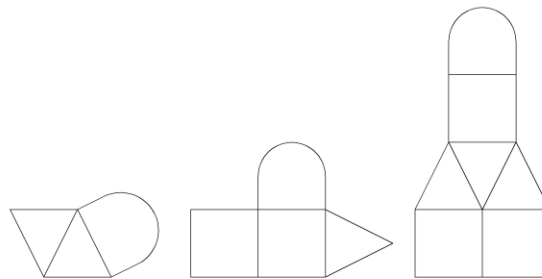
**Modularidade por ajuste de componentes**



**Modularidade por Mix**



**Modularidade por Bus**



**Modularidade seccional**

Fonte: PINE, 1994.

#### 4.1. Customização em Massa Aplicada à Arquitetura

Piroozfar (2013) reconhece que a indústria da construção é menos receptiva a novas ideias e conceitos emergentes que outros setores industriais, sendo, assim, lenta para abraçar mudanças. No entanto Bechthold (2013) afirma que a busca por uma maior variedade de produtos vem aumentando em diferentes setores de produção, inclusive na Arquitetura.

Já Kendall (2013) afirma que a customização da habitação é intrínseca à própria ideia de moradia e que sempre há um equilíbrio entre as decisões coletivas e a dos habitantes individuais. No entanto investidores, agências governamentais e até associações civis evitam a possibilidade de customização por acreditarem em sua ineficiência e por acharem que está fora de seu controle. Todavia, sem a customização, o ambiente cotidiano não pode ser saudável.

Kendall (2013) segue afirmando que a customização de construções arquitetônicas em massa difere de produtos industrializados como automóveis. O autor defende que a integração, ou centralização, de decisões que traz eficiência a uma planta industrial não se aplica à construção de edifícios, cuja complexidade demanda tomadas de decisão distribuídas entre os envolvidos.

Bechthold (2013) também reconhece a diferença entre edifícios e outros bens de consumo, principalmente condicionados por suas escalas e complexidades. Bens de consumo são produzidos de maneira controlada em plantas industriais, enquanto edifícios são combinações de muitos componentes agrupados em um canteiro de obra. No entanto o mesmo autor defende que a industrialização é fundamental para a customização em massa da Arquitetura, pois só assim é possível garantir um padrão de qualidade e uma efetiva adaptação racionalizada e eficiente. Assim, a tarefa no canteiro de obras deve ser de mera montagem, deixando a customização para as fases de *design* e, eventualmente, de produção dos componentes. Mas, para Bechthold (2013), isso só é possível se contarmos com um sistema de coordenação modular.

Como já defendia Oliveri (1972), uma efetiva coordenação modular pode facilitar a personalização da arquitetura, permitindo a combinação de diferentes componentes, produzidos industrialmente por diferentes empresas. Quanto maior a quantidade de componentes mais variadas podem ser suas combinações.

Duarte (2019) afirma que a coordenação modular deve atuar em níveis de questões arquitetônicas. Deve-se considerar um nível mais baixo dos materiais e componentes, como pisos, paredes, portas, janelas etc. Esses componentes formariam ambientes que, por sua vez, comporiam edifícios e estes, por fim, comporiam espaços urbanos. Assim, a definição de um sistema de coordenação modular deve considerar não apenas a combinação de componentes de fabricantes diferentes, mas seu impacto nas definições formais e espaciais do edifício e da cidade.

Para Kieran e Timberlake (2004) deve haver uma maior integração entre os agentes envolvidos, buscando um melhor diálogo entre Arquitetura, Engenharia e produção, como já acontece em indústrias como a aeroespacial, a naval e as automobilísticas. Logo, processos muito hierarquizados não conseguem atender eficientemente a complexidade das demandas contemporâneas. Os mesmos autores reconhecem a enorme importância das TICs e dos sistemas CAD/CAM para que essa integração possa acontecer efetivamente.

Kolarevic (2019) lembra que há resistência na adoção da customização da arquitetura, que pode ser atribuída à ideia generalizada de que quanto mais personalizado mais caro custa. Ou seja, a ideia da economia em escala ainda está presente no imaginário coletivo tanto de usuários quanto de produtores de edifícios.

Kolarevic problematiza essa ideia, reconhecendo o impacto das ferramentas digitais. Ele afirma que, de uma perspectiva puramente tecnológica, a personalização em massa é perfeitamente adequada para o setor imobiliário. Em vez de casas idênticas, poderiam ser ofertados produtos únicos e altamente personalizados e disponibilizados para segmentos mais amplos da sociedade, e

não apenas para os mais ricos. Isso é possível graças às tecnologias atuais, que permitem entregar economicamente casas altamente personalizadas, com *design* paramétrico, fabricação digital, *sites* interativos para *design*, visualização, avaliação e estimativa com a geração automática de dados de produção e montagem (KOLAREVIC, 2019).

Assim, os desafios não são tecnológicos, são sociais e culturais. Precisamos estimular o interesse do mercado por casas customizadas e criar modelos de negócios apropriados, que tornariam a customização acessível à sociedade em geral.

O que torna a customização de casas em massa particularmente atraente é que ela poderia oferecer heterogeneidade homogênea na escala da vizinhança, preservando o senso geral de unidade estilística ou formal do conjunto, mas com *layouts* e geometrias muito variados (KOLAREVIC, 2019).

Após a personalização inicial da geometria geral da casa, é provável que os clientes se interessem pela personalização adaptativa posterior, conforme mudanças na composição familiar e dinâmicas cotidianas. A customização contínua ou adaptativa, no entanto, pode ser consideravelmente menos exigente que a customização inicial, dependendo do nível de customização que o sistema permitiria. Portanto, qualquer sistema que tenha como objetivo fornecer a capacidade de alterar interativamente a geometria da casa deve considerar não apenas as necessidades do momento de sua construção, mas também mudanças posteriores (KOLAREVIC, 2019).

A revisão bibliográfica traz à tona fundamentos para a definição de soluções para customização em massa de edifícios, que podem ser sumarizados nos seguintes itens: integração dos agentes envolvidos (usuários, designers, fabricantes, montadores) por meio de ferramentas de diálogo digitais (*sites* interativos, sistemas BIM, CAD/CAM etc.); componentes construtivos industrializados, quer sejam peças idênticas quer sejam customizáveis por meio de fabricação digital; e soluções de coordenação modular que permitam a integração de fornecedores

diferentes, além de permitir a composição de componentes customizados com outros produzidos em série.

### José Pinto Duarte e a Quinta da Malagueira de Siza Vieira

José Pinto Duarte (2001) estudou a aplicação da customização em massa na arquitetura em seu doutorado, desenvolvido no Massachusetts Institute of Technology (MIT) e defendido em 2001. Intitulado *Customizing Mass Housing: A Discursive Grammar for Siza's Malagueiras Houses*, apresenta uma proposta de análise do projeto do arquiteto Álvaro Siza Vieira para a Quinta da Malagueira, em Évora, Portugal, na qual propõe uma ferramenta digital de customização a partir da análise dessa arquitetura pela gramática da forma.

O projeto da Quinta da Malagueira em Portugal foi desenvolvido pelo arquiteto Álvaro Siza Vieira e seus colaboradores a partir dos anos 1970, no âmbito do programa do Serviço Ambulatório de Apoio Local (SAAL), em parceria com as cooperativas de moradores que foram responsáveis pela promoção da urbanização. Trata-se de uma expansão da cidade de Évora, que abriga 1200 habitações. Foram projetadas 35 plantas distintas, de um a cinco quartos, para unidades compreendidas em lotes retangulares.

Em um momento de valorização de processos participativos na produção de habitação, Siza Vieira compreendeu bem esse contexto e *“He used this scheme to incorporate into the design process the users desire for a unique house. The scheme was composed of a set of design rules that were used by Siza or his collaborators to design customized houses”*<sup>30</sup> (DUARTE, 2001, p. 30).

No entanto, como assinala Duarte, a dificuldade em se transmitir regras de organização dos espaços a outros projetistas, a dificuldade de representação das soluções possíveis aos futuros moradores e a incapacidade de plena incorporação

---

<sup>30</sup> Ele usou esse esquema para incorporar no processo de design que os usuários desejam uma casa única. O esquema era composto por um conjunto de regras de design usadas por Siza ou seus colaboradores para projetar casas personalizadas. (Tradução livre)



do potencial de personalização criaram limitações para a completa apropriação da proposta imaginada por Siza Vieira (DUARTE, 2007).

O trabalho de Pinto Duarte busca superar essas limitações, oferecendo uma maneira de explicitar as regras de Siza Vieira, facilitando a interação com os usuários por meio de um programa de computador. Duarte decodifica a proposta arquitetônica pela gramática da forma, permitindo variações a partir das regras desenvolvidas por Siza Vieira. Assim, Duarte se apropria da gramática da forma a partir do projeto de Siza Vieira para conceber uma solução de customização de edifícios em massa.

O autor divide os objetivos em três argumentos:

- Explicitação das regras imaginadas por Siza Vieira e seus colaboradores através da gramática da forma;
- Criação de um programa de computador que permitiria que outras pessoas se apropriassem do sistema criado por Siza Vieira de maneira mais efetiva;
- A gramática da forma aliada a um programa de computador e outras ferramentas digitais como prototipagem rápida e realidade virtual poderia facilitar a intervenção do usuário, permitindo a customização das unidades.

Assim, Duarte almeja dois objetivos: primeiro, gerar novos projetos. Segundo “*was to find how designers used the grammar to generate such designs*”<sup>31</sup> (DUARTE, 2007, p. 235).

Na primeira experiência, a gramática da forma foi usada de maneira analítica, para compreensão da casa do tipo F, uma variação criada por Siza Vieira já em 1999, que não tinha sido incluída no *corpus* da pesquisa. A segunda experiência, chamada de sintática, foi a criação aleatória de uma unidade de cinco quartos, com o pátio para os fundos, pelo próprio José Pinto Duarte, com a verificação dos arquitetos Siza Vieira e Nuno Lopes. A terceira e a quarta experiências, chamadas

---

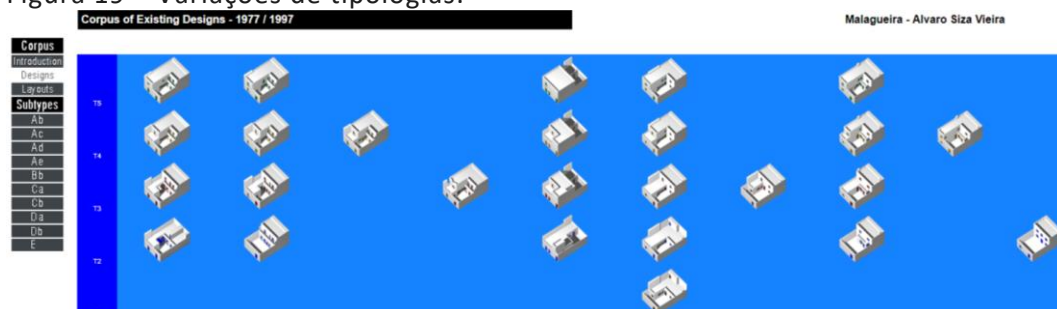
<sup>31</sup> foi descobrir como os designers usavam a gramática para gerar esses projetos. (Tradução Livre)

de objetivas, visavam atender demandas de clientes a partir da gramática da forma.

A terceira experiência contou com uma família (um casal com dois filhos), uma arquiteta e uma engenheira que não tinham familiaridade com a gramática, um grupo de estudantes e, por fim, Siza Vieira, que verificaria os resultados. Já a quarta experiência, bastante similar à terceira, contava com a participação de mais famílias, agora não portuguesas, quatro equipes do projeto e Siza Vieira, que verificou os resultados. A quarta experiência verificou a possível colaboração de diferentes projetistas na utilização da gramática da forma. Também analisou como a gramática respondia satisfatoriamente ao confronto entre personalização e inserção em um contexto urbano. Por fim, estudou a interação entre cliente e projetistas.

As experiências mostraram que a gramática atendeu satisfatoriamente aos testes analítico e sintático, explicando um projeto posterior de Siza Vieira e gerando novas propostas arquitetônicas. No entanto as experiências três e quatro mostraram que, embora projetistas não familiarizados com a gramática conseguiram usá-la, gerando resultados satisfatórios, um maior número de regras, poderiam atender melhor a demanda por personalização. Também se concluiu que uma interação dinâmica com o cliente poderia superar questões mal definidas de demandas que prejudicam a personalização das unidades. Foi a partir dessas experiências que o autor desenvolveu a gramática discursiva, respondendo essas demandas.

Figura 19 – Variações de tipologias.



Fonte: [http://home.fa.utl.pt/~jduarte/malag/Corpus/corpus\\_Open.html](http://home.fa.utl.pt/~jduarte/malag/Corpus/corpus_Open.html).

A proposta de José Pinto Duarte busca conciliar as características sintáticas compreendidas na Gramática da Forma com questões semânticas fundamentais para a arquitetura por meio de um processo que visa traduzir para uma linguagem computacional um raciocínio arquitetônico de atendimento de demandas qualitativas. A quantidade de combinações possíveis foi estimada na casa dos bilhões por Duarte, comprovando sua pertinência no atendimento de demandas variadas em um caso de customização em massa.

#### 4.2. Exemplos

Kolarvic (2015) menciona casos de *design* customizáveis maciçamente, como as mesas de Gramazio e Kohler, cujo *design* paramétrico poderia ser modificado por intermédio de um aplicativo de celular e, posteriormente, fabricado em uma router CNC. Kolarvic identificou esse exemplo como um caso de co-design, embora os designers tenham definido regras claras, além de materiais e método de fabricação.

Figura 20 – Mesas paramétricas de Gramazio e Kohler.

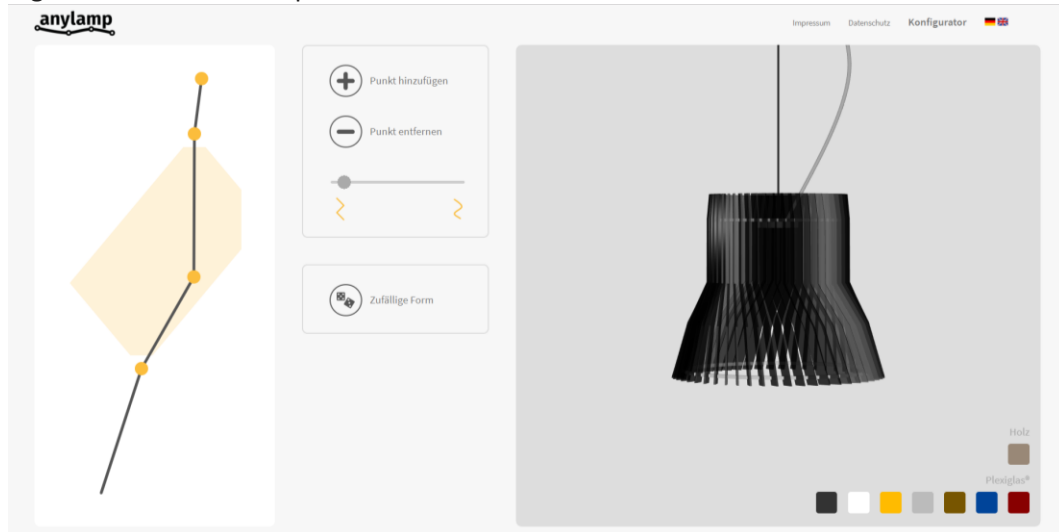


Fonte: KOLAREVIC, 2015.

Outro exemplo que se apropria de um *site* interativo, *design* paramétrico e fabricação digital é o caso da *anylamp.de*, em que luminárias criadas a partir de perfis compostos radialmente têm seu formato alterado pelos usuários dentro de limites restritos; pode-se escolher entre um perfil de curvas suaves ou segmentos

de retas. Em ambos os casos, pontos distribuídos ao longo desses eixos podem ser movimentados, adicionados ou removidos, modificando o formato da luminária.

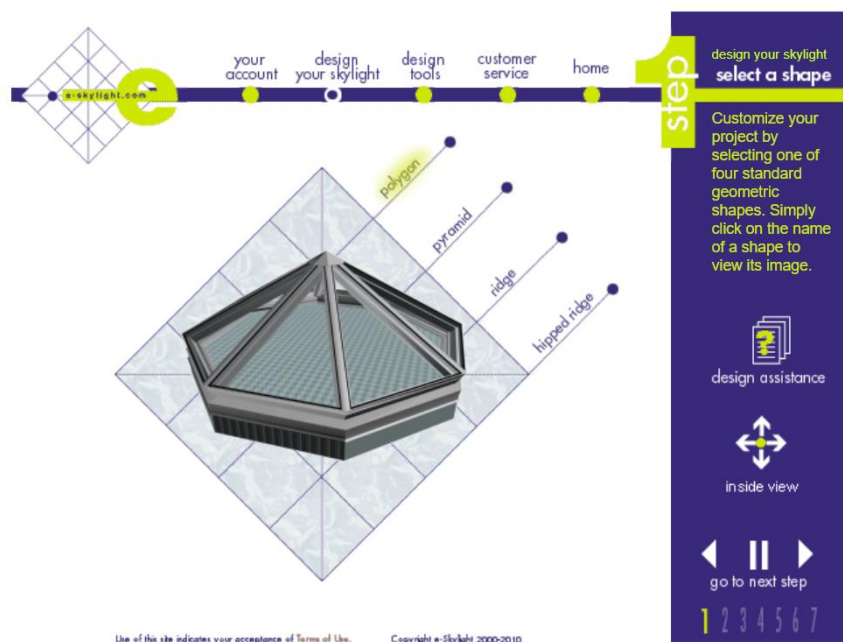
Figura 21 – Luminária personalizável.



Fonte: <http://www.anylamp.de/>

No *site* e-skylight.com, é possível personalizar uma claraboia, alterando sua geometria dentro de quatro opções principais (poligonal, piramidal, duas águas ou quatro águas). Em seguida, são oferecidas opções de modificação como dimensões, inclinações, cores e acabamentos.

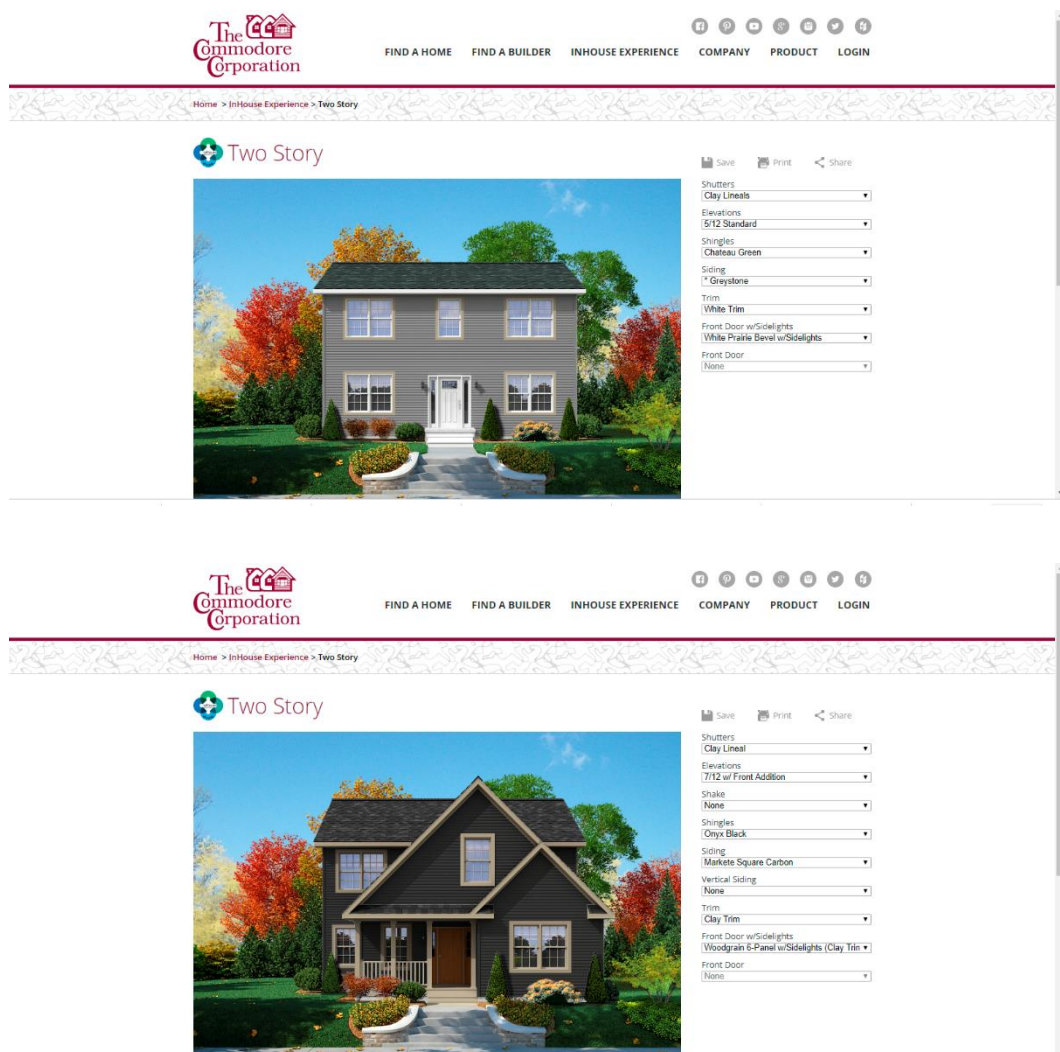
Figura 22 – Claraboia personalizável.



Fonte: <http://www.e-skylight.com/home.php3>

Outro caso é o *The Commodore Corporation*, que permite alterar a fachada de uma casa a partir da combinação de uma série de opções. São ofertadas opções de cobertura, cor e tipo de revestimento externo, cor e tipo de caixilhos, portas e venezianas, cor e tipo de telhas. Embora exista uma modificação na geometria da fachada, esse exemplo não oferece uma modificação substancial da arquitetura, como, por exemplo, dimensionamento e quantidade de cômodos.

Figura 23 – Fachadas personalizáveis.



Fonte: <https://www.commodorehomes.com/experience?hc=2>

Autores como Kolarevic (2015) e Friedman, Sprecher e Mohammed (2013) identificam outros exemplos, como *Blu Homes* (<https://www.bluhomes.com/>), *Connect-Homes* (<http://connect-homes.com/>) e *Living Homes* (<https://www.livinghomes.net/>). No entanto, no momento da redação deste trabalho, nenhuma dessas empresas oferecia serviço de personalização *on-line*.

## 5. Experimento Construtivo

A concepção da estratégia algorítmica de apropriação da customização em massa na arquitetura, dependeu uma solução arquitetônica e construtiva. Assim, uma pesquisa paralela em fabricação digital aplicada à arquitetura desenvolvida por diversos pesquisadores entre eles o autor do presente trabalho foi tomada como objeto de aplicação do algoritmo, uma vez que oferecia característica bastante adequadas à customização em massa, como a modularidade e a produção controlada de componentes de controle numérico computadorizado (CNC).

Em 2009, o grupo de pesquisa Teoria e Projeto na Era Digital (TPED)<sup>32</sup>, da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) da Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM), concorreu, em parceria com outras instituições, a uma chamada pública do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) e da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), cujo tema era saneamento ambiental e habitação. O objetivo geral da chamada era “Selecionar propostas para apoio financeiro a projetos de pesquisa científica, tecnológica e inovação nas áreas de Saneamento Ambiental e de Habitação, por meio da formação de Redes Cooperativas de Pesquisa nos temas prioritários definidos nesta Chamada Pública”<sup>33</sup>.

Entre os objetivos específicos, pedia-se “Contribuir para o uso de novas tecnologias construtivas no âmbito do Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV”; “promover a pesquisa científica e tecnológica e a inovação que contribuam para a melhoria das condições de saneamento e de habitação”; “promover o desenvolvimento de soluções inovadoras aplicáveis ao saneamento ambiental e à habitação”; propiciar a articulação entre Instituições Científicas e Tecnológicas – ICTs e organizações atuantes nas áreas de saneamento ambiental e de habitação; promover a atuação integrada de ICTs em torno das áreas e temas prioritários definidos nesta Chamada Pública.

---

<sup>32</sup> Formado em 2005 pelos professores pesquisadores Eduardo Sampaio Nardelli e Charles de Castro Vincent, passou a contar com a participação do autor do presente trabalho em dezembro de 2014.

<sup>33</sup> <https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/programas-e-linhas/historico-de-programas/prosab/saneamento-e-habitacao-versao-final.pdf>

Além disso, a chamada foi dividida em duas áreas e temas prioritários: a primeira, dedicada ao saneamento ambiental, que pretendia apoiar pesquisas relacionadas ao tratamento de águas para consumo, provenientes de esgotos, de aterros sanitários e fossas sépticas. Já a segunda, dedicada a apoiar pesquisas relacionadas à habitação, com as seguintes subáreas: “soluções inovadoras em tecnologia da informação e comunicação aplicadas à construção” (tema 2.1); “desenvolvimento de tecnologias inovadoras para o uso racional de água, geração de energia renovável e aumento da eficiência energética na habitação de interesse social” (tema 2.2); “desenvolvimento de métodos de ensaio e metodologias para avaliação de desempenho de tecnologias inovadoras” (tema 2.3); “desenvolvimento e aperfeiçoamento de soluções tecnológicas, especificamente máquinas, equipamentos e recursos de informática, aplicadas à produção e à montagem de componentes e de sistemas construtivos” (tema 2.4).

A UPM, por meio do TPED e em parceria com a Universidade de São Paulo, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, a Universidade Federal do Ceará, a Universidade Federal do Paraná, a Universidade Federal da Bahia e a Universidade Estadual de Campinas, consegue o apoio financeiro da chamada, cabendo a cada instituição um ou mais temas do edital.

Ao TPED couberam dois temas:

*Tema 2.1: desenvolvimento de soluções inovadoras em tecnologia da informação e comunicação aplicadas à construção, visando à melhoria da qualidade e produtividade do segmento da habitação de interesse social, com destaque para: Building Information Modeling (BIM) e outras soluções para suporte ao processo de gerenciamento de projetos; simulação de desempenho; e operação de edificações.*

*Tema 2.4: desenvolvimento e aperfeiçoamento de soluções tecnológicas, especificamente máquinas, equipamentos e recursos de informática, aplicadas à produção e à montagem de componentes e de sistemas construtivos para a habitação de interesse social, que assegurem a coordenação modular decimétrica e a conectividade no contexto da industrialização aberta.*

Assim, o trabalho do TPED se dividiu em duas frentes: a primeira, dedicada ao desenvolvimento de produção de uma biblioteca de objetos/componentes digitais para utilização em sistemas BIM, em projetos HIS, em áreas urbanas de ocupação

irregular; e a segunda, dedicada ao estudo de uma solução em fabricação digital para a produção HIS, a partir dos critérios do PMCMV. Em função dos prazos e das dificuldades específicas de cada tema, as duas frentes se desenvolveram independentemente, não se relacionado.

Os recursos foram utilizados para a organização de um laboratório em um espaço existente da UPM, com a reforma do espaço e a aquisição de computadores com as características técnicas de *hardware* e *software* adequadas à tarefa. Os recursos também foram utilizados para a aquisição de uma Fresadora CNC e reforma de um espaço para abrigá-la. Também foram oferecidas bolsas de estudos a alunos da graduação que quisessem se envolver na pesquisa.

No final 2013, os laboratórios e equipamentos já estavam instalados, e o grupo de pesquisa se organizava para iniciar os trabalhos, com a seleção de alunos e a identificação de pesquisas similares de outras instituições nacionais e internacionais que ajudassem na definição de objetivos concretos e metodologias de pesquisa.

Assim, o presente trabalho é um desdobramento dos resultados das pesquisas dedicadas a atender o tema 2.4 da chamada do MCT/FINEP.

### 5.1. Fabricação digital subtrativa

A decisão pela compra da Fresadora CNC não se deu a partir de uma pesquisa que o grupo já vinha desenvolvendo, mas por se tratar da tecnologia mais viável naquele momento para a produção de um modelo em escala real e plenamente funcional de uma unidade de habitação inspirada nos padrões do PMCMV.

Fresadoras e outros tipos de máquinas de corte por controle numérico (CN) são utilizadas há décadas, antes mesmo do advento do computador. O desenvolvimento das máquinas de controle numérico (CN) começou no final dos anos 1940, bastante estimulado pela Força Aérea dos Estados Unidos da América, que demandava da indústria aeronáutica a produção de peças complexas mais baratas, mais rápidas e mais precisas do que as produzidas pelos métodos



convencionais. Portanto, a Força Aérea financiou provas de viabilidade e estudos de máquinas-ferramentas que poderiam executar o corte automatizado de contornos (ARNOLD, 2001).

Sob a liderança do engenheiro John T. Parsons, da Parsons Corporation, e apoio do professor Gordon S. Brown do *Servomechanisms Laboratory* do MIT, entrou em operação a primeira máquina experimental CN de corte com três eixos em março de 1952 e foi apresentada ao público em setembro do mesmo ano no MIT (TEICHOLZ; ORR, 1987).

Se, a princípio, a indústria de fresadoras não se interessou por essa nova tecnologia, aos poucos, e com apoio da Força Aérea dos Estados Unidos e seu programa de disseminação de informação, algumas empresas começaram abraçar a ideia de produzir comercialmente essas máquinas (ARNOLD, 2001). No entanto preparar fitas de controle para as primeiras máquinas-ferramentas NC era um processo manual e demorado. Assim, a indústria passou a cobrar uma melhora desse processo, para que a produção fosse efetivamente vantajosa. Passou-se a pesquisar o uso de linguagens de programação, na tentativa de automatizar o diálogo com as máquinas de CN. Arnold Siegel desenvolveu uma linguagem processual que permitiu a redução de tempo de programação de uma máquina de oito horas para quinze minutos (FRANCIS, 1991).

Figura 24 – Máquina Milwaukee-Matic-II do final dos anos 1950.



Fonte: <https://www.cnccookbook.com/what-is-cnc-machining-and-cnc-machines/> (Acessado em 07/01/2020)

Embora pesquisas tenham sido desenvolvidas ao longo dos anos 1960 e 1970, associando computadores às fresadoras e efetivando a substituição da tecnologia de Controle Numérico (CN) pela de Controle Numérico Computadorizado (CNC), as vendas ficaram estagnadas a uma média pequena e estável até o final dos anos 1970 e início dos anos 1980, quando o surgimento dos microcomputadores e a efetiva separação entre *hardware* e *software* deram um impulso na demanda por essa tecnologia. Desde os anos 1990, vive-se uma terceira onda de desenvolvimento dessa tecnologia, com integração completa dos computadores aos meios de produção e à vida cotidiana, as TICs e a consolidação dos sistemas CAM (ARNOLD, 2001).

Se, na indústria de usinagem de peças, máquinas CNC já estão plenamente estabelecidas desde o final dos anos 1990, arquitetos começam a buscar maneiras de se apropriar das tecnologias digitais e do diálogo CAD/CAM para que novas soluções formais possam ser efetivamente construídas. Pode-se citar o *HtwoOexpo* (1997), do escritório NOX, o *Bubble Pavilion* (1999), do *Franken Architekten*, e o próprio Guggenheim Bilbao (1997), de Frank Gehry. Estes são alguns exemplos de como as máquinas CNC viabilizaram as geometrias sofisticadas que agora podiam ser descritas ou concebidas pelos microcomputadores popularizados nos escritórios de arquitetura.

Figura 25 – HtwoOexpo (1997) do escritório NOX.



Fonte: <https://www.nox-art-architecture.com/> (Acessado em 07/01/2020)

Se, nesses casos, a utilização da fabricação digital foi consequência das geometrias sofisticadas dessa arquitetura, no início do século XXI, arquitetos, estudantes e pesquisadores passam a tentar se apropriar de fato dessas máquinas CNC, que se popularizam principalmente no ambiente acadêmico, ambiente em que se procura desenhar a partir das potencialidades da ferramenta de fabricação.

No início dos anos 2000, universidades, centros de pesquisa, arquitetos e pesquisadores independentes passam a estudar as potencialidades da fabricação digital no *design* de edifícios.

São notórios os estudos de pavilhões temporários, como os *Summer Pavilions*, da *Architectural Association* (AA), desenvolvidos entre 2005 e 2009; o pavilhão da *Serpentine Gallery*, dos arquitetos Álvaro Siza Vieira e Eduardo Souto de Moura, de 2005; o *Kielder Shelter*, do *Sixteen\*(makers)*, em *Northumberland*, Inglaterra; o *Prototype Unit*, da *Manchester School of Architecture*, desenhado por Ming Chung e Nick Tyson; entre muitos outros casos (DUNN, 2012).

Figura 26 – AA Summer Pavilion de 2008.



Fonte: fotografia do autor.

Paralelamente a essas pesquisas essencialmente formais, outras potencialidades de fabricação digital, principalmente da usinagem com máquinas de corte controladas por computadores, também começam a ser exploradas. Lawrence Sass e Marcel Botha, ambos pesquisadores do MIT, desenvolveram, no início dos anos 2000, uma solução arquitetônica e construtiva que buscava uma resposta rápida e personalizável à demanda por habitação em situações de emergência derivadas de desastres naturais. A chamada *Instant House* é uma proposta de produção de habitações customizáveis em massa para áreas rurais, baseada em um projeto de arquitetura generativo, composto por peças de madeira compensada, usinadas em fresadores CNC. O objetivo é facilitar a adaptação do projeto às demandas individuais e facilitar a construção com componentes leves e precisos e de fácil montagem (SASS; BOTHA, 2006).

Figura 27 – *Instant House*.



Fonte: <http://cba.mit.edu/docs/reports/08.06.NSF/index.html>  
(Acessado em 07/01/2020)

O foco da proposta de Sass e Botha não é a execução de geometrias sofisticadas, mas outras possibilidades latentes em um sistema que aproxima os usuários da execução da própria casa, em um processo racionalizado que elimina intermediários, concretizando um discurso que remonta aos teóricos dos anos 1970, como Alexander, Friedman, Mitchel e Negroponte.

*Our approach to integrated wood joinery, takes advantage of available village labor by localizing building assembly [...] The most important benefit is that process lends itself to customization, embodying principles of lean production, flexible computer-integrated manufacturing strategies and reduced design cycle times, effecting rapid response times. In the long term our production system can be a direct instantaneous link between generative design and fabrication and evaluation systems. The end user can participate in this decision process, without incurring cost beyond the initial technological infrastructure (a CNC router and computer)<sup>34</sup>. (SASS; BOTHA, 2006, p. 112).*

Essa proposta era diferente da de casas pré-fabricadas tradicionais, completas ou montadas no canteiro, com maior controle de qualidade, mas pouco adaptáveis

---

<sup>34</sup> Nossa abordagem à marcenaria integrada de madeira tira proveito da mão-de-obra local disponível, localizando a montagem [...] da construção. O benefício mais importante é que o processo se presta à personalização, incorporando princípios de produção enxuta, estratégias flexíveis de fabricação integrada por computador e ciclo de projeto reduzido. vezes, efetuando tempos de resposta rápidos. A longo prazo, nosso sistema de produção pode ser um link instantâneo direto entre o projeto generativo e os sistemas de fabricação e avaliação. O usuário final pode participar desse processo de decisão, sem incorrer em custos além da infraestrutura tecnológica inicial (um roteador e computador CNC). (Tradução livre)

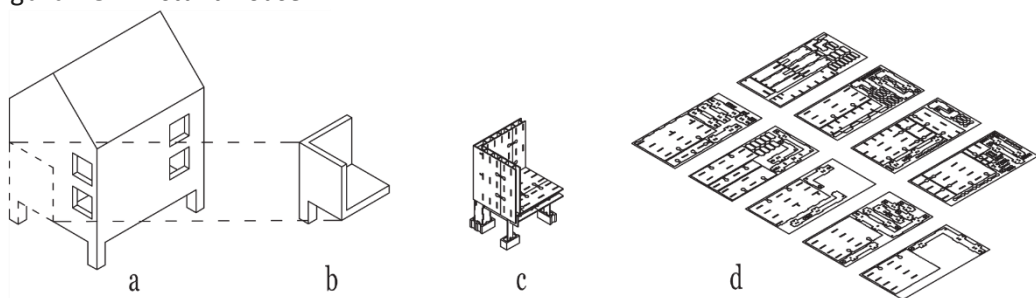


às realidades específicas, e diferente de casas construídas no local, que demandam mão de obra qualificada. O que Sass e Botha defendem é que a fabricação digital a partir da colocação de máquinas de corte CNC no canteiro pode garantir a qualidade dos componentes e permitir a adaptabilidade do projeto às necessidades locais e familiares, facilitando a participação dos futuros moradores no processo de projeto e construção, unindo mão de obra local com a tecnologia digital.

*We believe that design delivery with portable digital fabrication tools will simplify production and benefit rural construction with localized access to quality construction. Most important is that design variation of buildings shape, layout and structure in new construction is possible with this concept while maintaining factory quality component production. Our approach is to place precision digital fabrication machinery and computers onsite for a micro-manufacturing of building components<sup>35</sup>. (SASS; BOTHA, 2006, p. 121).*

A partir de uma gramática da forma própria para seu sistema construtivo, a *Instant House*, o sistema construtivo se baseia em uma série de componentes usinados combinados, formando um *wood frame*, batizado de *wood frame grammar*, concebido como um modelo tridimensional, subdividido em volumes menores, que, por sua vez, são subdivididos em peças planificáveis para corte na fresadora CNC (CAMPOLONGO, 2019).

Figura 28 – *Instant House*.

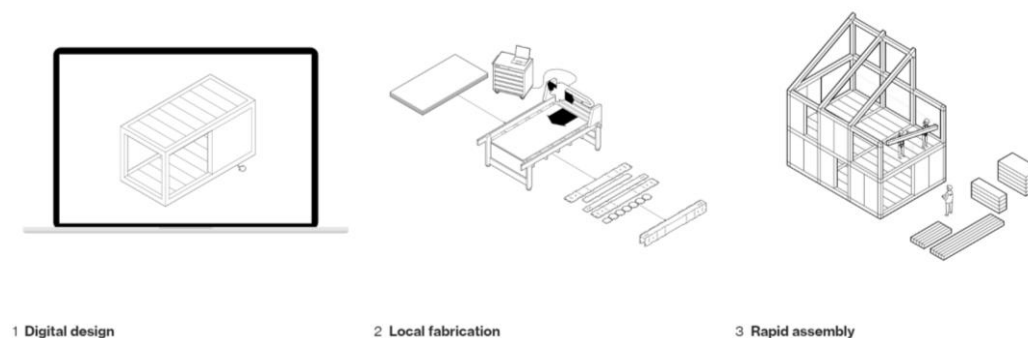


Fonte: SASS, 2006.

<sup>35</sup> Acreditamos que a entrega do projeto com ferramentas portáteis de fabricação digital simplificará a produção e beneficiará a construção rural com acesso localizado a uma construção de qualidade. O mais importante é que a variação do projeto da forma, layout e estrutura dos edifícios em novas construções seja possível com esse conceito, mantendo a produção dos componentes de qualidade da fábrica. Nossa abordagem é colocar máquinas e computadores de precisão de fabricação digital no local para uma micro-fabricação de componentes de construção. (tradução livre)

De forma similar à *Instant House*, a *Wikihouse*, concebida pelo arquiteto inglês Alastair Parvin e apresentada em 2011, propõe uma solução *Open Source*, que autoriza a qualquer pessoa a adaptar suas soluções arquitetônicas a partir de desenhos abertos e disponibilizados com uma licença do tipo *Creative Commons*. Com um discurso ainda mais participativo que a proposta de Sass e Botha, a *Wikihouse* se apresenta como “*digitally-manufactured building system. It aims to make it simple for anyone to design, manufacture and assemble beautiful, high-performance homes that are customized to their needs*”<sup>36</sup>. Salientando que se trata de uma tecnologia de fácil acesso, que reforça o caráter customizável da arquitetura a partir de um processo inteiramente informatizado, de fácil adaptação de desenho, execução e montagem.

Figura 29 – *Wikihouse*.



Fonte: <https://www.wikihouse.cc/About> (Acessado em 07/01/2020)

Com forte caráter colaborativo, a *Wikihouse* tem parceiros ao redor do mundo que contribuem com o desenvolvimento das soluções construtivas e possibilidades arquitetônicas derivadas dela, uma vez que se trata de uma solução com código aberto, com desenhos detalhados disponibilizados *on-line*. Assim, tornou-se a alternativa mais popular de solução construtiva baseada em fresadoras CNC (CAMPOLONGO, 2019).

<sup>36</sup> Disponível em <https://www.wikihouse.cc/About>. (Acessado em 19/11/2019)  
Um sistema de construção fabricado digitalmente. O objetivo é facilitar a criação, a fabricação e a montagem de casas bonitas e de alto desempenho, personalizadas de acordo com suas necessidades. (Tradução Livre)

Baseada em pórticos sucessivos de madeira compensada ou aglomerada, divididos em componentes usinados, a solução construtiva da *Wikihouse* é de fácil compreensão, facilitando sua promoção.

*O sistema proposto pela WikiHouse funciona com pórticos formados por peças de chapa de madeira compensada cortadas em fresadora CNC. As peças do pórtico são unidas por uma junção em “S”, e o pórtico duplicado com o sentido do “S” invertido para garantir rigidez à junção. Os travamentos entre pórticos são feitos com peças transversais que se cruzam por orifícios no pórtico e são fixadas com cunhas. Esse sistema trava a estrutura nas três direções sem fazer uso de parafusos, apenas com encaixes de peças de madeira compensada. Tem-se o esqueleto da estrutura que é contra ventado com a fixação de chapas de compensado de fechamento que se encaixam em abas da estrutura. (PASSARO; ROHDE, 2016, p. 29).*

A solução ainda permite maior versatilidade na relação com outros componentes como portas, janelas e revestimentos, priorizando o caráter personalizável. Além disso, o princípio de pórticos sucessíveis permite um crescimento contínuo da casa, deixando-a adaptável a adesão ou supressão desses pórticos.

*Os sistemas construtivos disseminados pela “WikiHouse”, têm como fundamentação permitir que qualquer pessoa possa montar a sua própria residência com um kit de móveis da IKEA . Para isso devem ser fáceis de montar, a partir conceito de friction-it, que possibilita a montagem e desmontagem do sistema sem a necessidade da utilização de pregos, parafusos e colas. (CAMPOLONGO, 2019, p. 81).*

Figura 30 – Exemplo *Wikihouse* – *World Maker Faire*, 2013.



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=zod8Rc2cijQ>  
(Acessado em 07/01/2020)



Em 2014, a então aluna do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro Clarice Rohde, orientada pelos professores Andrés Passaro e Marcos Silvano, desenvolveu, em seu trabalho final de graduação (TFG), uma versão brasileira de uma *Wikihouse*. Batizada de Casa Revista, foi construída com painéis de madeira compensada de 18 mm e usinados em uma fresadora CNC, montada em mutirão com alunos e professores (PASSARO; ROHDE, 2016).

A Casa Revista foi a primeira versão da *Wikihouse* e a primeira edificação com estruturas usinadas em uma fresadora CNC erigida na América Latina. Segundo a autora, o projeto buscou adaptar à realidade nacional uma solução concebida para outro contexto (PASSARO; ROHDE, 2016).

*O projeto Casa Revista, desenvolvido no laboratório, tem como objetivo propor uma atualização da produção independente de habitações, inserindo uma nova tecnologia construtiva e explorando seus potenciais. Baseado no sistema WikiHouse desenvolvido em Londres e de fonte aberta, o estudo busca seu abasileiramento, sua aclimatação e a solução de questões básicas que envolvem o morar. Para tal, foi construído um primeiro protótipo em escala real, a primeira WikiHouse da América Latina. Conseguimos assim atestar a sua aplicação prática como solução de moradia rápida e barata, aperfeiçoando a técnica e sua adaptação às condições locais. (PASSARO; ROHDE, 2016, p. 27).*

A geometria organizada a partir de uma cobertura em duas águas desencontradas para permitir uma ventilação cruzada, um grande alpendre e beirais largos foram soluções de tropicalização da proposta inglesa que comprovam a flexibilidade do sistema, contribuindo com a defesa da solução *Open Source*, que autoriza qualquer pessoa a fazer adaptações a partir de um projeto original *Wikihouse*. Clarice Rohde também defende esse caráter colaborativo de difusão do conhecimento, deixando seu trabalho igualmente disponível para futuras adaptações.

Figura 31 – Visita do TPED à Casa Revista em maio de 2015.



Fonte: acervo TPED.

A tecnologia subtrativa parecia a mais conveniente para as pesquisas que o grupo TPED pretendia desenvolver no momento, ou seja, o desenvolvimento de modelos funcionais em escala real. Outras tecnologias de fabricação digital como as formativas ou aditivas não pareciam adequadas pela falta de referência de casos similares, pela falta de equipamentos disponíveis no mercado ou pelo valor de investimento necessário para a aquisição ou o desenvolvimento de máquinas.

Em 2013, o grupo de pesquisa adquiriu, graças aos recursos da FINEP, uma Fresadora CNC montada no Brasil, da marca DS4. Trata-se uma máquina de três eixos (X, Y e Z), com mesa de 2000 mm por 3450 mm, apta a usinar madeiras, laminados, compensados e metais não ferrosos.

Figura 32 – Fresadora CNC adquirida com recursos da FINEP.



Fonte: acervo TPED.

Uma vez que a máquina pertencia ao grupo e não à universidade, o TPED tinha responsabilidade sobre seu uso. Assim, não poderia contar com a contratação de um técnico que operaria a máquina. Os professores e os alunos pesquisadores do grupo deveriam operá-la.

Após um hiato de indefinições de aproximadamente um ano, em 2015, foi organizado um *workshop* de treinamento para a utilização do *software* necessário para a geração do código necessário para a máquina interpretar os desenhos, o G-CODE, e operação da própria fresadora CNC.

Figura 33 – Treinamento em março de 2015.



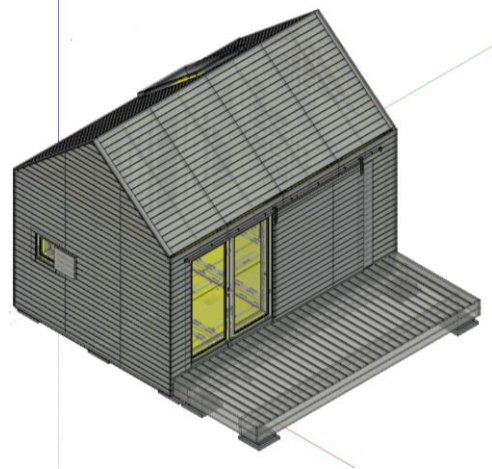
Fonte: acervo TPED.

## 5.2. Primeiro modelo

Entre os objetivos do edital MCT/FINEP, há a solicitação para o programa “Contribuir para o uso de novas tecnologias construtivas no âmbito do Programa Minha Casa, Minha Vida”. Assim, mesmo que o tema 2.4 não volte a mencioná-lo, os padrões do programa foram os critérios de ponto de partida para o desenvolvimento de uma proposta arquitetônica que se apropriasse das potencialidades da fresadora CNC.

Como referência, um projeto disponibilizado na página *web* [wikihouse.cc](http://wikihouse.cc), intitulado “Studio\_v0.2”, serviu de parâmetro para uma versão *Wikihouse*/PMCMV. Ou seja, a solução em pórticos sucessivos, compostos por peças encaixadas, foi redimensionada para atender o dimensionamento do programa: uma casa de, no mínimo, 36 m<sup>2</sup>, com dois quartos, sala, cozinha e área de serviço externa (NARDELLI; BACKHEUSER, 2016).

Figura 34 – Studio\_v0.2.



Fonte: <https://www.wikihouse.cc/>  
(Acessado em fevereiro de 2015)

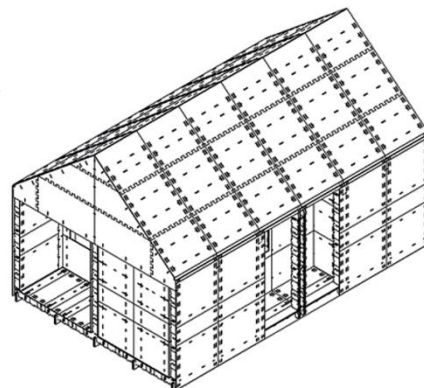
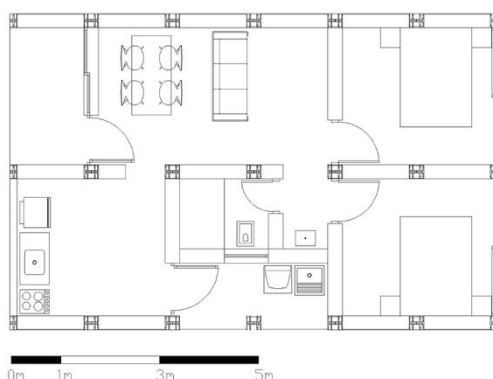


Figura 35 – Proposta de casa-padrão PMCMV baseada no sistema *Wikihouse*.  
(Fonte: acervo TPED)



Um primeiro modelo em escala 1:6, construído em MDF de 3 mm de espessura e cortado em uma máquina a *laser*, confirmou a viabilidade estrutural da proposta. No entanto as características do corte a *laser* e as dimensões do modelo não permitiram uma perfeita simulação do desempenho e eficiência dos encaixes entre componentes, que só poderiam ser verificados em um modelo em escala real (NARDELLI; BACKHEUSER, 2016).

Figura 36 – Modelo em escala 1:6 – Proposta de casa-padrão MCMV baseada no sistema *Wikihouse*.



Fonte: acervo TPED.

Em seguida, deu-se o desenvolvimento do modelo em escala real, 1:1. Embora existam exemplos de *Wikihouse* tanto em compensados de madeira quanto em aglomerados, optou-se por painéis de *Oriented Strand Board* (OSB) de 18,3 mm, uma vez que se tratava da opção mais econômica (NARDELLI; BACKHEUSER, 2016).

Com o início da usinagem dos componentes, ficou claro que não haveria tempo nem material suficiente para a usinagem do modelo completo em escala real. Um modelo completo da edificação demandaria cerca de 1200 m<sup>2</sup> de painéis, ou seja, cerca de 417 painéis de OSB. Os componentes cortados nesses painéis conformariam tanto os elementos estruturais quanto as vedações, excluído portas, caixilhos, instalações e acabamentos. No entanto os recursos disponíveis eram suficientes para a aquisição de 90 painéis. Assim, decidiu-se pela usinagem de dois pórticos completos e suas conexões, para que fosse possível não apenas

mensurar tempo de corte e dificuldade de montagem como também a resistência e a durabilidade da estrutura pronta (NARDELLI; BACKHEUSER, 2016).

O tempo médio de usinagem de cada painel foi de uma hora, uma vez que os componentes da *Wikihouse*, conforme o modelo *Studio\_v0.2*, são significativamente recortados, exigindo um percurso longo da fresa. Além disso, a espessura do material também exigiu que a fresa delineasse o mesmo percurso pelo menos três vezes. Perfurações menores, necessárias para o encaixe de travamentos perpendiculares, exigiram não recortes, mas a completa remoção do material (*pocketing*), uma vez que a liberação de peças pequenas frequentemente travava o funcionamento da fresadora, chegando a quebrar as fresas, além de obstruir o sistema de sucção de serragem (NARDELLI; BACKHEUSER, 2016).

As peças foram usinadas ao longo dos últimos três meses de 2015, conforme a disponibilidade de alunos e professores para operar a máquina. Uma vez usinados, no dia 5 de fevereiro de 2016, dois pórticos e seus travamentos foram erguidos, exigindo a presença de pelo menos seis pessoas (NARDELLI; BACKHEUSER, 2016).

No processo de montagem, ficou claro que os redimensionamentos dos pórticos do *Studio\_v0.2* para atender as dimensões do PMCMV deveriam considerar uma revisão das inclinações e dimensões gerais dos componentes, o que não havia sido feito. Além disso, os encaixes longitudinais entre componentes se mostraram muito frágeis em virtude do material utilizado (OSB), e as dimensões dos pórticos ficaram excessivamente pesados e difíceis de serem erguidos (NARDELLI; BACKHEUSER, 2016).

O primeiro pórtico resistiu à montagem, já o segundo se rompeu no momento em que era içado, comprometendo todo o experimento. Assim, não restaram painéis suficientes para que outro pórtico completo fosse usinado, tampouco parecia fazer sentido dar prosseguimento, uma vez que a usinagem já havia evidenciado as deficiências do projeto (NARDELLI; BACKHEUSER, 2016).

Figura 37 – Montagem do primeiro modelo em escala real – fevereiro de 2016.



Fonte: acervo TPED.

Figura 38 – Rompimento dos encaixes longitudinais.



Fonte: acervo TPED.

A evidente demanda por uma revisão dos encaixes longitudinais motivou o desenvolvimento de um trabalho de iniciação científica de um dos alunos da graduação do TPED. O trabalho fez um levantamento dos tipos de encaixes mais frequentes em exemplos construídos do sistema *Wikihouse*, seguido de uma série de experimentos, com a usinagem em escala real de alguns desses encaixes. Foram medidos o tempo de usinagem, a quantidade de material desperdiçado e a dificuldade de montagem. Dois encaixes pareceram os mais eficientes (SILVA; BACKHEUSER, 2016).

A primeira conexão se caracteriza pelo travamento a partir de cunhas e é composta por dois grandes trapézios, semelhante ao modelo *S-joint* já utilizado no

sistema *Wikihouse*, porém com maior área de contato entre as peças (SILVA; BACKHEUSER, 2016).

A segunda conexão se caracteriza por um formato circular, em um sistema macho-fêmea. A forma sugere uma economia de tempo de usinagem, uma vez que não conta com aberturas vazias, outros travamentos, nem a chamada *Orelha de Mickey Mouse*, ou seja, tem o corte necessário para que a fresa faça um contorno de 90 graus (SILVA; BACKHEUSER, 2016).

Figura 39 – Estudo de revisão dos encaixes longitudinais.



Fonte: acervo TPED.

A segunda conexão, de formato circular, foi usinada mais rapidamente e gerou menos resíduos que a conexão trapezoidal. No entanto a rigidez da conexão circular se estabelece a partir da fricção entre as peças, exigindo que ambas as partes não tenham qualquer folga entre elas, o que dificultou a montagem, prejudicando seu desempenho no terceiro critério de avaliação (SILVA; BACKHEUSER, 2016).

A pesquisa financiada pelo FINEP a partir do edital de 2009 foi finalizada com o modelo em escala reduzida e o pórtico que se manteve em pé em escala real. O relatório apontou as dificuldades, mas também o conhecimento adquirido com essa experiência e as possibilidades futuras que se abriam a partir dessa pesquisa.

Assim, embora a pesquisa já estivesse findada, o grupo decidiu dar continuidade ao desenvolvimento de um modelo construtivo baseado no sistema *Wikihouse*,



mas agora desvinculado do PMCMV, buscando uma solução econômica, de fácil produção e montagem e adaptável a diferentes usuários.

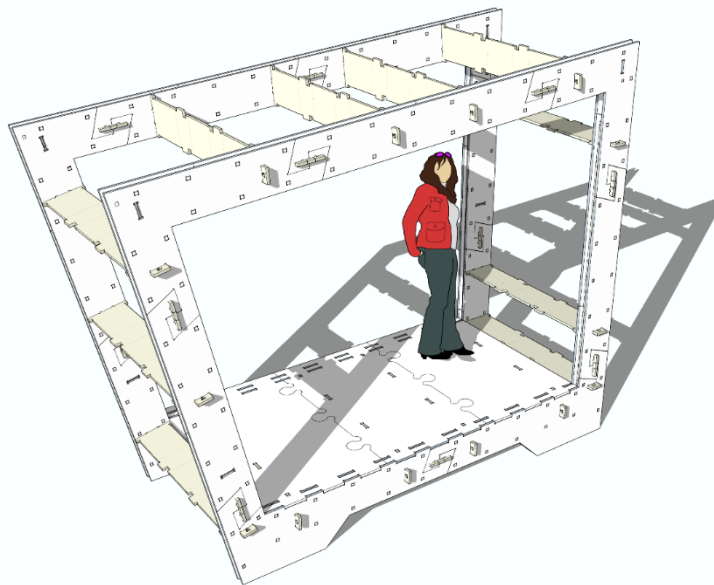
O grupo estabelece uma premissa fundamental para a continuidade da pesquisa: a manutenção do material OSB, uma vez que se trata da opção mais barata disponível. Isso exige uma revisão do projeto, considerando as características do material e seu comportamento durante a usinagem e a montagem e sua durabilidade ao longo do tempo.

Assim, ainda em 2016, desenvolve-se um novo projeto para a verificação dos novos encaixes e do redimensionamento geral dos pórticos, a fim de averiguar a dificuldade de usinagem e de montagem.

### 5.3. Segundo modelo

O segundo modelo foi desenvolvido a partir das experiências do primeiro, buscando uma melhor adaptação do desenho ao material, reduzir o tempo de usinagem das peças e facilitar seu transporte e montagem no local final. Partiu-se de um pórtico de dimensões reduzidas em relação ao anterior, mas reproduzindo sua modularidade em relação à distância entre pórticos paralelos e o vão luz de cada pórtico (BACKHEUSER; CAMPOLONGO, 2017).

Figura 40 – Segundo modelo.



Fonte: acervo TPED.

Para o segundo modelo, contava-se com 20 painéis de OSB de 18,33 mm de espessura e sobras de experimentações anteriores, que foram usinados, ao longo de uma semana, em três períodos, manhã, tarde e noite, por dois alunos do grupo TPED. A montagem se deu em um dia, durante a semana de arquitetura da FAU UPM, a Semana Viver Metr pole (SVM), em 19 de outubro de 2016, por cerca de oito alunos (BACKHEUSER; CAMPOLONGO, 2017).

O processo de montagem se iniciou com o transporte dos componentes usinados na marcenaria da universidade até o interior do *campus*, local em que a estrutura teria maior visibilidade e poderia ser efetivamente inserida nas atividades da SVM. A montagem se deu em três etapas: primeiro, foi feita a união dos componentes dos dois pórticos no chão, considerando que cada pórtico é composto de duas camadas de componentes, em seguida, eles foram elevados e, por fim, foi feita a conexão de ambas as partes, com os travamentos transversais e o piso, consolidando o sistema estrutural. A estrutura ficou montada por quase dois meses no *campus* Higienópolis da UPM (BACKHEUSER; CAMPOLONGO, 2017).

Figura 41 – Montagem do segundo modelo – outubro de 2016.



Fonte: acervo TPED.

A segunda estrutura provou que o material OSB é efetivamente adequado à estrutura, uma vez que a revisão dos encaixes levou em considera o o comportamento e a resistência mecânica, além da durabilidade desse material, uma vez que ficou exposto às intempéries. A experiência também colaborou com um maior domínio dos alunos e professores do TPED de todo o processo de

concepção de usinagem e montagem de estruturas usinadas em OSB por fresadoras CNC (BACKHEUSER; CAMPOLONGO, 2017).

Figura 42 – Segundo modelo pronto – outubro de 2016.



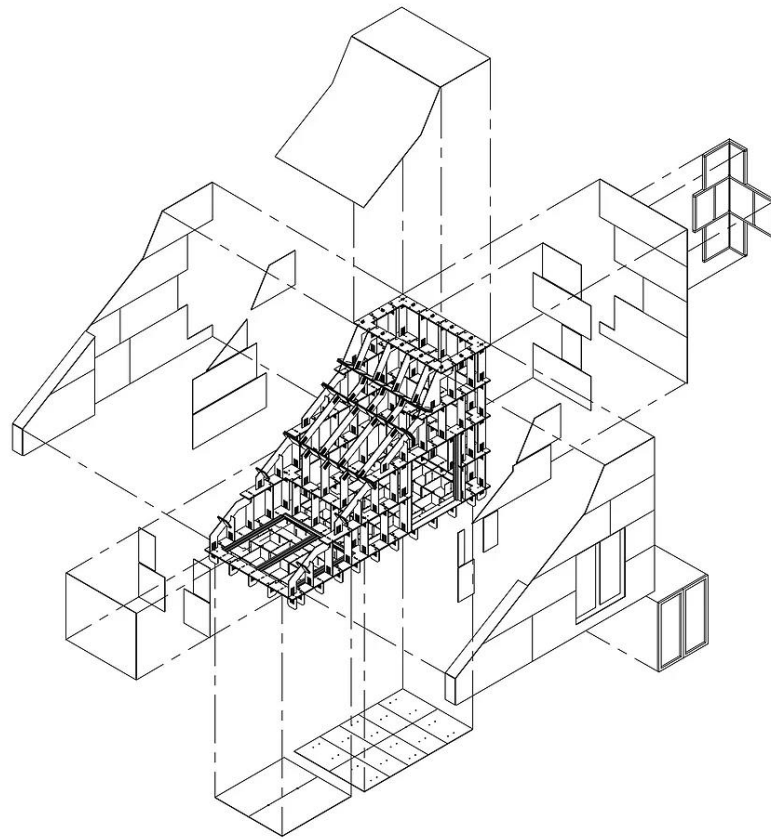
Fonte: acervo TPED.

### Novas referências

Após a conclusão do segundo modelo, o grupo TPED seguiu pesquisando casos semelhantes, nacionais e internacionais, identificando novas referências que pudessem contribuir com o aprimoramento do desenho de um terceiro modelo.

Em 2017, outra solução construtiva, baseada em painéis de madeira usinados em fresadoras CNC, é divulgada publicamente. Trata-se do *ClipHut*, um sistema estrutural gerado parametricamente como resposta direta às condições climáticas e geográficas da Europa Central, bem como aos regulamentos regionais de construção da Alemanha. A ideia para o sistema foi desenvolvida por uma equipe interdisciplinar da Universidade de Ciências Aplicadas *Ostwestfalen-Lippe*, na Alemanha, e conta com a participação do pesquisador brasileiro Thomaz Vieira, formado pela UFRJ, que participou do projeto da Casa Revista em 2015 (CAMPOLONGO, 2019).

Figura 43 – *Cliphut*.

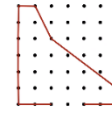
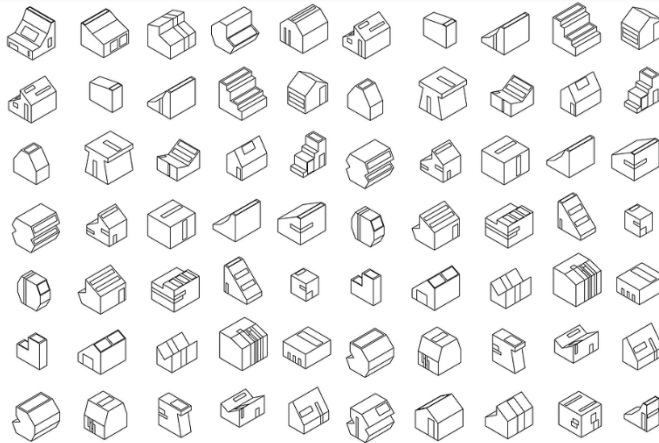


Fonte: <https://www.cliphut.org/kopie-von-projekt> (Acessado em 07/01/2020)

Preservando a ideia da arquitetura de código aberto, o *ClipHut* traz, também, a possibilidade de customização em massa a partir de um gráfico com uma série de pontos que podem ser conectados por linha, gerando o perfil da construção. Essas geometrias poderiam se adaptar a diferentes situações urbanas, ocupando vazios e atendendo demandas específicas. A partir dessa geometria, os componentes construtivos seriam gerados parametricamente, formando uma gaiola estrutural que configura o perímetro da edificação. A característica essencial da proposta é o sistema de *clips* que conectam perpendicularmente os componentes. Embora o sistema permita a utilização de diferentes materiais com base em madeira (aglomerado, compensado, laminado), o sistema foi concebido para o OSB. (<https://www.cliphut.org/kopie-von-projekt>)



Figura 44 – Cliphut.



**Generativ./  
Generative.**

Das Cliphut Projekt konzentriert sich auf die Schaffung eines parametrischen Gerüsts, um den Designprozess zu vereinfachen, sodass die Nutzer in der Lage sind, sich aktiv am Design und der Funktion ihrer eigenen Cliphut zu beteiligen. Die Vision ist, dass die Nutzer ihre Cliphut mithilfe von mobilen Apps entwerfen, die den G-Code ihrer Designs generieren, um sie dann zur digitalen Fertigung abschicken zu können.

The core of the Cliphut are sponsored OSB-panels that clip together and give Cliphut its name. Using programming software, the structure is broken down into individual elements that can be digitally fabricated and then constructed by untrained individuals like a giant jigsaw puzzles.

Fonte: <https://www.cliphut.org> (Acessado em 07/01/2020)

O primeiro protótipo construído com esse sistema configurava um ambiente único, como um abrigo temporário para refugiados, em uma associação entre os pesquisadores da *Ostwestfalen-Lippe* e o projeto social *Heimatwerker* (CAMPOLONGO, 2019).

Figura 45 – Cliphut.



Fonte: <https://www.cliphut.org> (Acessado em 07/01/2020)

Outro caso brasileiro desenvolvido por pesquisadores da UFRJ chama a atenção do TPED. Trata-se do trabalho final de graduação do então aluno David Mendonça, batizada de *Wikicurva* e apresentada em 2016, orientado pelos professores Andrés Passaro e Gonçalo Henriques, ambos coordenadores do Laboratório de Modelos e Fabricação Digital (LAMO3D) da FAU UFRJ.

Dando continuidade à pesquisa da Casa Revista, esse novo modelo busca um maior arrojo formal para um sistema inspirado na *Wikihouse* e a parametrização de sua geometria. Como explicado pelos autores:

*O nosso Laboratório LAMO/PROURB vem testando e desenvolvendo este sistema WikiHouse desde 2013, tendo executado o sistema na sua totalidade na escala 1:1 na sua versão 3.0 em 2015 com a construção da WikiHouse “Casa Revista”. Ao longo deste tempo fomos testando diferentes encaixes em modelos reduzidos. A partir desta experiência decidimos realizar mudanças estruturais no projeto e no sistema construtivo. No sistema original, encontramos duas limitações. A primeira limitação partia da plataforma existente; o desenho só pode ser desenvolvido manualmente a partir de um plug-in dentro do software Sketchup. A segunda limitação partia da forma, porque esta deveria ser originada a partir do desenho de um pórtico tradicional dentro de um sistema ortogonal. (MENDONÇA; PASSARO; HENRIQUES, 2018, p.1).*

Como o *Cliphut*, a flexibilização geométrica se dá no desenho do perfil da edificação, com componentes usinados em chapas de compensado rígido de 18 mm para os pórticos, e chapas de compensado flexível de 6 mm para os fechamentos.

Figura 46 – Wikicurva.



Fonte: Mendonça; Passaro; Henriques, 2018. (Acessado em 07/01/2020)

#### 5.4. Terceiro modelo

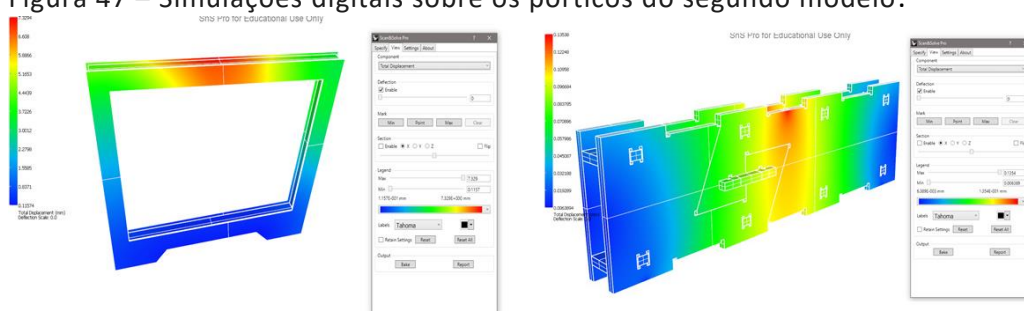
Em janeiro de 2019, o TPED consegue apoio financeiro da agência de fomento à pesquisa da Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM), MackPesquisa, para dar continuidade ao aprimoramento da solução construtiva em OSB usinado por uma fresadora CNC. A fim de atender os prazos do edital da agência de fomento, foram definidos os materiais estruturais e de acabamento, bem como suas quantidades, antes do desenvolvimento do projeto arquitetônico.

A continuidade do trabalho contou com uma pesquisa de mestrado iniciada em 2018 por um dos pesquisadores do TPED, Eduardo Campolongo, que vinha fazendo ensaios de resistência de materiais para a substituição dos painéis de OSB

de 18,3 mm por painéis de 9,5 mm. Esses testes foram feitos em simulações digitais, bem como com corpos de provas no laboratório de materiais da Escola de Engenharia da UPM (CAMPOLONGO, 2019).

As simulações digitais foram fundamentais para a identificação das áreas de maior esforço estrutural nos componentes que compunham os pórticos do segundo modelo de 2016. Assim, identificou-se quais testes deveriam ser feitos e em quais componentes (CAMPOLONGO, 2019).

Figura 47 – Simulações digitais sobre os pórticos do segundo modelo.



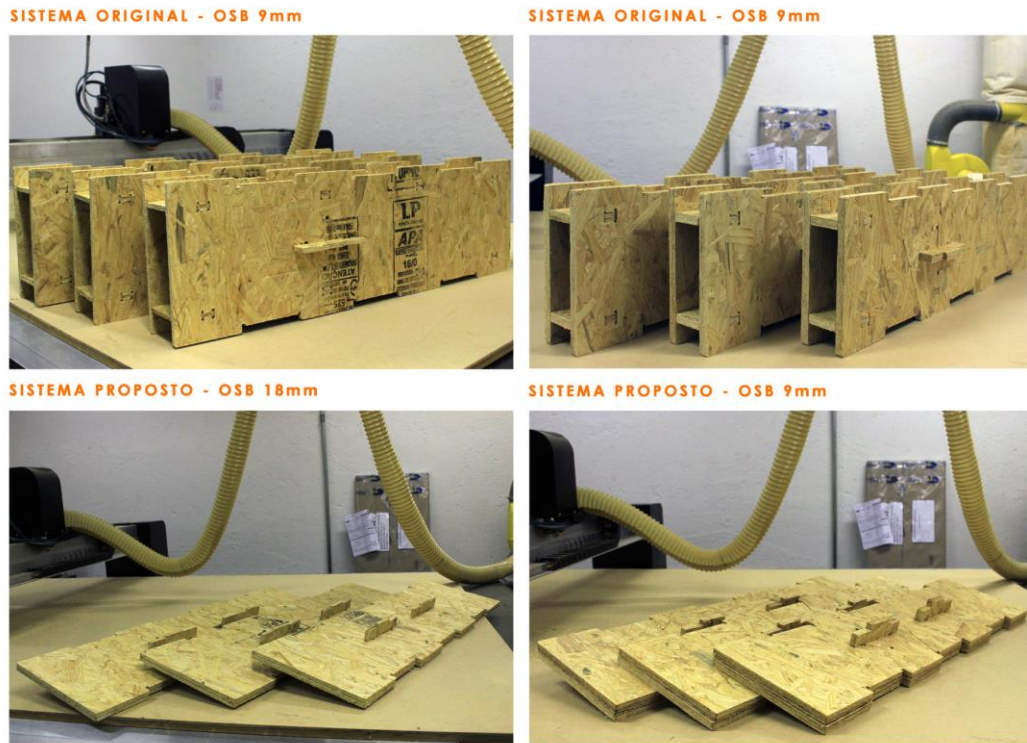
Fonte: CAMPOLONGO, 2019

Nas simulações, ficou evidente que o ponto mais vulnerável da estrutura é a barra superior do pórtico, mais sujeita à flexão. Os pórticos do segundo modelo eram compostos por duas camadas de OSB de 18,3 mm, com suas conexões desencontradas. Em uma dessas camadas, havia uma conexão justamente no ponto de maior esforço (CAMPOLONGO, 2019).

Foram concebidos corpos de prova comparativos de 18,3 mm e de 9,5 mm de um trecho da barra com uma conexão trapezoidal desenvolvida entre o primeiro e o segundo modelos. Foram criados 12 corpos de prova, todos eles compostos de duas camadas de OSB. Seis corpos foram criados em OSB de 18,3 mm e outros seis corpos, em OSB de 9,5 mm. Três corpos de cada espessura foram feitos com suas chapas separadas por barras perpendiculares do mesmo material, solução adotada nos dois primeiros modelos (Sistema Original). No entanto também foram criados corpos de provas de ambas as espessuras, com suas chapas em contato direto, para verificar a viabilidade de uma solução sem as barras perpendiculares (Sistema Proposto) entre chapas, o que reduz a quantidade de

material e, conseqüentemente, tempo de usinagem, de custo e de montagem (CAMPOLONGO, 2019).

Figura 48 – Corpos de prova para ensaios de resistência mecânica.



Fonte: CAMPOLONGO, 2019.

Embora os ensaios digitais tenham demonstrado que a maior fragilidade da estrutura estava relacionada à flexão sofrida pela barra horizontal superior, também decidiu-se ensaiar a resistência dos corpos de prova quanto à compressão, a fim de verificar a viabilidade da substituição dos painéis nos pilares. Assim, dois corpos de cada espessura foram dedicados ao ensaio de flexão elástica enquanto outros dois corpos de cada espessura foram dedicados ao ensaio de compressão axial. Dois corpos de prova de cada espessura foram preservados, sem sofrerem nenhum tipo de ensaio, para efeito comparativo (CAMPOLONGO, 2019).



Figura 49 – Ensaio de flexão elástica e compressão axial.



Fonte: CAMPOLONGO, 2019.

As comparações entre os corpos de prova consideraram os seguintes parâmetros: tempo de usinagem, quantidade de material utilizado, peso, custo e resistência mecânica. Todas as peças foram usinadas na mesma fresadora CNC, com velocidade de arrasto de 1500 mm/min, com fresas de 6 mm, com dois cortes, e chapas de OSB nas espessuras de 9 e 18 mm (CAMPOLONGO, 2019).

O tempo de usinagem de uma chapa de 9,5 mm é consideravelmente menor do que de uma chapa de 18,3 mm, uma vez que são necessárias menos passagens da fresa no material a fim de promover o corte efetivo. O tempo médio de *“corte das chapas mais finas foi de 26 minutos enquanto o das chapas mais espessas demoraram cerca de 39 minutos”* (CAMPOLONGO, 2019, p. 177). No entanto o Sistema Proposto apresentou uma redução de tempo menor do que o esperado, principalmente nas chapas de 9,5 mm, mas consumiu 20% menos material, provando sua vantagem (CAMPOLONGO, 2019).

Quanto ao peso, a chapa de 18,3 mm tem peso específico de 11,70 kg/m<sup>2</sup>, enquanto a de 9 mm possui 6,07 kg/m<sup>2</sup>. Assim, a redução da espessura implica em uma redução de 50% do peso da estrutura. Já o Sistema Proposto reduziu o peso do corpo de prova em 20%. Quanto ao custo, as chapas de 9,5 mm são 40% mais baratas que as de 18,3 mm, diferença que cresce 20% no Sistema Proposto (CAMPOLONGO, 2019).

Por fim, as comparações decisivas resultantes dos experimentos de resistência mecânica apresentaram os seguintes resultados:

Quadro 10 – Ponto de ruptura dos corpos de prova.

CARGA DE RUPTURA				
	18,3 mm		9,0 mm	
	Sistema Original	Sistema Proposto	Sistema Original	Sistema Proposto
<b>Flexão elástica</b>	1310 newtons	1230 newtons	930 newtons	590 newtons
	-7%		-37%	
<b>Compressão axial</b>	5240 newtons	780 newtons	2440 newtons	80 newtons
	-86%		-97%	

Fonte: adaptado de CAMPOLONGO, 2019.

Percebe-se que a remoção das barras perpendiculares entre as chapas do pórtico, o Sistema Proposto, traz uma redução muito significativa da resistência à compressão das barras verticais. Ou seja, ficou claro que esta opção deveria ser descartada (CAMPOLONGO, 2019).

Quadro 11 – Ponto de ruptura dos corpos de prova.

CARGA DE RUPTURA		
	18,3 mm	9,0 mm
	Sistema Original	Sistema Original
<b>Flexão elástica</b>	1310 newtons	930 newtons
	-30%	
<b>Compressão axial</b>	5240 newtons	2440 newtons
	-54%	

Fonte: adaptado de CAMPOLONGO, 2019.

As comparações provaram as desvantagens quanto à resistência mecânica das chapas de 9,5 mm. No entanto estas se provaram mais vantajosas nos outros itens avaliados. Elas são mais baratas, sua usinagem é mais rápida, consequentemente um fresa consegue usinar mais chapas aumentando sua vida útil, e são mais leves, facilitando a operação de usinagem e de montagem da estrutura (CAMPOLONGO, 2019).

Quadro 12 – Quadro comparativo.

QUADRO COMPARATIVO				
	18,3 mm	9,5 mm	Características das placas de 9,5 mm em comparação com as de 18,3 mm	mais vantajosa
<b>Tempo de usinagem</b>	39 minutos	26 minutos	33% mais rápida	9,5 mm
<b>Peso</b>	11.70 kg/m <sup>2</sup>	6.07kg/m <sup>2</sup>	49% mais leve	9,5 mm
<b>Custo*</b>	R\$ 139,95	R\$ 80,52	43% mais baratas	9,5 mm
<b>Flexão elástica</b>	1310 newtons	930 newtons	30% menos resistentes	18,3 mm
<b>Compressão axial</b>	5240 newtons	2440 newtons	54% menos resistentes	18,3 mm

\* Valor das chapa LP Home Plus na Leo Madeiras.

<https://www.leomadeiras.com.br/searchresults?Ntt=osb%20home%20plus&Nty=1&No=0&Nrpp=12&Rdm=205&searchType=simple&type=search>

Consulta feita dia 26/11/2019

Fonte: adaptado de CAMPOLONGO, 2019.

Embora os ensaios de laboratório tenham provado as desvantagens das chapas de 9,5 mm, suas vantagens nos três primeiros itens (tempo de usinagem, peso e custo) levaram o grupo de pesquisa a optar por elas, considerando que, se provada sua viabilidade, a solução construtiva proposta e outras similares que adotassem chapas de mesma espessura ganhariam vantagens ainda mais expressivas em comparação às construções tradicionais.

Em janeiro de 2019, o grupo consegue auxílio financeiro do Fundo Mackenzie de Pesquisa, denominado Mackpesquisa, fundo de apoio financeiro a pesquisas acadêmicas do Instituto Presbiteriano Mackenzie. O valor disponibilizado de R\$ 45.000,00 (quarenta e cinco mil reais) foi dividido para dois segmentos: R\$ 24.000,00 foram encaminhados aos alunos, para auxílio financeiro à pesquisa (bolsa) e R\$ 21.000,00 para material de consumo.

Para atender ao cronograma do edital do Mackpesquisa, a lista de materiais de construção necessários para a produção de um modelo em escala real e a lista de possíveis fornecedores foram produzidas e entregues ao Setor de Compras da

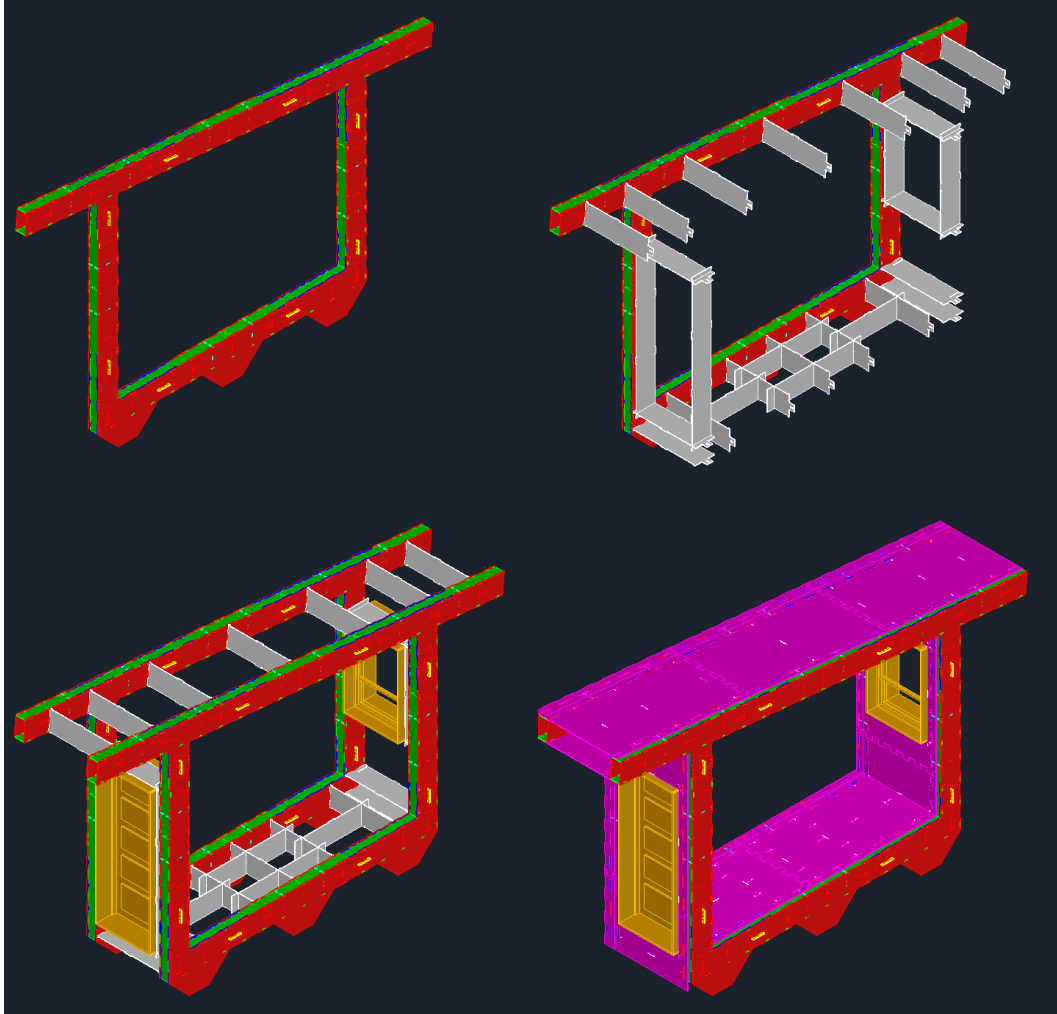
Universidade Presbiteriana Mackenzie, antes do desenvolvimento da revisão do projeto arquitetônico. Assim, a identificação dos materiais e suas quantidades foram definidos a partir de uma estimativa ainda hipotética de como seria a nova versão do projeto.

Em virtude da redução da espessura das chapas, a distância entre os pórticos foi reduzida de 1,5 m (segundo modelo) para 1,10 m. Considerando a dimensão de um chapa de OSB de 2,40 m por 1,20 m, uma chapa colocada verticalmente atende ao vão entre pórticos. Manteve-se a seção dos pilares, ou seja, 0,30 m por 0,15 m. Assim, a chapa perpendicular entre as laterais de um pórtico teve sua largura aumentada para atender a diferença de espessura das chapas.

Os novos pórticos foram então concebidos com um vão similar ao do segundo modelo, com cerca de 4,5 m, mas com prolongamentos da barra superior além dos pilares, formando beiras de proteção de chuva e sombreamento das fachadas e janelas, em uma cobertura com inclinação de 5%.

A estruturação da chapa de piso também foi modificada, uma vez que o piso do segundo modelo apresentou uma movimentação significativa com o peso das pessoas e o caminhar dos visitantes. Assim, o piso novo foi estruturado com um sistema do tipo “*waffle*”, inspirado na *Instant House*.

Figura 50 – Sequência de componentes dos pórticos do terceiro modelo.

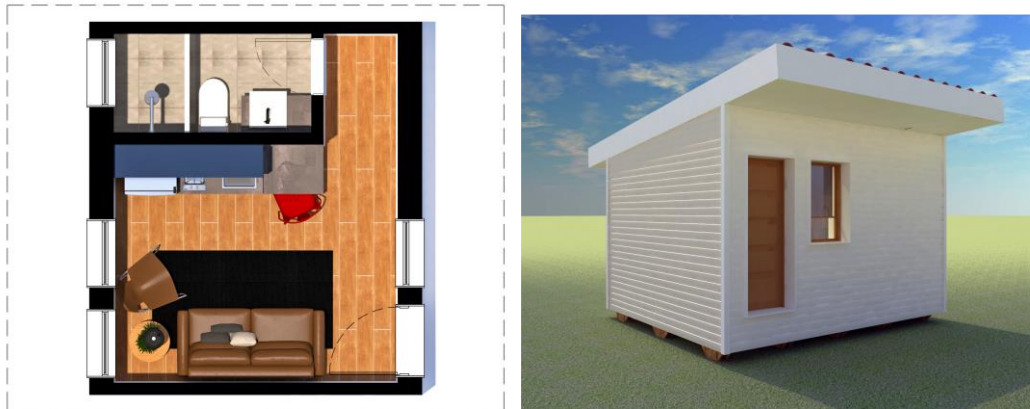


Fonte: Acervo TPED.

O projeto parte da ideia de uma habitação mínima “com aproximadamente 20 m<sup>2</sup>, comportando as áreas necessárias para habitar. O projeto conta com uma área comum que abriga uma cozinha aberta, uma área de estar/dormitório e um banheiro” (CAMPOLONGO, 2019, p. 183). Também foram previstas aberturas em paredes opostas, entre os pórticos, permitindo ventilação cruzada nos ambientes e imaginando um crescimento longitudinal da arquitetura a partir da adição de novos pórticos (CAMPOLONGO, 2019).

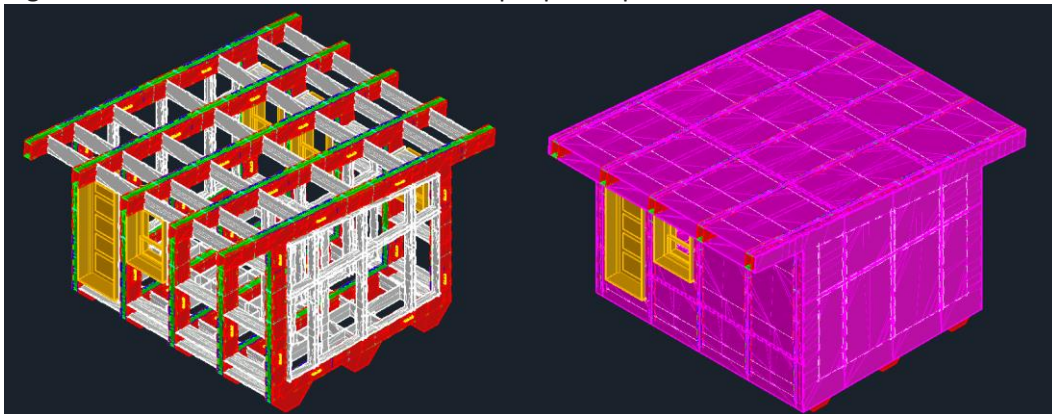
Foi elaborada uma planta retangular com cinco pórticos paralelos, com dimensões de 4,35 m por 4,05 m, totalizando uma área de aproximadamente 18 m<sup>2</sup> (CAMPOLONGO, 2019).

Figura 51 – Planta e perspectiva proposta para o terceiro modelo.



Fonte: CAMPOLONGO, 2019.

Figura 52 – Volumetria construtiva da proposta para o terceiro modelo.



Fonte: Acervo TPED.

Para o fechamento dos vãos dos dois pórticos dos perímetros, foi concebida uma parede composta por dois planos de painéis de OSB, estruturadas por barras dos mesmos materiais, perpendiculares ao fechamento.

A fim de avaliar a viabilidade da proposta, produziu-se um modelo em escala 1:3, em painéis de MDF cortados nas máquinas de corte a *laser* da FAU UPM.

*Ao longo de três semanas, foram cortadas 83 chapas de MDF 3mm, gerando 1640 peças para a montagem do protótipo. Os encontros eram realizados três vezes por semana com uma média de cinco horas diárias, envolvendo as etapas de corte, montagem e acertos necessários. (CAMPOLONGO, 2019, p. 196).*



Figura 53 – Montagem do modelo em escala 1:3.



Fonte: CAMPOLONGO, 2019.

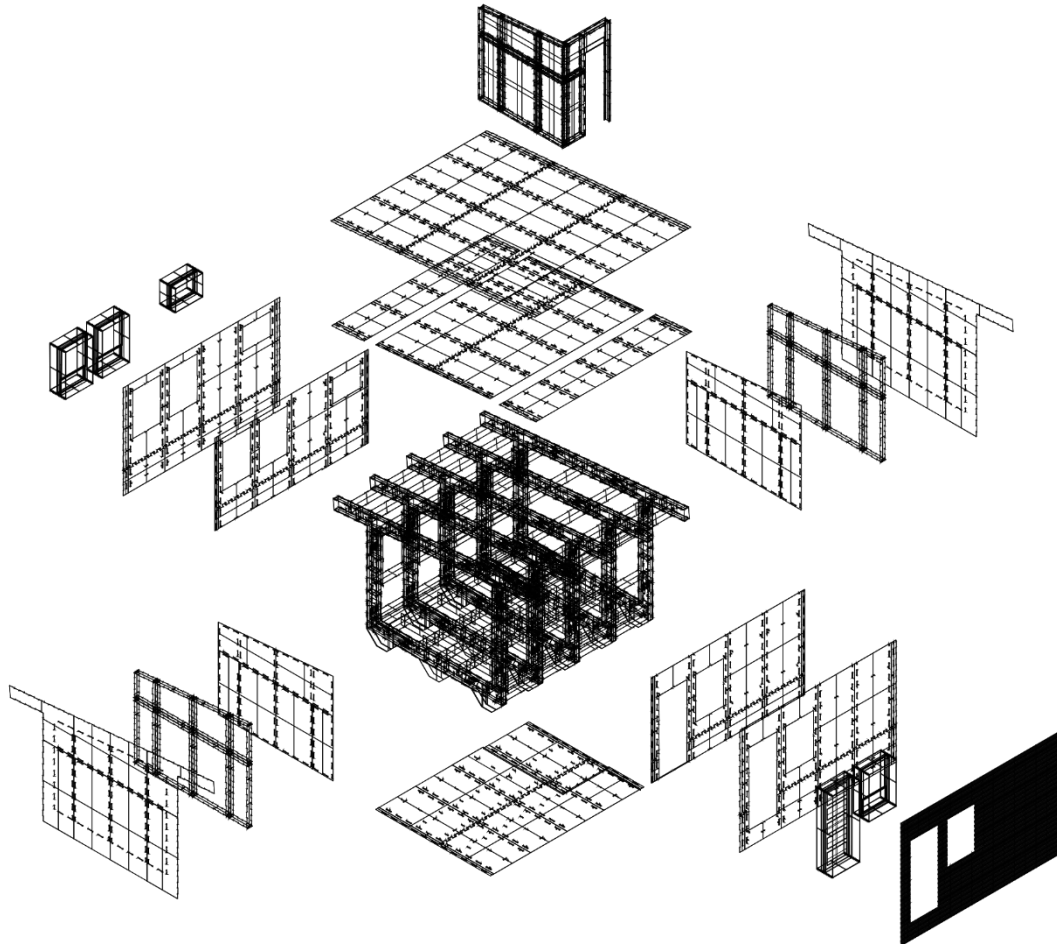
Figura 54 – Modelo em escala 1:3.



Fonte: CAMPOLONGO, 2019.

O modelo em escala 1:3 comprovou a viabilidade da solução, como também contribuiu com a definição da sequência de montagem do modelo em escala real. No entanto identificou-se uma persistente fragilidade da estrutura do piso, o que demandou outra revisão.

Figura 55 – Volumetria explodida.



Fonte: CAMPOLONGO, 2019.

A montagem do modelo em escala real teve início com a chegada dos 160 painéis de OSB em junho de 2019. Essa quantidade de painéis, prevista no início do ano, antes do desenvolvimento da proposta arquitetônica, foi insuficiente para a usinagem do modelo completo em escala real. Assim, uma revisão da proposta arquitetônica subtraiu um dos pórticos, o que reduziu a quantidade de travas perpendiculares e fechamentos, tornando possível construir um modelo completo, com todos os elementos necessários, embora fosse um módulo menor.



A usinagem das peças foi feita por dois alunos do grupo, um do programa de pós-graduação e outro da graduação. Já a montagem foi feita por um grupo estendido de alunos da graduação, muitos deles desvinculados do grupo de pesquisa TPED.

Usinou-se uma seção de um pilar e, posteriormente, parte da base de uma esquina-modelo.

Figura 56 – Primeiros testes do modelo em escala real.



Fonte: Acervo TPED.

Os primeiros testes serviram para uma primeira avaliação da resistência do material, bem como para definição do *stock*, ou seja, para definir a folga necessária no corte dos painéis de OSB para uma eficiente fixação entre componentes, pois os encontros longitudinais devem ter uma fixação justa o suficiente para que não fragilize o conjunto, mas deve ter a folga necessária para uma fácil montagem.

Figura 57 – Usinagem dos painéis de OSB.



Fonte: Acervo TPED.

A montagem foi iniciada em agosto de 2019, dentro do *campus* da UPM. Inicialmente, esperava-se montá-la em cerca de dois meses, mas a inconstância de disponibilidade dos alunos envolvidos fez com que o processo se atrasasse. Ainda assim, boa parte da estrutura estava finalizada no início de dezembro do mesmo ano.

Figura 58 – Início da montagem dos pórticos em agosto de 2019.



Fonte: Acervo TPED.

Figura 59 – Desenvolvimento da montagem.



Fonte: Acervo TPED.

Figura 60 – Desenvolvimento da montagem.



Fonte: Acervo TPED.



Em virtude de um evento ocorrido no *campus* da UPM no final de setembro de 2019, o Mackenzie Day, optou-se por colocar o piso interno da construção, ainda que as paredes laterais não estivessem prontas, para receber os visitantes externos.

Figura 61 – Colocação do piso interno.



Fonte: Acervo TPED.

Figura 62 – O terceiro modelo recebendo visitantes em 29 de setembro de 2019.



Fonte: Acervo TPED.

Em dezembro de 2019, embora ainda faltassem fechamentos e acabamentos, a estrutura em OSB já estava concluída, apresentando excelente estabilidade estrutural, provando a viabilidade da solução.

A montagem terá prosseguimento e se espera manter o modelo no local até o segundo semestre de 2020. Ao longo desse tempo, serão avaliadas a estabilidade da estrutura e a resistência do material principal, o OSB. Também serão feitas outras medições de conforto ambiental, como conforto térmico e acústico em seu interior.



Figuras 63, 64 e 65 – O terceiro modelo em dezembro de 2019.



Fonte: Acervo TPED.

## 6. O algoritmo

A presente pesquisa estuda a criação de um algoritmo que permita a adaptação da arquitetura a situações particulares de cada família que venha a habitá-la. Ou seja, busca-se oferecer certo nível de personalização, permitindo um melhor atendimento das demandas familiares de maneira automatizada, gerando diferentes resultados com a instantaneidade ofertada pelo poder de processamento de informação dos computadores atuais.

Considera-se a atual conjuntura de produção de habitações unifamiliares em grande escala, apresentada no item 4.3, que mostra a tendência de produção em alguns contextos de economias em desenvolvimento (BUCKLEY, 2016). Trata-se de grandes empreendimentos caracterizados pela reprodução de residências unifamiliares, supostas habitações mínimas, prototípicas, sem, no entanto, a profunda reflexão crítica que caracterizou sua busca, como no caso europeu dos anos 1920 (BRUNA, 2010).

O que se vê hoje, principalmente nos casos brasileiro e mexicano, apresentados no item 2.3.1, é uma reprodução de unidades idênticas em larguíssima escala, justificadas por uma demanda quantitativa representada por um *déficit* habitacional frequentemente medido de maneira discutível e condicionadas principalmente pela busca irresponsável por lucro a partir da redução das dimensões da habitação a um mínimo definido arbitrariamente (SANTO AMORE; SHIMBO; RUFINO, 2015).

### 6.1. Usuários e Espaços

Estudos comprovam a inadequação dessas moradias para grande parte das famílias que as ocupam, seja por superlotação dos cômodos, com um adensamento excessivo por dormitório (SANTO AMORE; SHIMBO; RUFINO, 2015), seja por inadequação às composições familiares e aos usos reais dos cômodos (VILLA; SARAMAGO; GARCIA, 2015).

As composições familiares frequentemente fogem do modelo considerado tradicional e tomado como padrão para a busca da habitação mínima. O modelo pai, mãe e dois filhos é a referência para o PMCMV (SANTO AMORE; SHIMBO; RUFINO, 2015), e seguramente também para outros programas similares ao redor do mundo, não considera a realidade das famílias que deve atender.

*[...] as famílias têm-se tornado cada vez mais complexas, distanciando-se de padrões tradicionais: aumentam as coabitações (em detrimento dos casamentos), as separações e as novas uniões. Surgem novas personagens no âmbito da família (padrasto, madrasta, meio-irmão). As mulheres retardam o nascimento do primeiro filho e espaçam mais os nascimentos dos filhos, reduzindo as taxas de fecundidade. O número de filhos por mulher em idade reprodutiva cai. A composição das configurações familiares se modifica, aumentando os casais sem filhos e as famílias monoparentais (principalmente as chefiadas por mulheres) e diminuindo o tipo de família mais tradicional – aquele constituído pelo casal e os filhos. A queda da fecundidade e as mudanças nos arranjos familiares provocaram ainda aumento na proporção de pessoas idosas nas famílias. (LEONE; MAIA; BALTAR, 2010, p. 61).*

Ou, como coloca o censo de 2010 do IBGE:

*[...] os padrões de formação, dissolução e reconstituição da família tornam-se cada vez mais heterogêneos e seus limites mais ambíguos segundo os estudiosos da UNECE, o casamento tornou-se menos central na conformação da vida das pessoas, diferentemente do que ocorria em um passado recente, por vezes caracterizado pelo preconceito em relação às pessoas que não se casavam. As uniões consensuais aumentaram e, em alguns países, já existe o reconhecimento legal dos casais homossexuais. Os aumentos das separações conjugais e dos divórcios levaram à formação de novos arranjos familiares. Quando os indivíduos separados ou divorciados iniciam uma nova união, formam um novo arranjo denominado “famílias reconstituídas”, especialmente no caso da presença de crianças. O aumento da mobilidade espacial permite aos indivíduos maior liberdade na escolha de onde quer morar, o que pode provocar um aumento do desejo de preservar sua independência, fazendo com que casais procurem alternativas de convivência e parceria, como a moradia em domicílios diferentes. (IBGE, 2010).*

Pode-se identificar diferentes tipos de arranjos familiares, como famílias nucleares (pai e mãe + filhos); famílias nucleares expandidas (pai e mãe + filhos + parentes); monoparentais (pai ou mãe + filhos); monoparentais expandidas (pai ou mãe + filhos + parentes); casais sem filhos; pessoas sozinhas; casais de idosos,

coabitações sem vínculos familiares (VILLA; SARAMAGO; GARCIA, 2015). Esses arranjos diversificados têm crescido principalmente em grupos com menor renda (LEONE; MAIA; BALTAR, 2010).

Embora estatisticamente tenha havido, nas últimas décadas, uma progressiva redução no número de filhos por mulher no Brasil, as desigualdades sociais de educação e renda têm impacto direto nessa redução, mais presentes em grupos sociais mais favorecidos. Para a maioria dos casais, não se consegue “*ter o número de filhos que deseja – ou porque não possui condições econômicas e sociais, ou porque não têm acesso à contracepção*” (ROCHA, 2018).

Outro aspecto questionável desse modelo de habitação mínima é o uso real dos espaços que frequentemente não são contemplados em seu dimensionamento e concepção geral. A utilização dos cômodos vai além do que se supõe que ocorrerá, como comer nos quartos, trabalhar na sala ou descansar na cozinha. Assim, há sobreposições de atividades nesses ambientes, que são concebidos, de maneira muito restrita, para atividades exclusivas, ou seja, há uma idealização da realidade que avaliações pós-ocupação já provaram irreais (VILLA; SARAMAGO; GARCIA, 2015).

*Outro aspecto relativo às dimensões mínimas das habitações é a sobreposição de usos e atividades nos cômodos. O espaço reduzido e a demanda de diversas funções em cada ambiente reafirmam a resposta funcional ainda especializada entre espaços e ações: dormir-quarto, cozinhar-cozinha, comer-sala, etc. De maneira geral, é possível afirmar que, em quase todos os cômodos da residência, ocorre expressiva sobreposição de usos, de forma que um único cômodo comporta, por vezes, funções de alimentação, descanso, trabalho, lazer, receber visitas e cuidado com as roupas. (VILLA; SARAMAGO; GARCIA, 2015, p. 100).*

A personalização dos espaços, ainda que através de uma oferta limitada de variações, pode contribuir com a atenuação dos conflitos entre arquitetura, composições familiares e usos reais dos espaços, adaptando-os aos desejos das pessoas que os ocuparão de maneira realista, a partir das demandas individuais de famílias específicas, que conhecem como ninguém seu cotidiano doméstico.



## 6.2. Arquitetura de código aberto

Em 1995, Nicholas Negroponte escreveu que, no futuro, deixaríamos de trocar átomos para trocar *bits* (NEGROPONTE, 2002). Naquele momento, ainda se alugavam fitas VHS e precisávamos ir até uma loja para comprar um CD se quiséssemos ouvir uma música. Passados 25 anos, em 2020, temos a Netflix e o Spotify, comprovando as previsões de Negroponte.

*Os primeiros átomos de entretenimento a serem transformados em bits serão os da fita de videocassete das locadoras, em relação às quais os clientes passam pelo inconveniente adicional de terem de devolver os átomos e serem multados se os esquecem embaixo do sofá (dos 12 bilhões de dólares que as locadoras americanas faturam, calcula-se que 3 bilhões provêm das multas por atraso). E outros meios passarão a ser digitais pela atuação conjunta das forças da conveniência, da necessidade econômica e da desregulamentação. E isso acontecerá com rapidez. (NEGROPONTE, 2002, p. 19).*

De fato, essas fontes de entretenimento se tornaram mais acessíveis e mais baratas, consolidando a transformação que a internet promoveu. Contudo tanto filmes quanto músicas são informações imateriais, até então transmitidas em mídias físicas. Bens físicos ainda são trocados, como móveis e outros objetos.

Neil Gershenfeld leva adiante as ideias de Negroponte com a tese de que, por meio da fabricação digital, indivíduos podem projetar e construir sob demanda, onde e quando precisarem. Assim, os *bits* trocados também criariam objetos materializados pelas máquinas que interpretam essas informações automaticamente. Ou seja, a mesma facilidade existente na troca de músicas e filmes que os tornou mais acessíveis também deixaria produtos materiais mais acessíveis (GERSHENFELD, 2012).

*A design created there can be sent electronically anywhere in the world for on-demand production, which effectively eliminates the cost of shipping. And unlike the old mills, the means of production can be owned by anyone<sup>37</sup>. (GERSHENFELD, 2012, p. 49).*

---

<sup>37</sup> Um design criado lá pode ser enviado eletronicamente em qualquer lugar do mundo para produção sob demanda, o que elimina efetivamente o custo do envio. E, diferentemente das antigas fábricas, os meios de produção podem ser de propriedade de qualquer pessoa. (Tradução livre)



Gershenfeld acredita que, assim como as pessoas têm computadores pessoais em casa, um dia, terão máquinas de fabricação digital e, assim, produzirão seus próprios produtos, o que levaria a uma fabricação pessoal, personalizando os produtos para um “*Market of one person*” (GERSHENFELD, 2012, p. 47).

Em 2003, no *Center for Bits and Atoms* (CBA) do MIT, Gershenfeld reuniu uma série de equipamentos de fabricação digital, subtrativos e aditivos, o que ficou conhecido como *Fabrication Labs*. No mesmo ano, equipamentos similares foram instalados em um laboratório do *South End Technology Center*, em Boston, criando-se, assim, o primeiro *Fab Lab*<sup>38</sup>. Em pouco tempo, um segundo *Fab Lab* surge em Ghana, na África, seguido por outros países africanos, europeus e asiáticos. Efetivando uma rede de laboratórios mundo afora.

Os *Fab Labs* de Gershenfeld se consolidam com objetivos que vão além do mero atendimento de desejos pessoais; com um forte caráter social resumível nos seguintes objetivos: ser um vetor de empoderamento capacitando pessoas; valorização do aprendizado experimental com abordagens colaborativas e transdisciplinares; atender a demandas locais, principalmente em países em desenvolvimento; valorizar inovações ascendentes que partam de pessoas comuns, e não de empresas ou instituições; valorização do empreendedorismo e incubação de novas empresas (FABFOUDATION, 2019).

A tese de Gershenfeld se baseia na troca livre de informações de objetos que podem ser copiados, compartilhados e modificados sem riscos legais. Arquivos *Open Source*<sup>39</sup>, ou código aberto, e licenças *Creative Commons*<sup>40</sup> são maneiras de disponibilizar informação de maneira segura, viabilizando essa rede de trocas idealizadas por pesquisadores como Negroponte.

---

<sup>38</sup> Rede de laboratórios públicos – espaços de criatividade, aprendizado e inovação acessíveis a todos os interessados em desenvolver e construir projetos por meio de processos colaborativos de criação, compartilhamento do conhecimento e do uso de ferramentas de fabricação digital. Fonte: <https://fablablivresp.art.br/o-que-e>. Acessado em 5/12/2019.

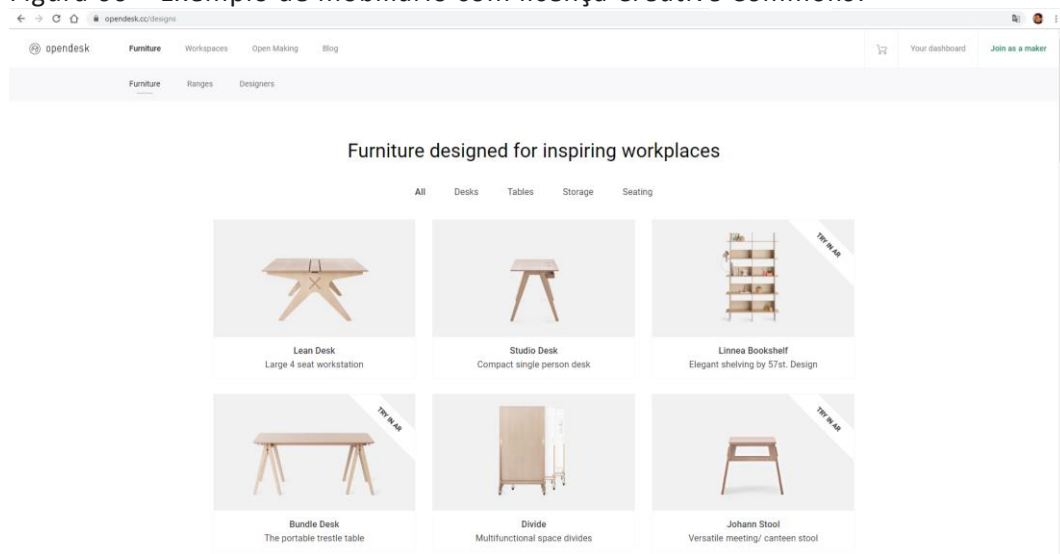
<sup>39</sup> Para uma definição de *Open Source*, veja: <https://opensource.org/osd-annotated>.

<sup>40</sup> Para mais informações sobre licenças *Creative Commons*, veja: <https://creativecommons.org/>.

A troca informal *on-line* de música, viabilizada pelos algoritmos de compactação de arquivos digitais de áudio desenvolvida por Karlheinz Brandenburg e sua equipe, provou que o compartilhamento de informações via internet é quase inevitável; feita de maneira legal ou não. A indústria fonográfica reconheceu essa inevitabilidade abraçando-a e lucrando com isso (WITT, 2015). No entanto persiste o risco de processos judiciais para os que atuam ilegalmente, comprovando a necessidade de contornos oficiais para a disponibilização de arquivos livres (GARNETT, 2001).

Exemplos como o *opendesk.cc* mostram o funcionamento de plataforma de trocas de informações para a produção de objetos baseados em licenças *Creative Commons*. Trata-se de um catálogo de arquivos editáveis (CAD), de objetos, móveis e objetos decorativos, produzíveis em fresadoras CNC (OPENDESK, 2019).

Figura 66 – Exemplo de mobiliário com licença *Creative Commons*.



Fonte: <https://www.opendesk.cc/> (Acessado em 07/01/2020)

Este é justamente o tipo de informação necessário para a utilização dos *Fab Lab*. O aspecto fundamental desses arquivos é o caráter editável da disponibilização da informação via *Creative Commons*, o que a torna efetivamente compartilhável e editável:

*Code is shared openly via Creative Commons, and can be used and adapted by anyone. The system is essentially a bridge between digital and physical, turning script into action. Internet theorist Clay Shirky posted in an online forum, “Na increasing number of physical products are becoming so data-centric that the physical aspect are simply executional steps at the end of a chain of digital manipulation”. That is, there is a shrinking distinction between the physical and the digital world, and Creative Commons is the enabler of fluid sharing within and across them<sup>41</sup>. (RATTI, 2015, p. 87).*

Gui Bonsiepe (2015) resumiu com clareza as expectativas e possibilidades desse novo paradigma produtivo:

*No se puede excluir la posibilidad de que se termine en una fabricación masiva de bibelots. Los objetos autoproducidos, hasta el momento, parecen relativamente modestos, comparados con aplicaciones, por ejemplo, con la medicina en la réplica de huesos para implantes o prótesis. Aparentemente con esta fabricación, un sueño se hace realidad, que cada uno es un diseñador o puede ser un diseñador, y no solamente un diseñador sino también un productor. Utilizando programas que correspondan se pasa inmediatamente de la función de proyecto a la función de producción. La división categórica entre proyecto y producción así se elude<sup>42</sup>. (BONSIEPE, 2015, p. 7)*

Como visto no item 5, a tese de Gershenfeld também vem sendo aplicada à produção de edificações, como nos casos da *WikiHouse* e da *Clip Hut*, com a disponibilização dos desenhos em CAD para a adaptação e fabricação de seus componentes em fresadoras CNC. Assim, surge um novo paradigma de participação do usuário na produção de arquitetura (RATTI, 2015).

Em 2006, o arquiteto Cameron Sinclair propôs uma rede de arquitetura aberta, a *Open Architecture Network* (OAN), cujo objetivo era compartilhar projetos

---

<sup>41</sup> O código é compartilhado abertamente via Creative Commons e pode ser usado e adaptado por qualquer pessoa. O sistema é essencialmente uma ponte entre digital e físico, transformando script em ação. O teórico da Internet Clay Shirky publicou em um fórum online: “Um número crescente de produtos físicos está se tornando tão centrado em dados que o aspecto físico são simplesmente etapas de execução no final de uma cadeia de manipulação digital”. Ou seja, existe uma distinção cada vez menor entre o mundo físico e o digital, e o Creative Commons é o facilitador do compartilhamento de fluidos dentro e entre eles. (Tradução livre)

<sup>42</sup> Não se pode excluir a possibilidade de terminar em uma manufatura maciça de bibelots. Até o momento, os objetos autoproduzidos parecem relativamente modestos, em comparação com as aplicações, por exemplo, com medicamentos em replicação óssea para implantes ou próteses. Aparentemente, com essa fabricação, um sonho se torna realidade: todo mundo é designer ou pode ser designer, e não apenas um designer, mas também um produtor. Usando programas apropriados, a função do projeto é imediatamente transferida para a função de produção. A divisão categórica entre projeto e produção é, portanto, iludida. (Tradução livre)

arquitetônicos para que fossem implementados ou adaptados para países em desenvolvimento. Valorizando o caráter colaborativo e social da arquitetura, o OAN tinha como objetivos dividir ideias e projetos; visualizar e revisar projetos disponibilizados; estimular colaborações mútuas entre profissionais e comunidades; gerenciar projetos da concepção à implementação e garantir o direito à propriedade intelectual usando a licença *Creative Commons* (RATTI, 2015). Em 2019, o site *openarchitecturenetwork.org*<sup>43</sup> não estava mais disponível, no entanto a ideia se perpetua com outras iniciativas de disponibilização *on-line* de projetos arquitetônicos, como as citadas no item 5.

Esse modelo de autoprodução e de personalização individual por meio da fabricação digital também sofreu críticas duras daqueles que afirmam que o modelo representa uma dispersão da capacidade de produção, menor eficiência no uso de recursos e aumento do consumo através da personalização (SMITH, 2013).

Além disso, ante a expectativa de que todos se tornem designers ou arquitetos, com a disponibilização de projetos compartilháveis e editáveis e com a execução viabilizada pela fabricação digital, a maneira como isso ocorrerá é discussão fundamental para sua aplicação.

Em comunidades carentes ou países em desenvolvimento, esperar que pessoas em estado de vulnerabilidade social adquiram as habilidades necessárias para abrir arquivos CAD e criar as modificações arquitetônicas para uma situação específica parece uma fantasia, pois não apenas demandaria uma formação massiva, mas também exigiria disponibilidade de tempo e interesse dos futuros moradores.

Além disso, o processo de projeto para a produção em grande escala também demandaria um tempo considerável, uma vez que todos os membros, ou famílias, de uma comunidade teriam de conseguir realizar suas adaptações. Cada caso

---

<sup>43</sup> Uma versão preservada, mas congelada, está disponível no link: <https://web.archive.org/web/20150317041525/http://openarchitecturenetwork.org/>

traria problemas específicos e dificuldades individuais que exigiriam processos personalizados.

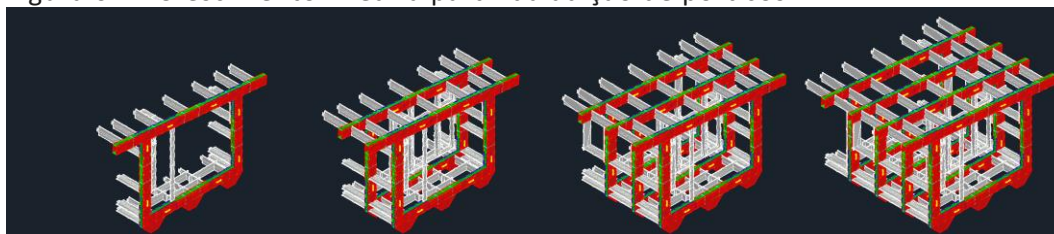
Uma supervisão caso a caso também seria necessária, para que aspectos técnicos fossem atendidos, garantindo a exequibilidade da solução, os custos compatíveis e o efetivo atendimento das reais demandas familiares. Essa supervisão demandaria um tempo proporcional ao número de unidades a serem construídas, que, tendo em vista a realidade atual citada no item 2.3, seriam centenas ou milhares de unidades.

Assim, embora o exercício prático, composto pelos três modelos desenvolvidos pelo TPED, seja baseado na *Wikihouse*, apropriando e modificando uma proposta arquitetônica original como o paradigma da arquitetura *open source* defende, entende-se que uma ferramenta automatizada de transformação da arquitetura é mais adequada para uma efetiva personalização em grande escala das edificações.

### 6.3. Aplicação da customização em massa

O algoritmo surge da solução construtiva no estágio atual, a partir do terceiro modelo, considerando suas características materiais e arquitetônicas. O aumento ou a diminuição da unidade habitacional são condicionados pelo principal elemento estrutural da proposta: o pórtico. Essa característica impõe que o crescimento seja feito pela adição desse elemento, aumentando a casa linearmente.

Figura 67 – Crescimento linear a partir da adição de pórticos.

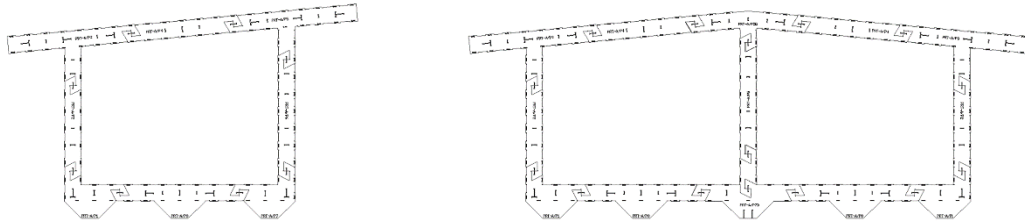


Fonte: Acervo TPED.

A fim de aumentar as possibilidades de variações arquitetônicas, criou-se um pórtico duplo, que, embora não tenha sido construído, é constituído dos mesmos

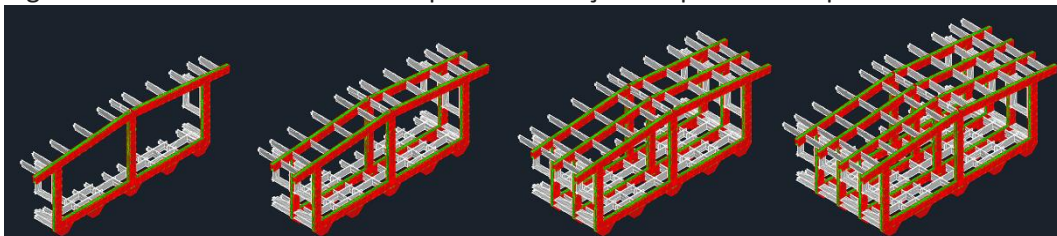
componentes, com exceção de três novos, e apresenta o mesmo vão entre pilares e a mesma inclinação de cobertura.

Figura 65 – Pórtico simples e pórtico duplo.



Fonte: Autoria própria.

Figura 68 – Crescimento linear a partir da adição de pórticos duplos.



Fonte: Autoria própria.

A solução construtiva racionalizada por meio da fabricação digital subtrativa e estruturada em uma coordenação modular definida principalmente pelos ensaios de resistência e dimensão dos painéis de OSB vem de encontro aos autores que defendem a customização em massa. A construção baseada no diálogo CAD/CAM, potencializada pelas interfaces viabilizadas pelas TICs, facilita não apenas a oferta de escolhas por um futuro morador, como também a transmissão imediata das informações necessárias para a produção dos componentes (BARDAKCI; WHITELOCK, 2003; KOLAREVIC, 2005; PINE, 1994).

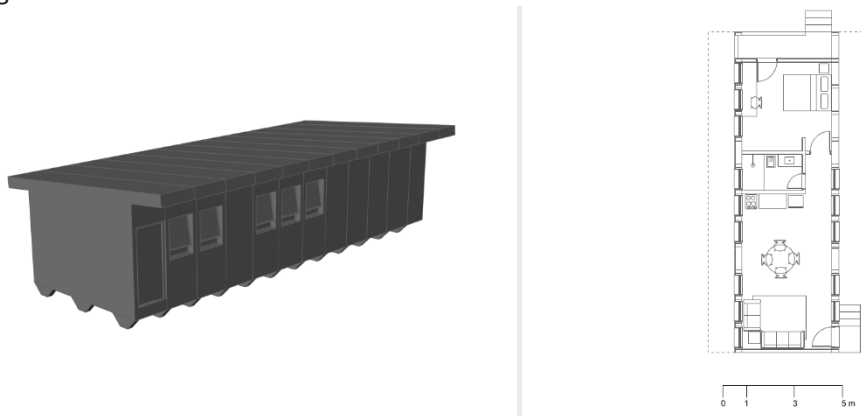
No entanto, em virtude dessa solução construtiva, a adaptação oferecida se dá de duas formas: pela substituição do pórtico simples pelo pórtico duplo ou pela adição de mais pórticos. Essa estratégia permite adicionar ambientes ou aumentar seus tamanhos com a repetição de peças idênticas, tirando proveito da economia em escala, mas com a possibilidade de gerar resultados distintos, viabilizando a desejável adaptação mencionada anteriormente.

Ao compararmos com os seis tipos de modularidades propostos por Pine (1994), o que se propõe é a utilização de dois tipos: a modularidade por permuta de componentes, ao optar por um pórtico simples ou duplo, e uma variação da modularidade por ajuste de componentes, uma vez que não alteramos suas dimensões, mas a adição linear de pórticos altera o tamanho dos ambientes.

No entanto, é importante ressaltar que se trata de uma prova de conceito. Embora o experimento parta de uma solução construtiva realizada, os critérios de personalização não foram definidos por uma situação real, mas de maneira arbitrária, a fim de verificar sua aplicabilidade.

A estratégia de adaptação da unidade residencial parte de uma planta mínima, com sala, cozinha, banheiro e um quarto. Todos os ambientes, com exceção do banheiro, permitem três tamanhos de crescimento: pequeno, médio e grande. Essas variações se dão com a adição de mais pórticos.

Figura 69 – Unidade mínima.



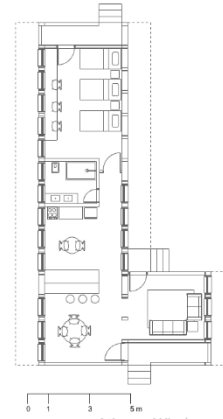
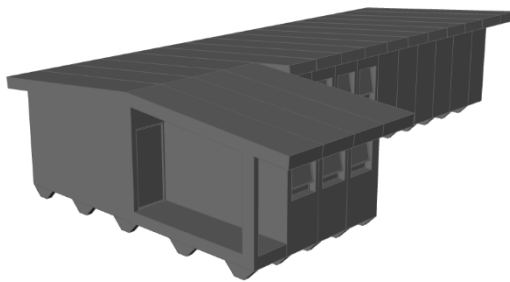
Fonte: Autoria própria.

Cada ambiente conta, inicialmente, com um número de módulos (área entre dois pórticos) que varia de três a cinco, podendo ser ampliado com a adição de mais um, dois ou três módulos (pequeno, médio e grande). O banheiro, tratado como exceção, ocupa apenas dois. Embora o banheiro não se estenda como os demais ambientes, oferecem-se duas opções de tamanho (pequeno e grande). Essas variações devem ser independentes entre elas, permitindo que se altere um ambiente sem necessariamente alterar os demais. Para a sala, também há a opção de substituição do pórtico simples pelo duplo, dobrando sua área. Para a cozinha,



há também outras três opções, como parte da sala ou como um ambiente separado. Nesse segundo caso, a cozinha pode ser fechada ou americana.

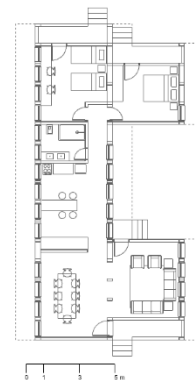
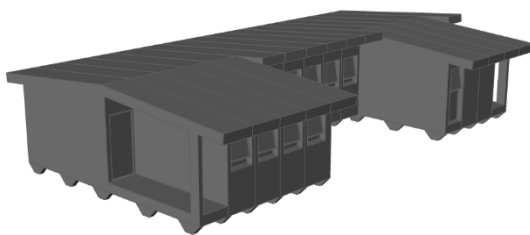
Figura 70 – Opção com sala pequena em pórtico duplo, cozinha média americana, banheiro grande e dormitório 1 grande.



Fonte: Autoria própria.

Com a substituição dos pórticos do quarto por um pórtico duplo, surge um segundo dormitório (dormitório 2) paralelo ao primeiro, ambos com crescimento independente a partir da adição de mais pórticos duplos ou simples.

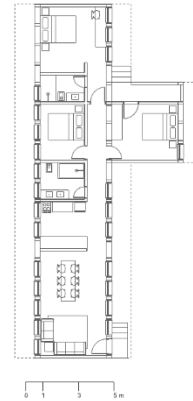
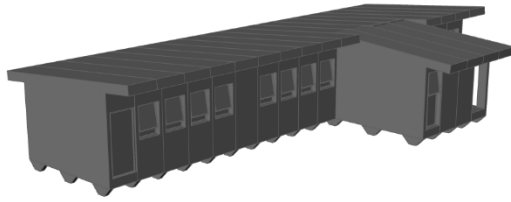
Figura 71 – Opção com sala média em pórtico duplo, com cozinha grande fechada, banheiro pequeno, dormitório 1 médio e dormitório 2 pequeno.



Fonte: Autoria própria.

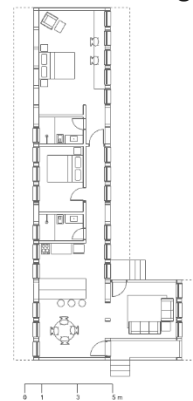
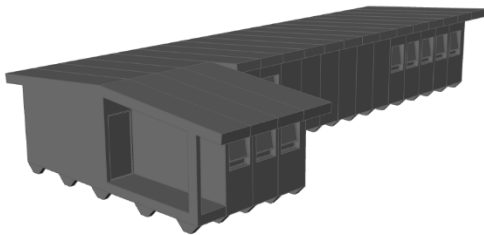
Ainda há a opção de um terceiro dormitório (dormitório 3) no mesmo eixo do primeiro, também com crescimento independente. Assim, a casa pode contar com um, dois ou três dormitórios, havendo duas combinações possíveis para a opção com dois dormitórios: o segundo dormitório paralelo (dormitório 2), ou na sequência linear do primeiro (dormitório 3).

Figura 72 – Opção com sala grande em pórtico simples, com cozinha pequena fechada, banheiro grande, dormitório 1 pequeno, dormitório 2 pequeno e dormitório 3 pequeno.



Fonte: Autoria própria.

Figura 73 – Opção com sala pequena em pórtico duplo, com cozinha pequena americana, banheiro pequeno, dormitório 1 pequeno e dormitório 3 grande.



Fonte: Autoria própria.

Assim, tem-se as seguintes opções para cada ambiente: sala com pórtico simples: pequena, média ou grande; sala com pórtico duplo: pequena, média ou grande; cozinha integrada à sala: pequena, média ou grande; cozinha fechada: pequena, média ou grande; cozinha americana: pequena, média ou grande; banheiro: pequeno ou grande; dormitório 1: pequeno, médio ou grande; dormitório 2: inexistente, pequeno, médio ou grande; dormitório 3: inexistente, pequeno, médio ou grande. Ou seja, são seis opções para a sala, nove opções para a cozinha, duas opções para o banheiro, três opções para o primeiro dormitório e quatro opções para o segundo e o terceiro dormitórios. Em uma análise combinatória, trata-se de um caso de princípio fundamental da contagem, em que se tem

$6*9*2*3*4*4 = 5184$ . Ou seja, essa estratégia permite cinco mil cento e oitenta e quatro combinações diferentes de arranjos de ambientes.

Quadro 13 – Combinações de arranjos de ambientes.

SALA	COZINHA	BANHEIRO	DORMITÓRIO 1	DORMITÓRIO 2	DORMITÓRIO 3
Pequena	Pequena	Pequeno	Pequeno	Inexistente	Inexistente
Média	Média	Grande	Médio	Pequeno	Pequeno
Grande	Grande	2 opções	Grande	Médio	Médio
Pequena	Pequena		3 opções	Grande	Grande
Média	Média		4 opções	4 opções	
Grande	Grande				
6 opções	Pequena				
	Média				
	Grande				
	9 opções				
total: 5.184 combinações					

Fonte: Autoria própria.

A customização em massa, segundo Machado e Moraes (2010), não é a disponibilização de uma grande variedade de produtos, mas sua capacidade de adaptação à demanda do consumidor. Assim, entende-se que a repetição dos pórticos em uma quantidade flexível a fim de dimensionar a casa em função das características familiares e dos usos dos espaços é uma aplicação efetiva do conceito de customização em massa aplicada à arquitetura.

Ao comparar-se o quadro 13 com o quadro de Lampel e Mintzberg (1996), quadro 7, tem-se um caso de Customização Pura. Uma vez que o *design* é personalizável, a fabricação produzirá a quantidade de peças necessária em função desse *design*; a montagem também será adaptada e, por fim, o produto deve ser levado a um local específico.

Quanto às quatro abordagens de Gilmore e Pine (1997), a proposta se enquadra em dois tipos: Colaborativa e Adaptativa. Colaborativa porque há um diálogo efetivo com o futuro morador; e Adaptativa porque se trata de um produto-padrão (pórtico), mas adaptável (quantidade de pórticos).

Segundo as quatro etapas sequenciais definidas por Silveira, Borenstein e Fogliatto (2001), o primeiro passo é atendido com a oferta de opções (tipo de sala, tipo de cozinha, tipo de banheiro e número de dormitórios) e suas dimensões (pequeno,

médio ou grande). O segundo, o terceiro e o quarto passos dependem de uma interface digital e de uma a definição de como se dará o diálogo; o que será explicado em seguida.

Da mesma forma, ao comparar-se a proposta aqui apresentada com os cinco métodos para alcançar a Customização em Massa definidos por Pine (1994), vistos no item 6, a proposta aqui apresentada oferece a modularização dos componentes, entendidos aqui como pórticos. No entanto os outros três métodos dependem de uma ferramenta de aplicação, aqui entendida como um algoritmo e sua interface de diálogo com o futuro morador.

O algoritmo foi desenvolvido tendo o terceiro modelo construído como base para suas definições. Assim, a sucessão de pórticos é mote da customização e da construção do modelo digital.

#### 6.4. A Construção do algoritmo

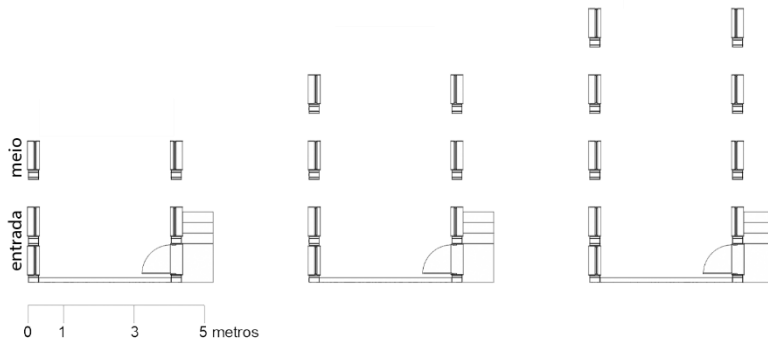
A construção do modelo digital se inicia com a decomposição do desenho em ambientes: sala, cozinha, banheiro e dormitórios, e a decomposição desses ambientes em partes, que podem ser definidas por um ou mais módulos. Essas partes são identificadas como ENTRADA, MEIO e, eventualmente, FUNDO. O crescimento dos ambientes se dá pela adição da parte chamada de MEIO.

Os desenhos buscam representar a materialidade da construção, evidenciando as espessuras variadas de paredes, portas e janelas, bem como a posição dos pilares. Os desenhos foram feitos em AutoCAD como blocos separados para que pudessem ser tratados de maneira independente na parametrização do processo generativo de geração de resultados. A decomposição dos ambientes em partes é detalhada a seguir:

**SALA COM PÓRTICO SIMPLES:** a sala com pórtico simples é decomposta em duas partes: a ENTRADA, composta por dois módulos, e o MEIO, composto, a princípio, por um módulo só. A sala de pórtico simples não conta com a parte FUNDO, uma

vez que o ambiente seguinte, a cozinha, definirá se haverá ou não uma divisão entre esses ambientes.

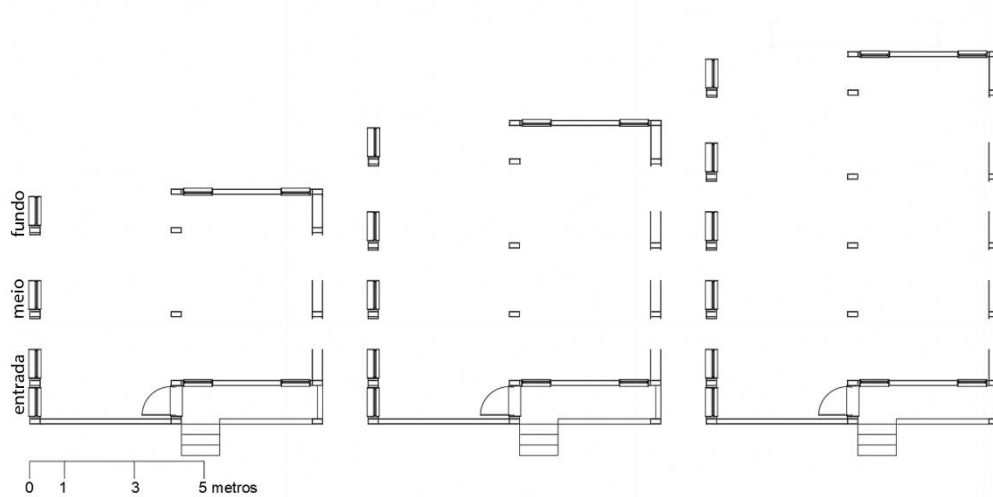
Figura 74 – Decomposição da sala de pórtico simples.



Fonte: Autoria própria.

**SALA COM PÓRTICO DUPLO:** a sala com pórtico duplo é decomposta em três partes: ENTRADA, MEIO e FUNDO, com a entrada composta por dois módulos. O FUNDO é construtivamente composto de uma parede até a metade do pórtico duplo; a outra metade fica vazia, à espera do ambiente seguinte. O primeiro módulo da parte ENTRADA foi dividido para abrigar um alpendre que marca o acesso da construção, criando uma área transitória entre exterior e interior.

Figura 75 – Decomposição da sala de pórtico duplo.

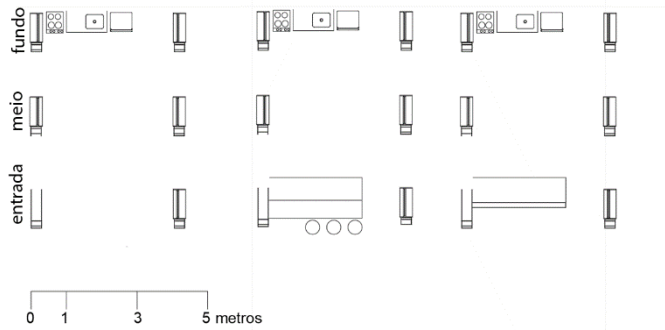


Fonte: Autoria própria.

**COZINHA:** é dividida em três partes, ENTRADA, MEIO e FUNDO e conta com três ENTRADAS diferentes. A primeira, sem nenhuma divisão, com o ambiente anterior (aberta), a sala. A segunda com um balcão, que sugere uma *cozinha americana*. Já a terceira opção apresenta uma parede transformando a cozinha em um ambiente

completamente separado (fechada). Novamente, o crescimento do ambiente se dá pela adição de mais um ou dois módulos da parte MEIO.

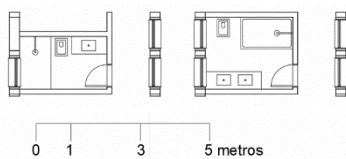
Figura 76 – Opções para a cozinha.



Fonte: Autoria própria.

**BANHEIRO:** conta com apenas duas opções, pequeno e grande. Nota-se que a opção pequeno oferece um espaço para armário no dormitório.

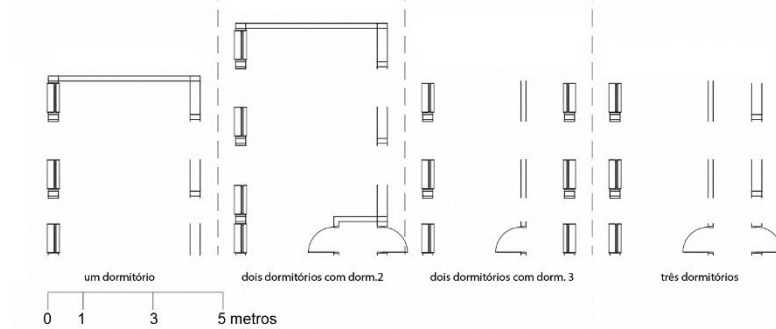
Figura 77 – Opções para o banheiro.



Fonte: Autoria própria.

**DORMITÓRIO 1:** para atender diferentes opções de dormitórios, o primeiro deles é apresentado com quatro opções. Primeira: quando há apenas um dormitório; segunda: quando há um segundo dormitório paralelo ao primeiro; terceira: quando há um segundo dormitório na sequência linear do primeiro, formando um corredor; quarta: quando há três dormitórios, com o terceiro dormitório também formando um corredor. Todas as opções têm o ambiente dividido em três partes, ENTRADA, MEIO e FUNDO. Na segunda opção, a primeira parte, ENTRADA, é composta de dois módulos. O crescimento desse ambiente também se dá pela adição da parte MEIO, com três possibilidades, que são: um MEIO (pequeno); dois MEIOS (médio); e três MEIOS (grande).

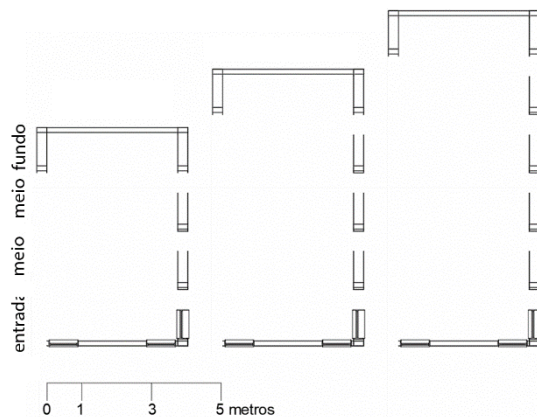
Figura 78 – Opções para o dormitório 1.



Fonte: Autoria própria.

**DORMITÓRIO 2:** o ambiente que surge com a substituição dos pórticos simples, do primeiro dormitório, por pórticos duplos se apresenta também dividido em três partes: ENTRADA, MEIO e FUNDO. Cada uma delas definida por apenas um módulo. Seu crescimento também se dá pela adição de mais partes MEIO. No entanto a menor opção de tamanho, pequeno, conta com duas partes MEIO.

Figura 79 – Opções para o dormitório 2.

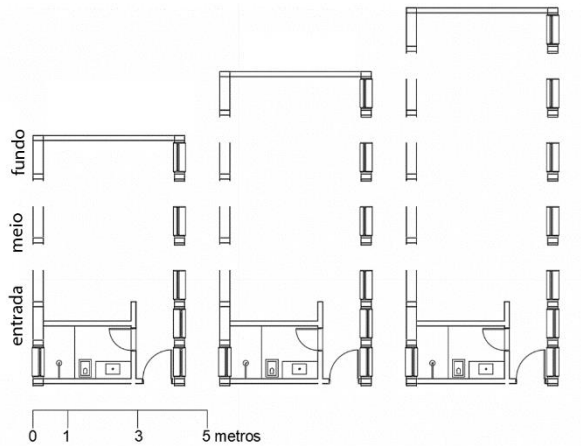


Fonte: Autoria própria.

**DORMITÓRIO 3:** o dormitório que surge na sequência linear do primeiro também é dividido em três partes: ENTRADA, MEIO e FUNDO. No entanto a ENTRADA conta com três módulos, uma vez que abriga um segundo banheiro. O crescimento novamente se dá pela adição da parte MEIO, oferecendo três tamanhos para o ambiente: pequeno, médio e grande.



Figura 80 – Opções para o dormitório 3.

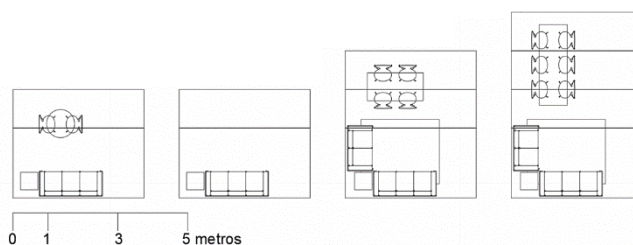


Fonte: Autoria própria.

As plantas também contam com um *layout* do mobiliário, permitindo uma melhor compreensão das dimensões internas dos ambientes e do impacto das ampliações na capacidade de uso do espaço. Assim, esse *layout* se modifica à medida que se escolhe entre as opções ofertadas. Embora problematize-se o uso real dos espaços, como visto no item 6.1, o que se espera com o mobiliário representado é facilitar a leitura do espaço e, assim, a suposição de outras atividades. As opções de plantas com *layout* do mobiliário podem, então, ser apresentadas com as características listadas a seguir.

**SALA COM PÓRTICO SIMPLES:** são oferecidas quatro opções de *layout* adequados ao tamanho do ambiente, pequeno, médio ou grande. Quando se opta pela sala pequena, o mobiliário se modifica em função da cozinha. Quando é escolhida a opção *cozinha americana*, não há mesa de refeições.

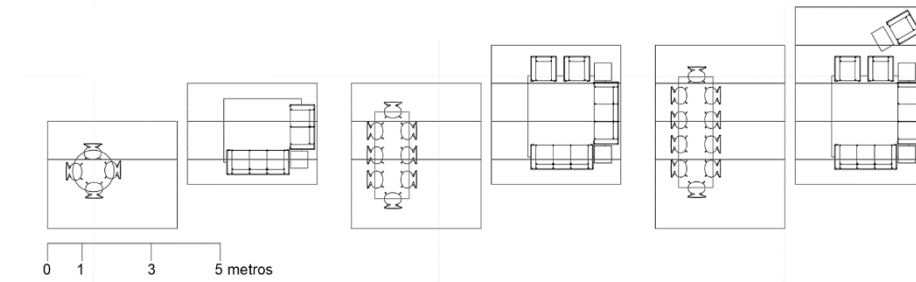
Figura 81 – *Layout* sala pórtico simples.



Fonte: Autoria própria.

**SALA COM PÓRTICO DUPLO:** conta com três opções de *layout*, para cada um dos tamanhos possíveis, pequeno, médio ou grande.

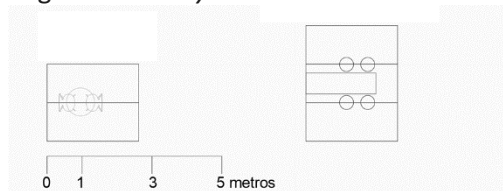
Figura 82 – *Layout* sala pórtico duplo.



Fonte: Autoria própria.

COZINHA: também apresenta apenas duas opções de mobiliário em função de sua ampliação. Trata-se de uma mesa de dois lugares para uma cozinha média e uma ilha central com quatro lugares para uma cozinha grande.

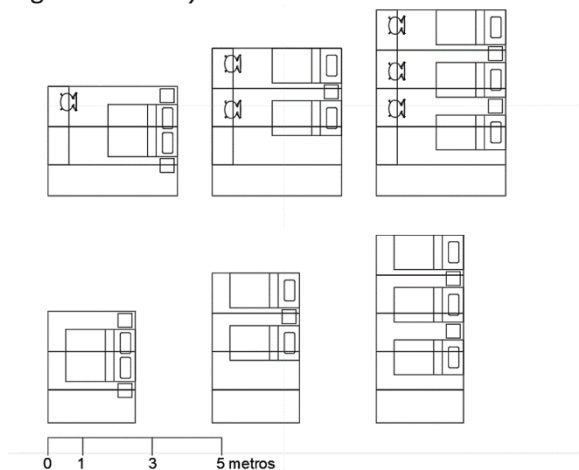
Figura 83 – *Layout* cozinha.



Fonte: Autoria própria.

DORMITÓRIO 1: as opções de *layout* atendem não apenas o tamanho do ambiente, pequeno, médio ou grande, como também a variação resultante da existência ou não do dormitório 3 na sequência linear do dormitório 1, o que demanda um corredor de acesso que reduz a largura do primeiro dormitório. Assim, são apresentadas seis opções de *layout*, com três para opção sem corredor e três para a opção com corredor.

Figura 84 – *Layout* dormitório 1.



Fonte: Autoria própria.

DORMITÓRIO 2: conta com três opções de *layout* conforme seus três tamanhos possíveis.

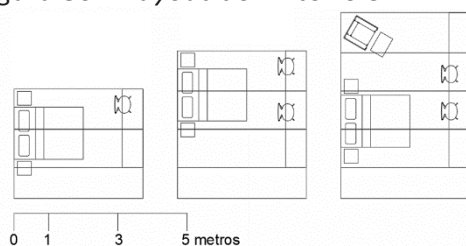
Figura 85 – *Layout* dormitório 2.



Fonte: Autoria própria.

DORMITÓRIO 3: tal qual o dormitório 2, o terceiro dormitório também conta com três opções de *layout* conforme seus três tamanhos possíveis.

Figura 86 – *Layout* dormitório 3.

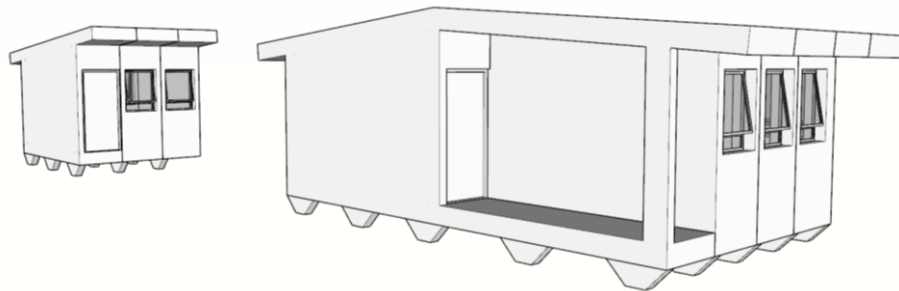


Fonte: Autoria própria.

Para facilitar ainda mais a leitura da arquitetura resultante, todos esses elementos também são desenhados em três dimensões, gerando um modelo da volumetria da proposta. A construção desses desenhos se deu da mesma forma, por decomposição dos ambientes em partes, ENTRADA, MEIO e FUNDO, e a decomposição dessas partes em módulos. No entanto o modelo tridimensional teve de se adequar às características dos volumes, como substituição de pórtico simples por pórtico duplo, e, por não apresentar o interior da edificação, demandou menos opções de alguns ambientes. A ampliação dos ambientes também se dá pela adição da parte MEIO. Os desenhos dos volumes foram feitos em *SketchUp*.

Salas de pórtico simples e de pórtico duplo:

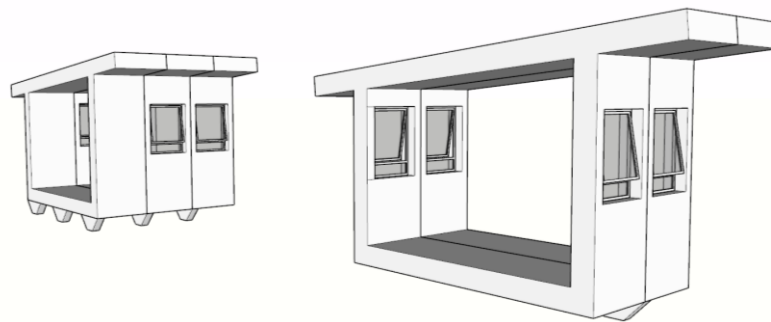
Figura 87 – Decomposição dos volumes da sala.



Fonte: Autoria própria.

COZINHA: a parte ENTRADA da cozinha fará parte do bloco da sala quando esta contar com pórtico duplo.

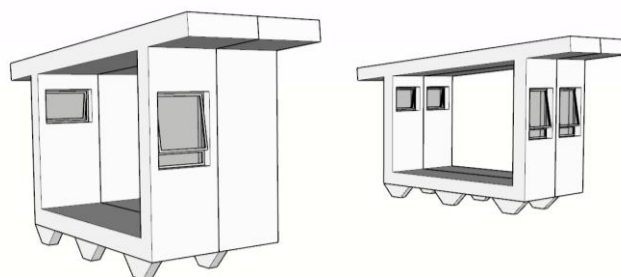
Figura 88 – Decomposição dos volumes da cozinha.



Fonte: Autoria própria.

BANHEIRO: a variação se dá conforme o número de janelas. O banheiro pequeno tem menos janelas que o grande.

Figura 89 – Decomposição dos volumes do banheiro.

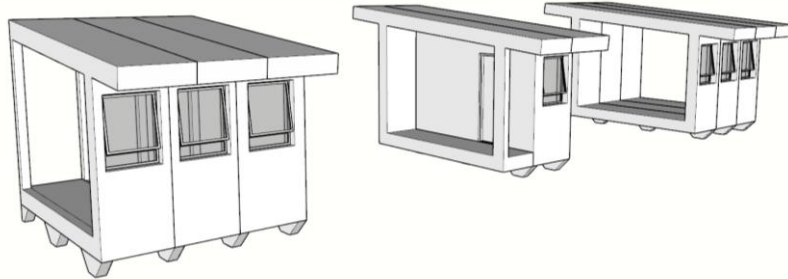


Fonte: Autoria própria.

DORMITÓRIO 1: são necessárias três opções para a volumetria deste ambiente. A primeira quando houver dormitório 2, a segunda quando não houver nem

dormitório 2 nem dormitório 3 e a terceira quando houver dormitório 3, mas não houver dormitório 2.

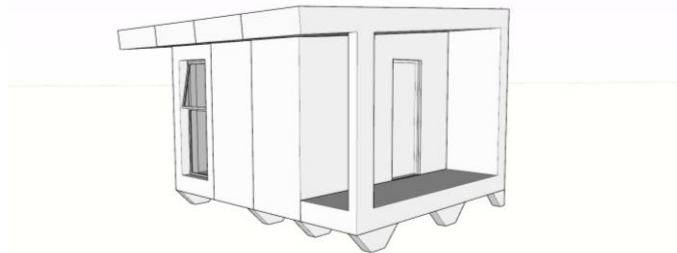
Figura 90 – Decomposição dos volumes do dormitório 1.



Fonte: Autoria própria.

**DORMITÓRIO 2:** conta com apenas uma opção.

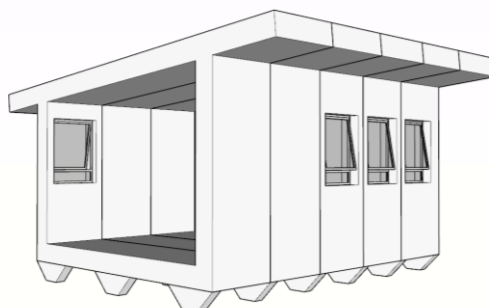
Figura 91 – Decomposição do volume do dormitório 2.



Fonte: Autoria própria.

**DORMITÓRIO 3:** também conta com apenas uma opção.

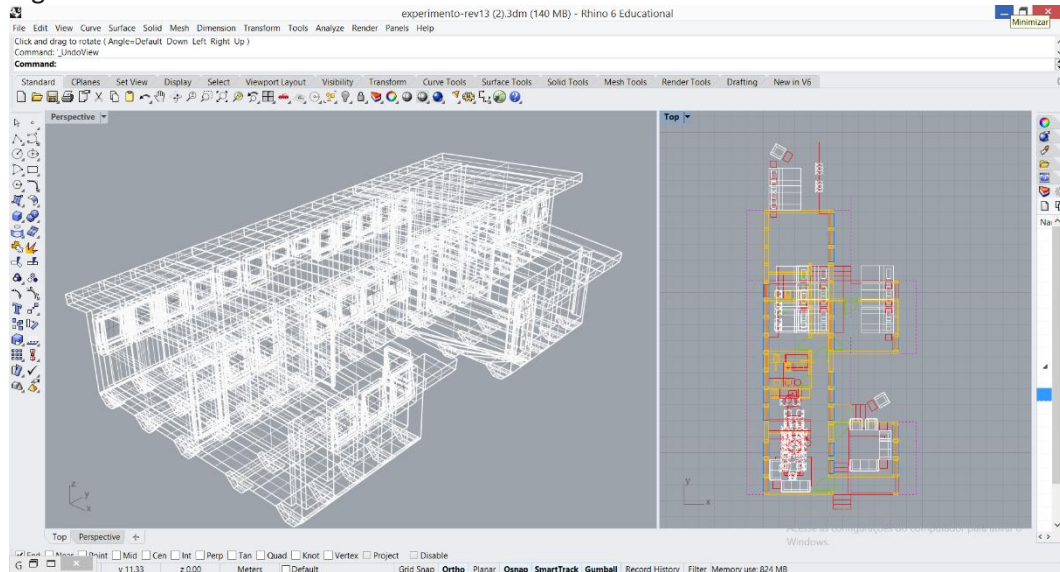
Figura 92 – Decomposição do volume do dormitório 3.



Fonte: Autoria própria.

Os desenhos, as plantas e os volumes foram, então, inseridos no *Rhinceros* para ser parametrizados no *plugin de visual programming language, Grasshopper*.

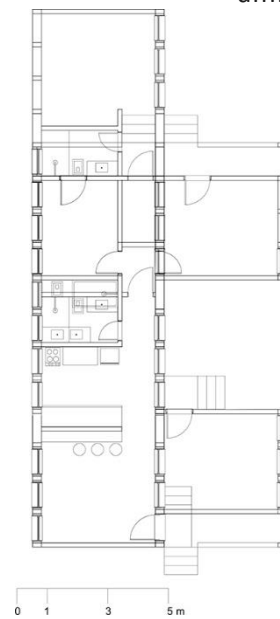
Figura 93 – Geometrias no *Rhinceros*.



Fonte: Autoria própria.

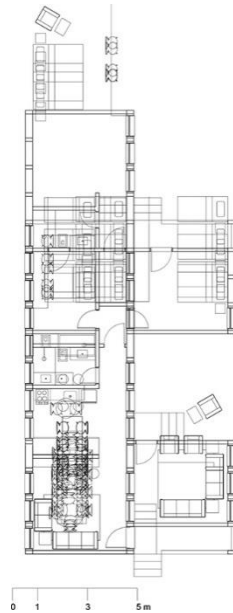
Todos os ambientes são inseridos com suas partes unidas, formando uma planta com sobreposições. A partir da sala, cada ambiente deve ser posicionado junto à última parte do ambiente anterior, (FUNDO ou MEIO). A adição de MEIOS de um ambiente deve empurrar a ENTRADA do ambiente seguinte e, consequentemente, seus MEIOS e FUNDOS.

Figura 94 – Sobreposição dos ambientes



Fonte: Autoria própria.

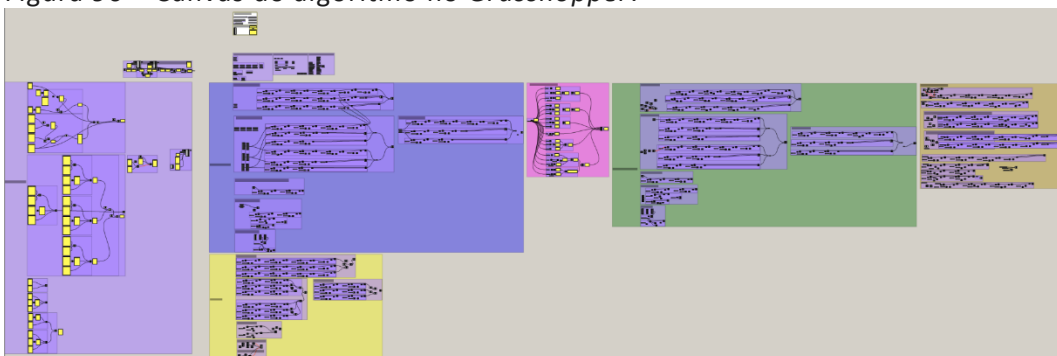
Figura 95 – Sobreposição dos *layouts*.



Fonte: Autoria própria.

O algoritmo foi organizado em grandes blocos de comandos, a partir de geometrias: plantas, *layout* e modelo tridimensional; e ações: parametrização das geometrias, cálculo da área construída, numeração da combinação e quantificação dos painéis a serem usinados e geração de um código para cada combinação possível. Além desses, há outros dois blocos: o conjunto de geometrias importadas do *Rhinceros* ao *Grasshopper* e o bloco com os controles de interação e iteração.

Figura 96 – Canvas do algoritmo no *Grasshopper*.



Fonte: Autoria própria.

Os desenhos de *layout* também são sobrepostos, uma vez que são posicionados a partir de um ponto de inserção comum a todos: no canto inferior esquerdo do ambiente correspondente.

Os blocos de mobiliários (quartos, cozinha e salas) são agrupados de forma que possam ser selecionados individualmente, sem interferência entre eles.



## Parametrização das geometrias

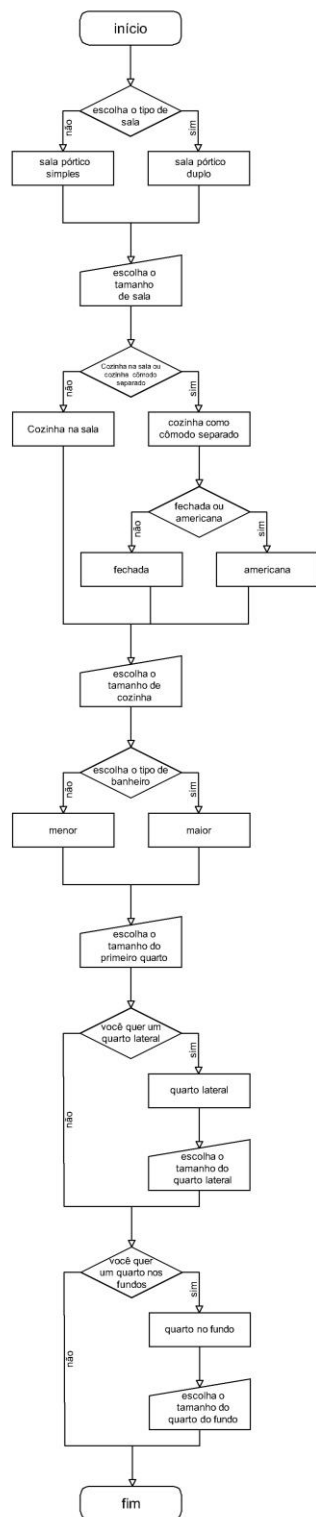
O primeiro bloco de comandos criado foi chamado de arquitetura, pois controlava os desenhos em planta dos ambientes. Sua estruturação segue a sequência da própria arquitetura, iniciando-se por, de baixo para cima, sala, cozinha, banheiro, dormitório 1, dormitório 2 e dormitório 3.

Figura 97 – Comandos de edição das geometrias das plantas.



Fonte: Autoria própria.

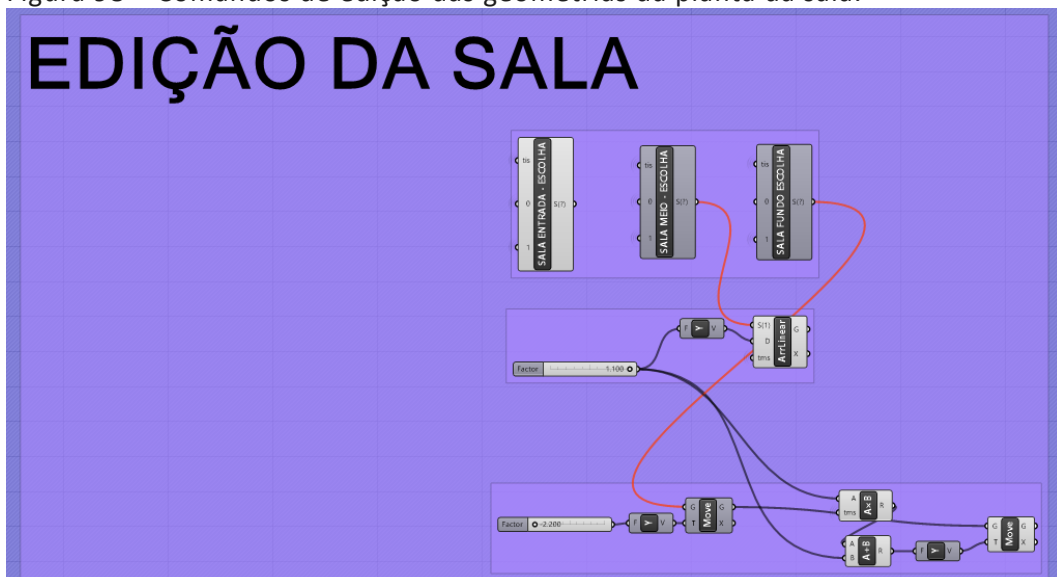
Diagrama 1 – Diagrama de blocos do algoritmo.



Fonte: Autoria própria.

SALA: o primeiro ambiente tem suas geometrias (ENTRADA, MEIO e FUNDO) associadas ao comando *Stream Filter*, que viabiliza a escolha entre sala de p3rtico simples e sala de p3rtico duplo. Assim, a parte ENTRADA 3 fixa, n3o se move, pois est3 associada apenas ao comando *Stream Filter*. J3 a parte MEIO, al3m das op33es dos dois tipos de p3rtico, tamb3m est3 associada ao comando *Linear Array*, que acrescentar3 mais m3dulos, aumentando o tamanho do ambiente. Por fim, a parte FUNDO deve mover-se em fun33o do crescimento do ambiente a partir da adi33o de mais m3dulos da parte MEIO, assim, o mesmo comando *Slider* (tamanho da sala – tms) que controla a adi33o de MEIOS tamb3m define quanto o FUNDO deve ser movido. Todas as movimentaç3es, seja por *Linear Array* seja pelo comando *Move*, se d3o em apenas um vetor, neste caso, no eixo Y do plano cartesiano.

Figura 98 – Comandos de edi33o das geometrias da planta da sala.

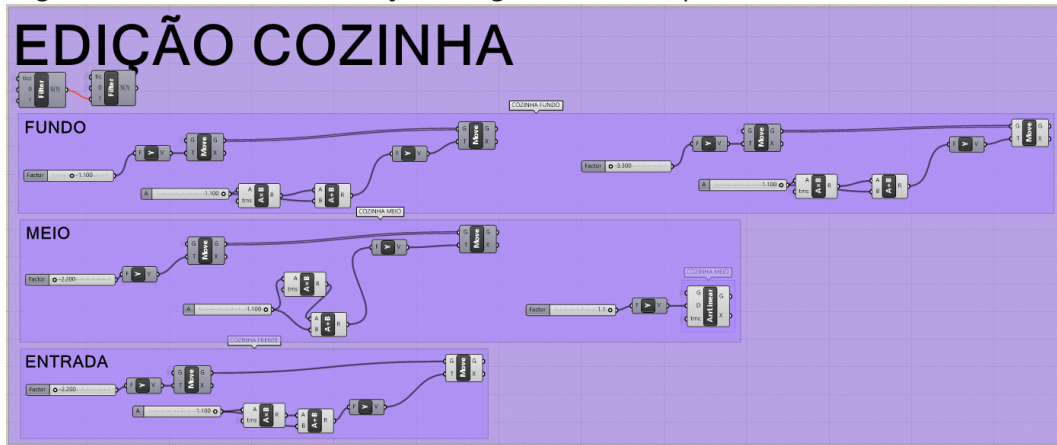


Fonte: Autoria pr3pria.

COZINHA: dois comandos *Stream Filter* permitem que se escolha a ENTRADA da cozinha (aberta, americana ou fechada). Em seguida, essa entrada se desloca no eixo Y a partir do mesmo *Slider* (tms) que define o tamanho da sala. Assim, garante-se que a entrada da cozinha seja arrastada ao longo do mesmo vetor 3 medida que o ambiente anterior 3 modificado. J3 o MEIO da cozinha, al3m de mover-se a partir do tms, tamb3m est3 associado ao comando *Linear Array*, que permite o crescimento do ambiente controlado pelo *Slider* tmc (tamanho da

cozinha). Já o FUNDO, além de mover-se conforme o tms, também deve ser deslocado em função do tmc.

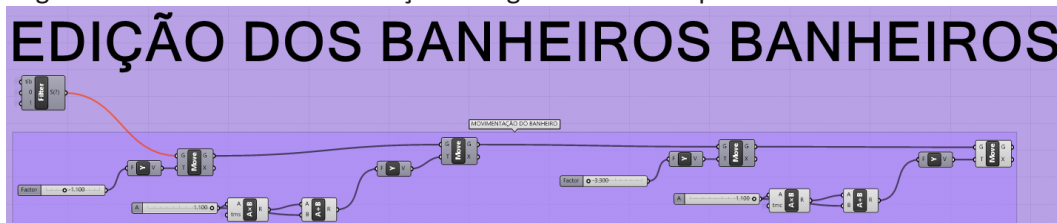
Figura 99 – Comandos de edição das geometrias da planta da cozinha.



Fonte: Autoria própria.

BANHEIRO: um único comando *Stream Filter* seleciona as duas opções desse ambiente. Em seguida, comandos *Move* vinculados aos *Sliders* tms e tmc movimentarão as geometrias.

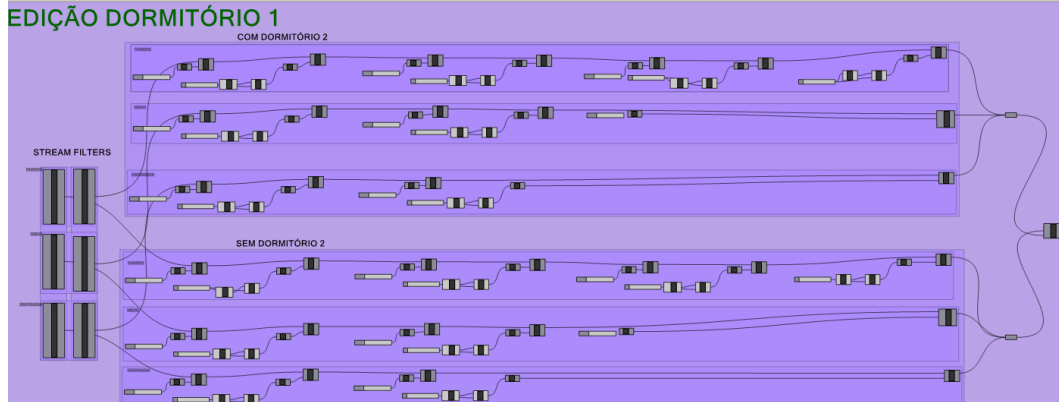
Figura 100 – Comandos de edição das geometrias da planta do banheiro.



Fonte: Autoria própria.

DORMITÓRIO 1: o bloco mais extenso de comandos deve lidar com uma série de variáveis. Seis comandos *Stream Filters* orientarão a sequência do algoritmo a partir das escolhas entre haver e não haver os dormitórios 2 e 3. Assim, as escolhas são feitas entre as quatro opções de plantas para esse dormitório, conforme visto no item 6.4. A parte ENTRADA é deslocada em função dos ambientes anteriores, controlada pelos *Sliders* tms e tmc. Em seguida, as opções de MEIO deverão ser deslocadas pelos *Sliders* tms e tmc, além de contarem com o *Linear Array* controlado pelo *Slider* tmq (tamanho do quarto), que adicionará mais módulo ampliando o ambiente. Assim, o FUNDO do dormitório 1 se deslocará ao longo do eixo Y controlado pelos *Sliders* tms, tmc e tmq.

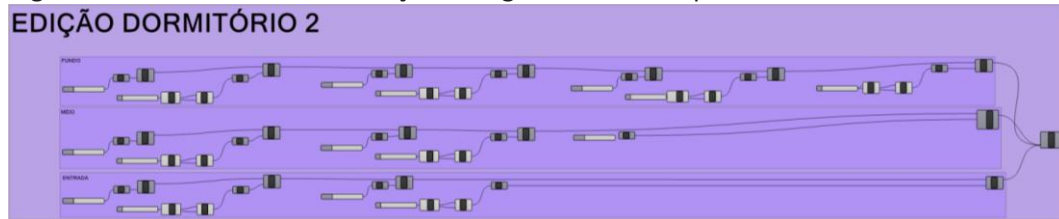
Figura 101 – Comandos de edição das geometrias da planta do dormitório 1.



Fonte: Autoria própria.

DORMITÓRIO 2: o *Stream Filter* no final do conjunto definirá a existência do dormitório 2. Assim, os comandos desse bloco são essencialmente *Move* e *Linear Array*. A ENTRADA é movida pelo *Sliders* tms e tmc. O MEIO é movido pelos mesmos *Sliders*. Já o *Linear Array* controla a adição de MEIOS, controlado pelo *Slider* tmq (tamanho do segundo dormitório).

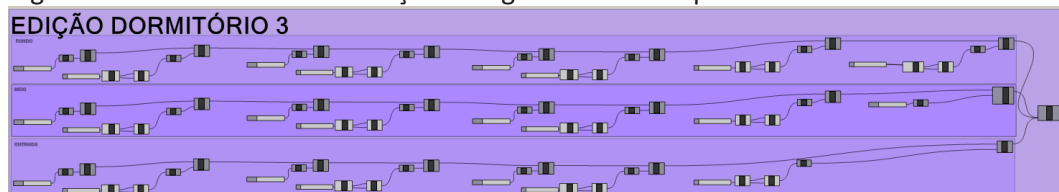
Figura 102 – Comandos de edição das geometrias da planta do dormitório 2.



Fonte: Autoria própria.

DORMITÓRIO 3: o *Stream Filter* no final do conjunto definirá a existência deste dormitório. Assim, os comandos desse bloco são essencialmente *Move* e *Linear Array*. A ENTRADA é movida pelos *Sliders* tms, tmc e tmq. O MEIO é movido pelos mesmos *Sliders*. Já o *Linear Array* controla a adição de MEIOS, controlado pelo *Slider* tmqq (tamanho do terceiro dormitório).

Figura 103 – Comandos de edição das geometrias da planta do dormitório 3.

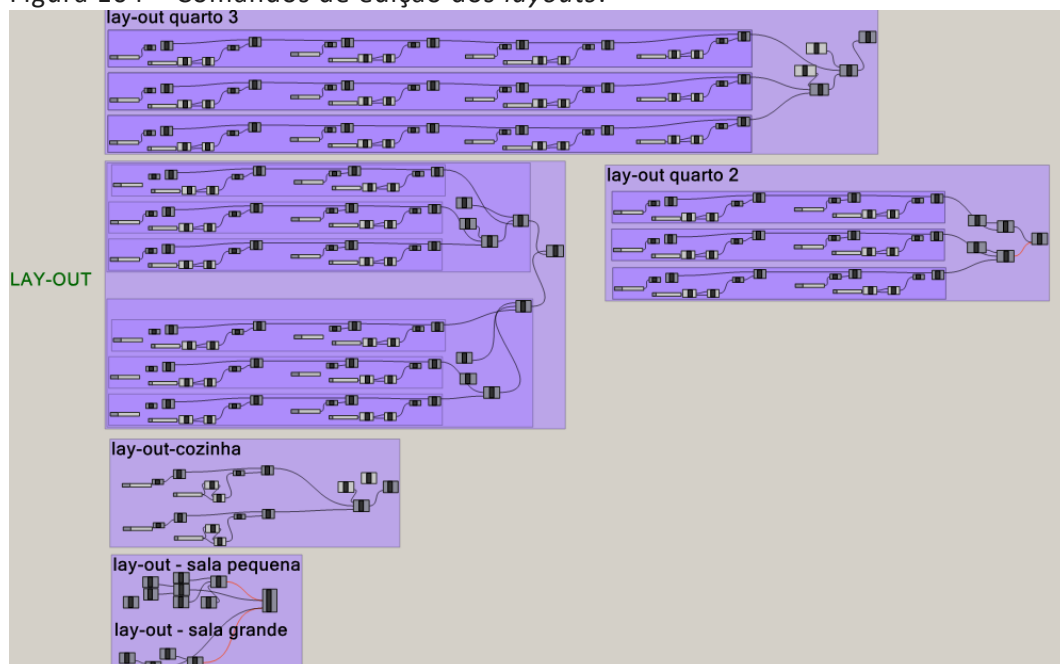


Fonte: Autoria própria.

A estratégia se resume em três ações principais representadas pelos comandos *Stream Filter*, *Move* e *Linear Array*. A escolha por uma opção ou outra (por exemplo: sala de pátio simples ou sala de pátio duplo) ou a existência ou não de um ambiente (por exemplo: dormitório 2) é definida pelos *Stream Filters* controlados por uma ferramenta *Boolean Toggle* que permite que se escolha entre as opções *True* e *False*. Cada parte (ENTRADA, MEIO e FUNDO) de cada ambiente deve mover-se em função do próprio crescimento e do crescimento dos ambientes anteriores. Assim, há um sucessivo acúmulo de comandos *Move* vinculados aos *Sliders* de crescimento dos ambientes anteriores e aos *Sliders* de crescimento do próprio ambiente pelo comando *Linear Array*.

Já a estrutura de códigos de colocação de *layouts* se baseia essencialmente no comando *Stream Filter*, vinculado aos *Sliders* que definem os tamanhos *dos ambientes* pelo comando *Linear Array*. Ou seja, para cada tamanho de ambiente (pequeno, médio ou grande) há um *layout* específico. Além disso, esses *layouts* também devem ser deslocados ao longo do eixo Y com a mesma sucessão de comandos *Move* vinculados aos *Sliders* de crescimentos dos ambientes: tms, tmc, tmq.

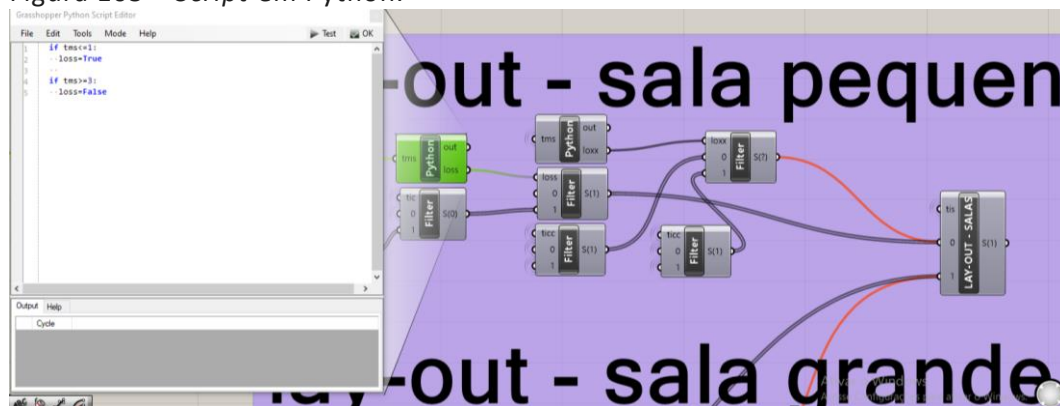
Figura 104 – Comandos de edição dos *layouts*.



Fonte: Autoria própria.

No entanto, como a variação que controla o *Stream Filter* depende de um alcance que varia em função das três opções de tamanho do ambiente, foi necessário controlar o *Stream Filter* por meio de pequenos *scripts* escritos em *Python* que permitem essa variação. Por exemplo, se o tamanho da sala for menor ou igual a 1, definido pelo *Slider tms*, a opção é *True*. Caso o valor do *tms* seja maior ou igual a 3, a opção é *False*.

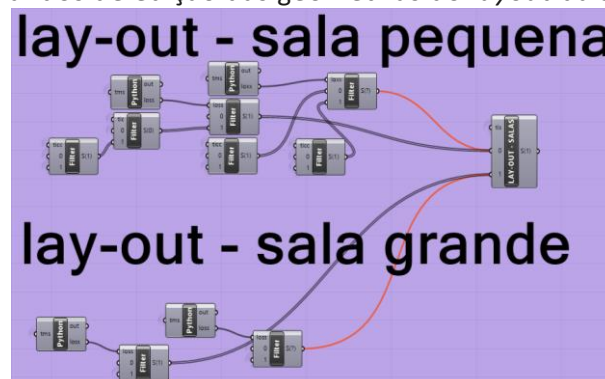
Figura 105 – *Script* em *Python*.



Fonte: Autoria própria.

SALA: a opção com pórtico simples apresenta quatro opções de *layout* que são filtradas por uma série de *Stream Filters* em função do tamanho da sala e da característica da cozinha. Já a opção com pórtico duplo tem três possibilidades de *layout*, selecionáveis por três comandos *Stream Filters*; o primeiro com a opção de sala pequena e o segundo com as opções média e grande. No final da sequência algorítmica, há um *Stream Filter* que seleciona o tipo de sala.

Figura 106 – Comandos de edição das geometrias do *layout* da sala.

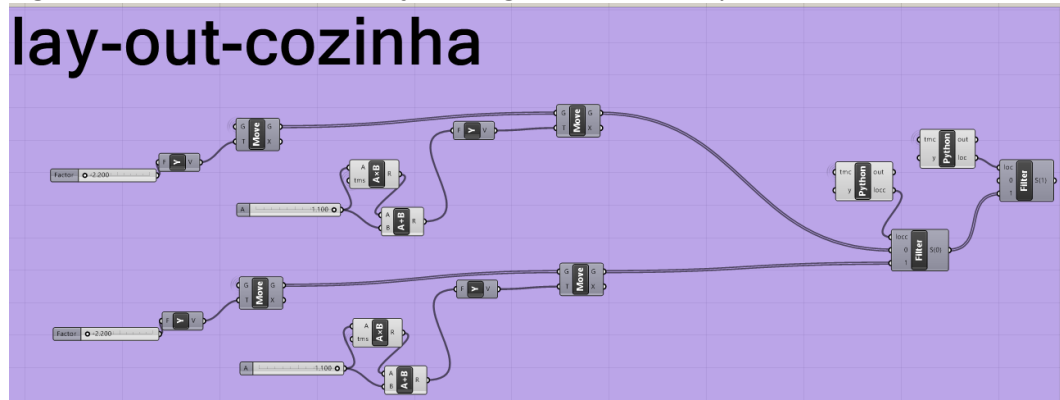


Fonte: Autoria própria.



COZINHA: oferece apenas dois *layouts* possíveis. O primeiro para a cozinha média, e o segundo para a cozinha grande. No entanto esses *layouts* devem ser deslocados com a ampliação da sala. Comandos *Move* vinculados ao *Slider* tms movem os desenhos enquanto dois *Stream Filters* selecionam a opção sem *layout* para a cozinha pequena, ou as opções para cozinhas maiores.

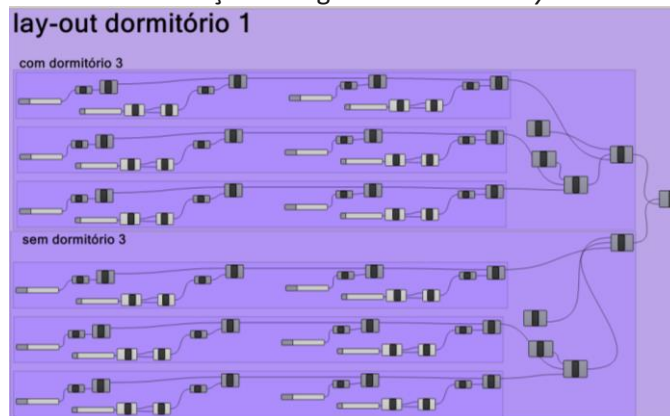
Figura 107 – Comandos de edição das geometrias do *layout* da cozinha.



Fonte: Autoria própria.

DORMITÓRIO 1: apresenta seis opções de *layout* para atender as variações arquitetônicas. Três delas para a opção sem o dormitório 3, consequentemente sem o corredor que leva até ele, e três opções com esse dormitório. Assim, uma série de comandos *Move* desloca os desenhos em função dos tamanhos da sala e da cozinha (*Sliders* tms e tmc), com comandos *Stream Filters* na sequência que optam pelo *layout* adequado ao tamanho da sala, definidos pelo *Slider* tms. Por fim, o último comando é um *Stream Filter* que seleciona entre a opção com e a sem dormitório 3.

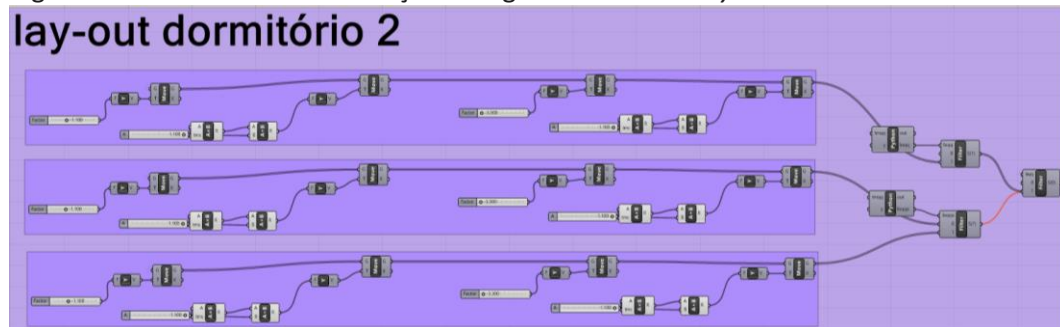
Figura 108 – Comandos de edição das geometrias do *layout* do dormitório 1.



Fonte: Autoria própria.

DORMITÓRIO 2: oferece três opções de *layout* que se deslocam no eixo Y pelos *Sliders* tms e tmc e, por fim, são filtrados por uma série de *Stream Filters*, adequando-se ao tamanho do ambiente, controlados pelo *Slider* tmqq.

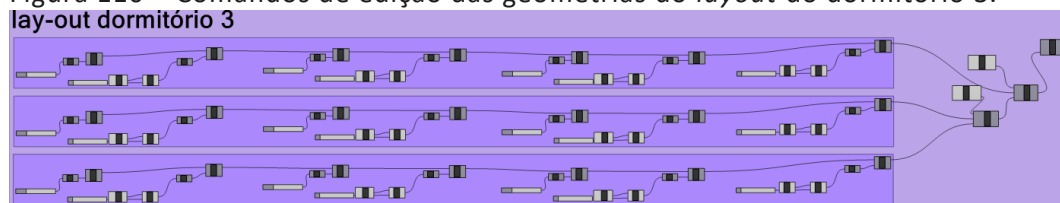
Figura 109 – Comandos de edição das geometrias do *layout* do dormitório 2.



Fonte: Autoria própria.

DORMITÓRIO 3: apresenta três opções de *layout* que se deslocam no eixo Y pelos *Sliders* tms, tmc e tmq e, por fim, são filtrados por uma série de *Stream Filters*, adequando-se ao tamanho do ambiente, controlados pelo *Slider* tmqqq.

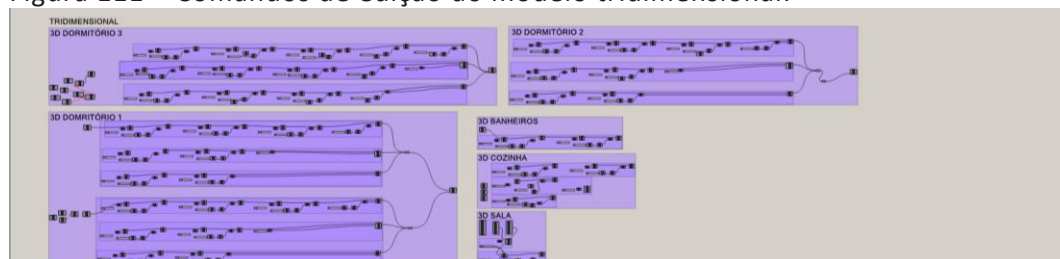
Figura 110 – Comandos de edição das geometrias do *layout* do dormitório 3.



Fonte: Autoria própria.

Nas sequências algorítmicas dos *layouts*, predominam os comandos *Stream Filter* e *Move*, selecionando e movendo as opções para cada tamanho de ambiente. Já na sequência de comando para o gerenciamento do modelo tridimensional, a estratégia das plantas se repete, com a predominância dos três comandos: *Stream Filter*, *Move* e *Linear Array*.

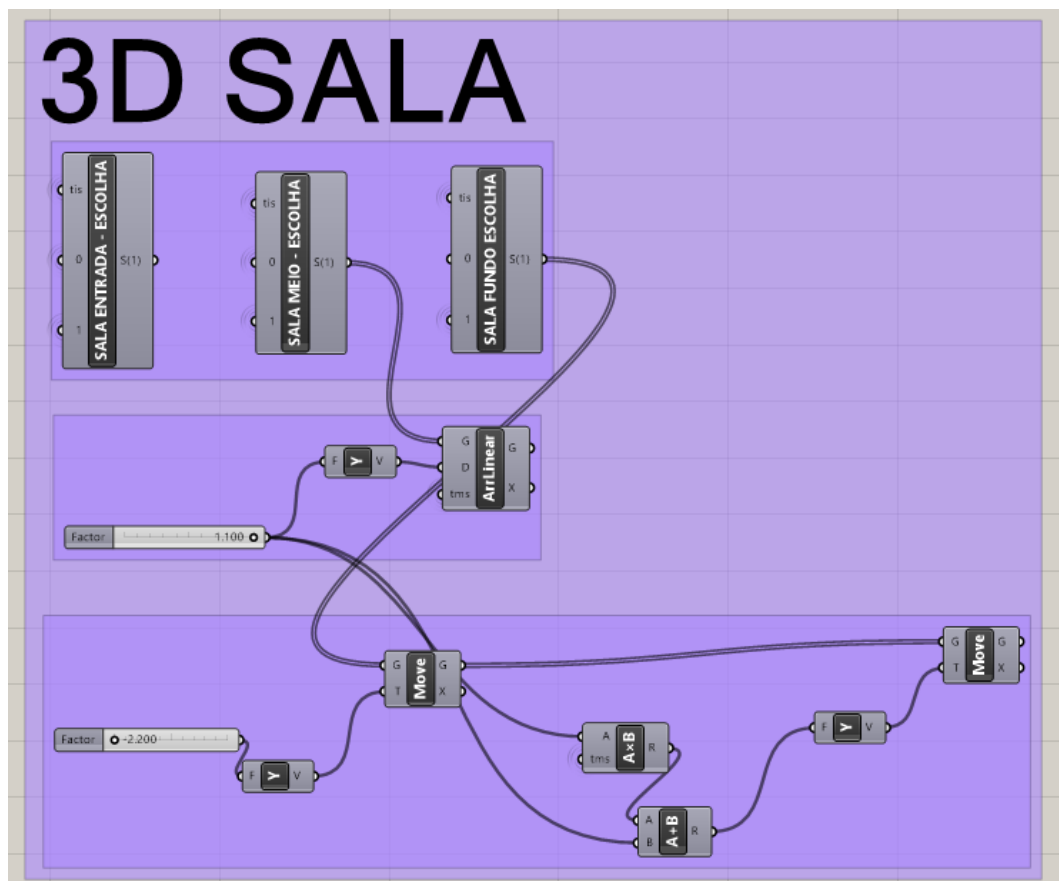
Figura 111 – Comandos de edição do modelo tridimensional.



Fonte: Autoria própria.

SALA: o primeiro ambiente tem suas geometrias (ENTRADA, MEIO e FUNDO) associadas ao comando *Stream Filter*, que viabiliza a escolha entre a sala de p3rtico simples e a de p3rtico duplo. Assim, a parte ENTRADA 3 fixa, n3o se move, e est3 associada apenas ao comando *Stream Filter*. J3 a parte MEIO, al3m das op33es dos dois tipos de p3rtico, tamb3m est3 associada ao comando *Linear Array*, que acrescentar3 mais m3dulos, aumentando o tamanho do ambiente. Por fim, a parte FUNDO deve mover-se em fun33o do crescimento do ambiente a partir da adi33o de mais m3dulos da parte MEIO, assim, o mesmo comando *Slider* (tamanho da sala – tms) que controla a adi33o de MEIOS tamb3m define quanto o FUNDO deve ser movido. Todas as movimentaç3es, seja por *Linear Array* seja pelo comando *Move*, se d3o em apenas um vetor, neste caso, no eixo Y do plano cartesiano.

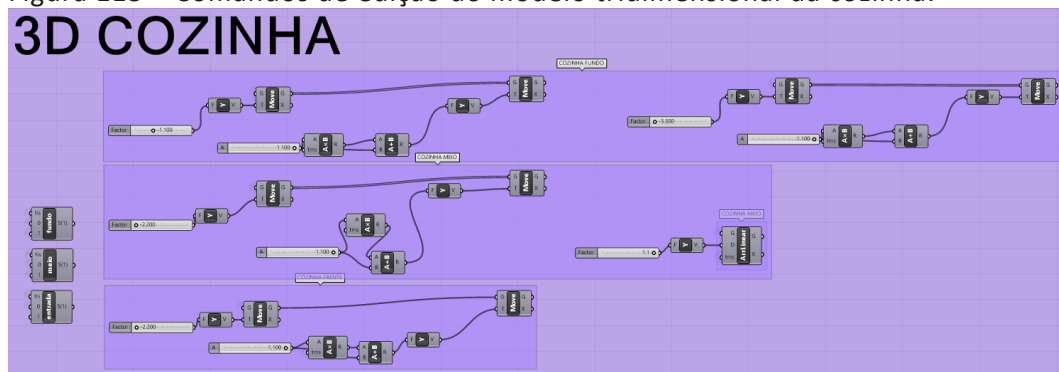
Figura 112 – Comandos de edi33o do modelo tridimensional da sala.



Fonte: Autoria pr3pria.

COZINHA: três comandos *Stream Filter* permitem que se escolha ENTRADA, MEIO e FUNDO das duas opções de geometria tridimensional da cozinha. Em seguida, as três partes se deslocam no eixo Y a partir do *Slider* tms que define o tamanho da sala. Assim, garante-se que a entrada da cozinha seja arrastada ao longo do mesmo vetor à medida que o ambiente anterior é modificado. Já o MEIO da cozinha, além de mover-se a partir do tms, também está associado ao comando *Linear Array*, que permite o crescimento do ambiente, controlado pelo *Slider* tmc. Já o FUNDO, além de mover-se conforme o tms, também deve ser deslocado em função do tmc.

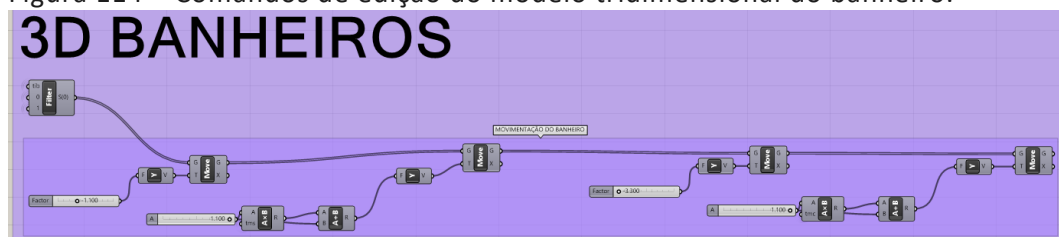
Figura 113 – Comandos de edição do modelo tridimensional da cozinha.



Fonte: Autoria própria.

BANHEIRO: um único comando *Stream Filter* seleciona as duas opções desse ambiente. Em seguida, comandos *Move* vinculados aos *Sliders* tms e tmc movimentarão as geometrias.

Figura 114 – Comandos de edição do modelo tridimensional do banheiro.

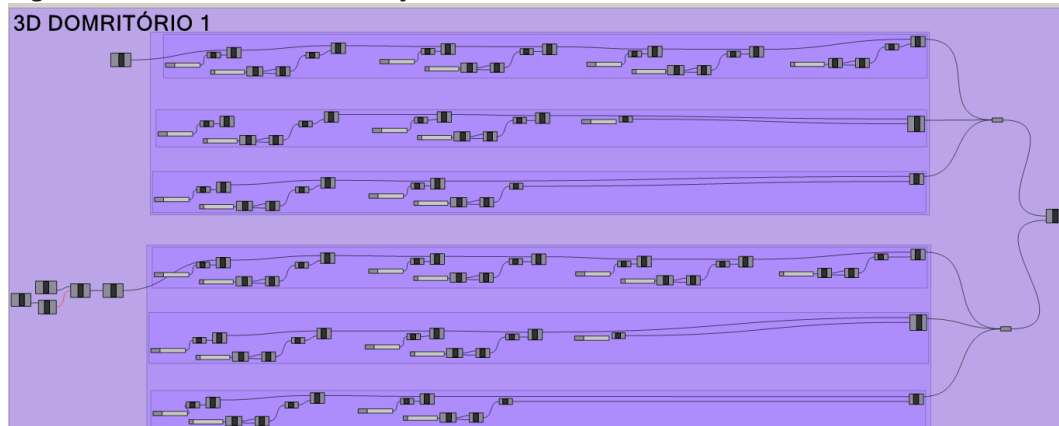


Fonte: Autoria própria.

DORMITÓRIO 1: o modelo oferece três volumetrias: a primeira (ENTRADA, MEIO e FUNDO) quando não há dormitório 2, a segunda (ENTRADA, MEIO e FUNDO) quando há, e a terceira, que se trata de um volume de FUNDO quando não há dormitório 3. Assim, uma série de comandos *Stream Filters* definirá a opção

adequada. A ENTRADA e o MEIO serão deslocados por comandos *Move* condicionados pelos *Sliders* tms e tmc. O MEIO será repetido por um *Linear Array* controlado pelo *Slider* tmq. Por fim, o fundo se deslocará em função dos *Sliders* tms, tmc e tmq.

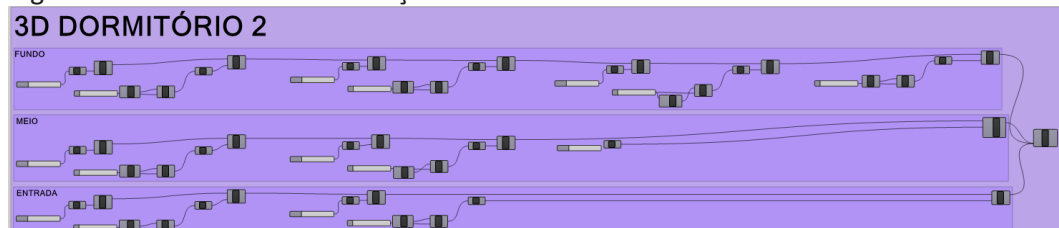
Figura 115 – Comandos de edição do modelo tridimensional do dormitório 1.



Fonte: Autoria própria.

DORMITÓRIO 2: o *Stream Filter* no final do conjunto definirá a existência do dormitório 2. Assim, os comandos desse bloco são essencialmente *Move* e *Linear Array*. A ENTRADA é movida pelos *Sliders* tms e tmc. O MEIO é movido pelos mesmos *Sliders*. Já o *Linear Array* controla a adição de MEIOS, controlado pelo *Slider* tmqq (tamanho do segundo dormitório). Por fim, o fundo é movido pelos *Sliders* tms, tmc e tmq.

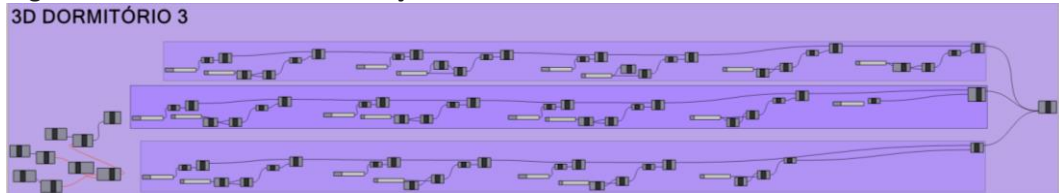
Figura 116 – Comandos de edição do modelo tridimensional do dormitório 2.



Fonte: Autoria própria.

DORMITÓRIO 3: os comandos desse bloco são essencialmente *Move* e *Linear Array*. A ENTRADA é movida pelo *Sliders* tms, tmc e tmq. O MEIO é movido pelos mesmos *Sliders*. Já o *Linear Array* controla a adição de MEIOS, controlado pelo *Slider* tmqqq (tamanho do terceiro dormitório). No final, um *Stream Filter* definirá a existência ou não das volumetrias do dormitório 3.

Figura 117 – Comandos de edição do modelo tridimensional do dormitório 2.

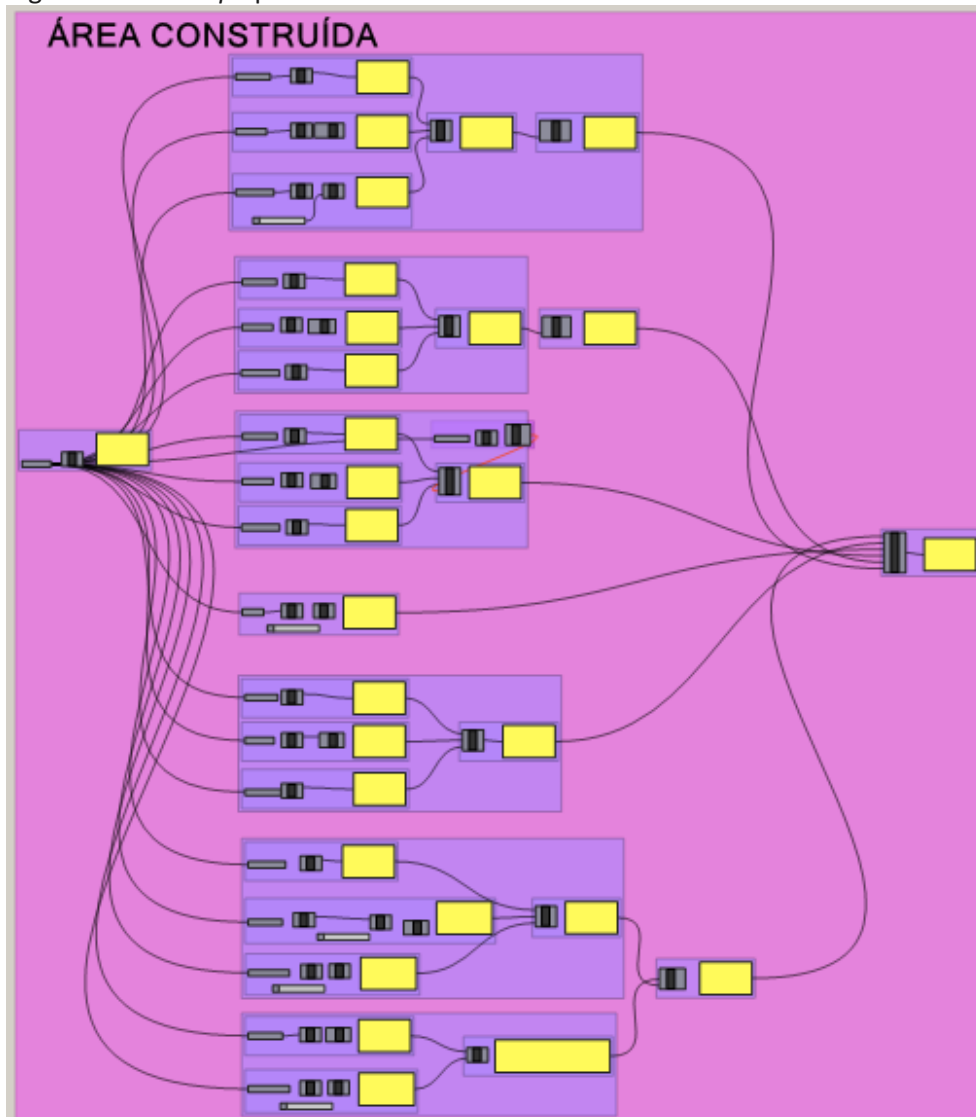


Fonte: Autoria própria.

### Cálculo da área construída

Um cálculo imediato da metragem construída é informação necessária, uma vez que a parametrização altera as dimensões gerais da proposta. Assim, esse valor é referencial, pois serve de comparação com outros exemplos de habitações unifamiliares.

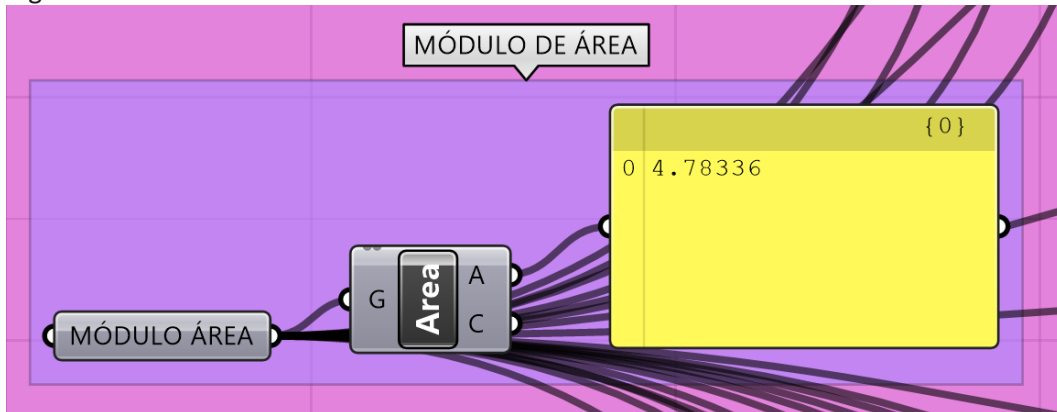
Figura 118 – Script para o cálculo da área resultante.



Fonte: Autoria própria.

Um módulo de referência, um retângulo de 1,10 m x 4,35 m, ou aproximadamente 4,80 m<sup>2</sup>, foi desenhado para o cálculo da área. A unidade mínima conta com 12 desses módulos, ou seja, cerca de 57 m<sup>2</sup>. A unidade máxima conta com 36 módulos, ou aproximadamente 172 m<sup>2</sup>.

Figura 119 – Cálculo da área do módulo.

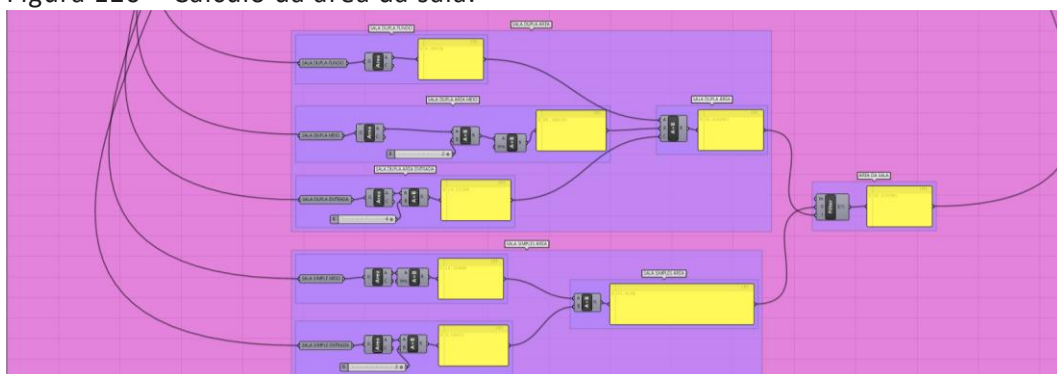


Fonte: Autoria própria.

Para cada alteração na arquitetura, soma-se ou subtrai-se o número de módulos pertinentes, calculando-se automaticamente essa metragem. Novamente, o algoritmo foi organizado pelos cômodos, a partir de suas geometrias, ENTRADA, MEIO e FUNDO.

SALA: a ENTRADA da sala conta sempre com dois módulos na versão com pórtico simples e quatro na versão com pórtico duplo. Já o MEIO tem um ou dois pórticos, multiplicados pelo valor do tms (de 1 a 3). A sala de pórtico simples não conta com um FUNDO. Já a de pórtico duplo conta com um fundo de apenas um módulo, que não se encontra com a cozinha.

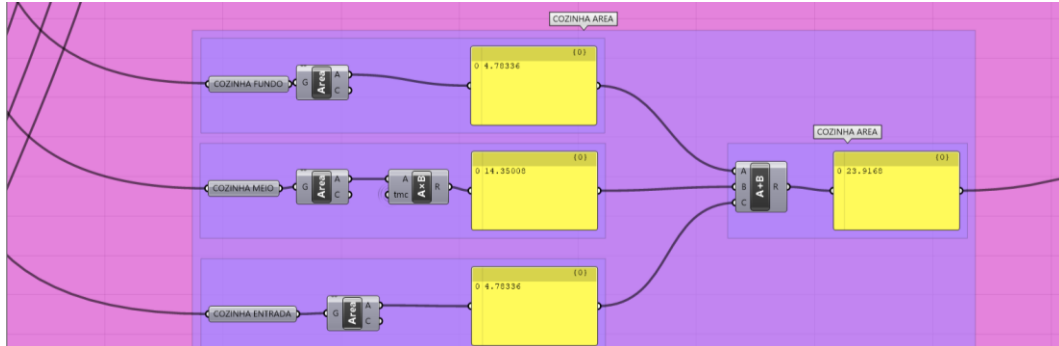
Figura 120 – Cálculo da área da sala.



Fonte: Autoria própria.

COZINHA: conta com um módulo na ENTRADA e um no FUNDO. Já o módulo do MEIO deve ser multiplicado pelo valor do tmc.

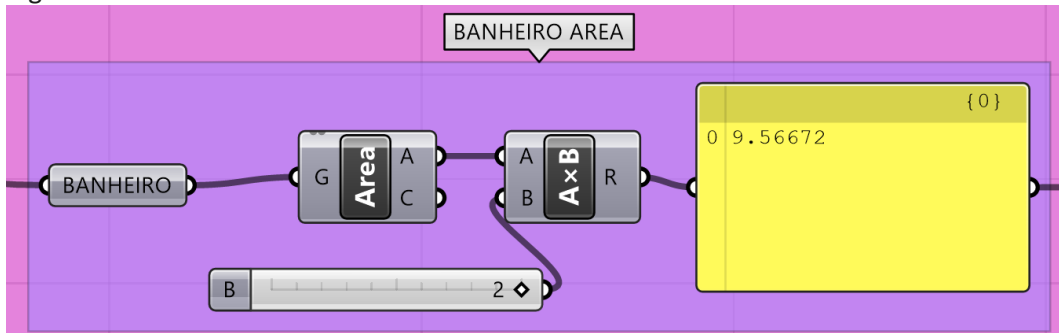
Figura 121 – Cálculo da área da cozinha.



Fonte: Autoria própria.

BANHEIRO: conta sempre com dois módulos.

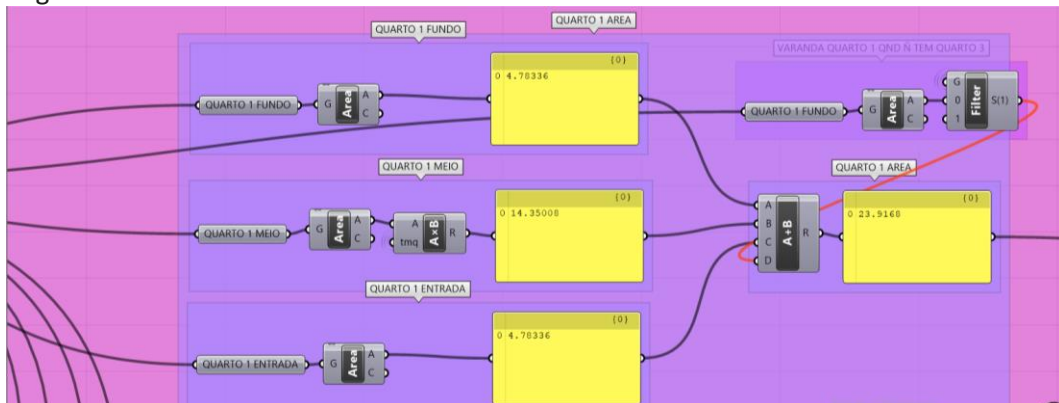
Figura 122 – Cálculo da área do banheiro.



Fonte: Autoria própria.

DORMITÓRIO 1: conta com um módulo na ENTRADA e no FUNDO. Já o módulo do MEIO deve ser multiplicado pelo valor do tmq. Quando não há dormitório 3, adiciona-se uma área, que corresponde a uma varanda.

Figura 123 – Cálculo da área do dormitório 1.

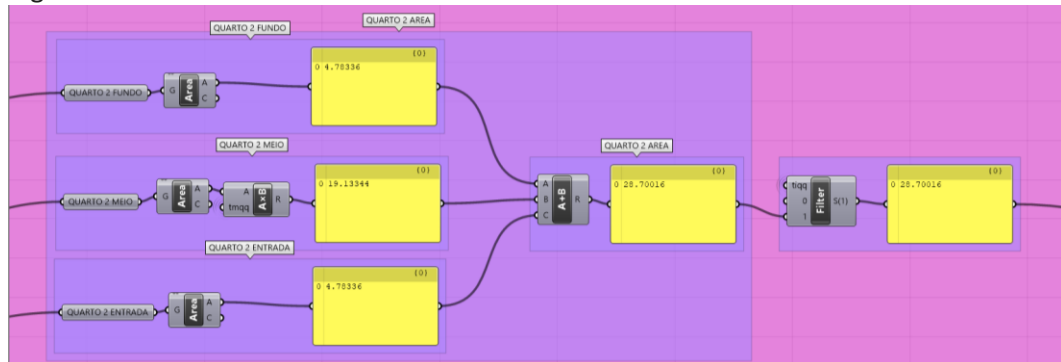


Fonte: Autoria própria.



DORMITÓRIO 2: conta com um módulo na ENTRADA e no FUNDO. Já o módulo do MEIO deve ser multiplicado pelo valor do *tmqq*. No final, um *Stream Filter* define se sua área será computada ou não, uma vez que o dormitório pode ou não existir.

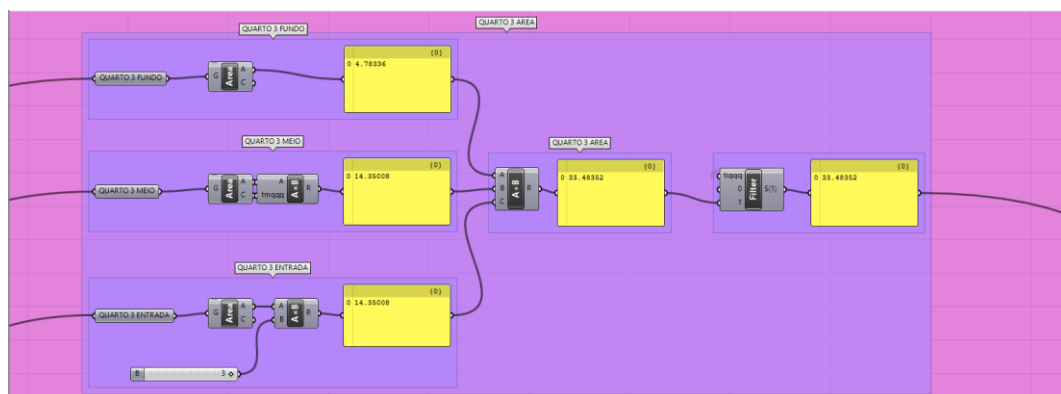
Figura 124 – Cálculo da área do dormitório 2.



Fonte: Autoria própria.

DORMITÓRIO 3: conta com três módulos na ENTRADA e um no FUNDO. Já o módulo do MEIO deve ser multiplicado pelo valor do *tmqqq*. No final, um *Stream Filter* define se sua área será computada ou não, uma vez que o dormitório pode ou não existir.

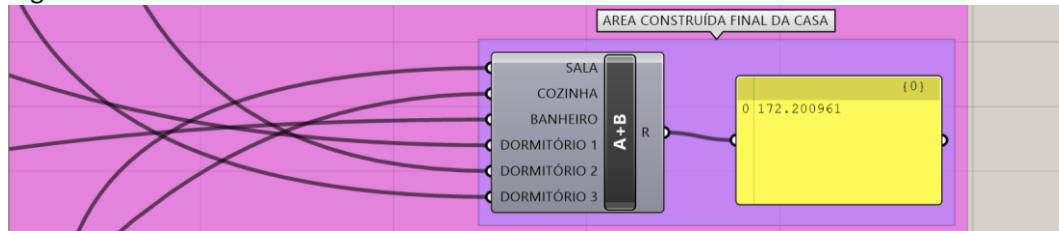
Figura 125 – Cálculo da área do dormitório 3.



Fonte: Autoria própria.

Por fim, essas áreas são somadas e chega-se à metragem quadrada final.

Figura 126 – Cálculo da área total.



Fonte: Autoria própria.

### Numeração da combinação

Cada variação arquitetônica gerada pelo algoritmo recebe uma numeração para identificação. Cada alteração gera um número novo. No entanto duas versões iguais recebem o mesmo número.

A numeração é gerada a partir de um aplicativo para o Grasshopper chamado ExcelWrite, que leva essas informações para um arquivo .xlsx do *software* Microsoft Excel.

Trata-se de um número composto por nove dígitos que correspondem a um tipo ou tamanho de cada ambiente.

1º DÍGITO: Tipo de sala: 1 – pórtico simples, 2 – pórtico duplo;

2º DÍGITO: Tamanho da sala: 1 – pequena, 2 – média, 3 – grande;

3º DÍGITO: Tipo de cozinha: 1 – integrada à sala, 2 – ambiente separado;

4º DÍGITO: Tipo de cozinha: 0 – integrada à sala, 1 – americana, 2 – fechada;

5º DÍGITO: Tamanho da cozinha: 1 – pequena, 2 – média, 3 – grande;

6º DÍGITO: Tipo de banheiro: 1 – pequeno, 2 – grande;

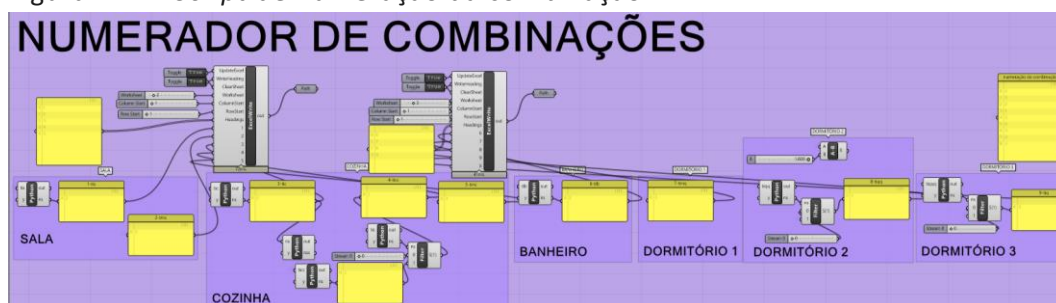
7º DÍGITO: Tamanho do dormitório 1: 1 – pequeno, 2 – médio, 3 – grande;

8º DÍGITO: Tamanho do dormitório 2: 0 – inexistente, 1 – pequeno, 2 – médio, 3 – grande;

9º DÍGITO: Tamanho do dormitório 3: 0 – inexistente, 1 – pequeno, 2 – médio, 3 – grande.

Por exemplo: a numeração da unidade mínima é: 1 1 1 0 1 1 1 0 0. Já a numeração da unidade máxima pode ser: 2 3 2 1 3 2 3 3 3.

Figura 127 – *Script* de numeração da combinação.



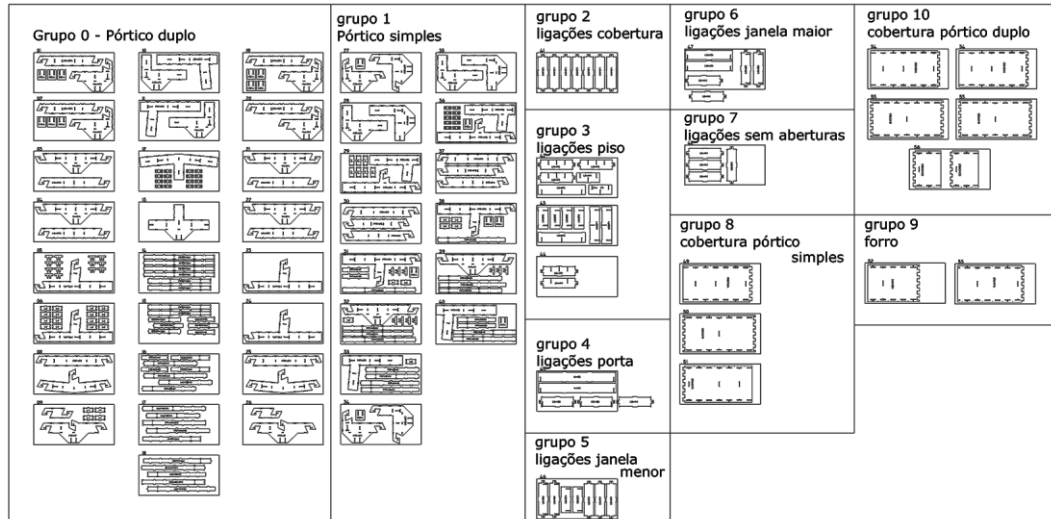
Fonte: Autoria própria.

### Quantificação dos painéis

Todos os componentes em OSB que compõem a construção foram dimensionados para que caibam em painéis desse material disponíveis no mercado. Toda a construção foi feita em painéis de 2.400 x 1.200 x 9,5 mm, modelo Home Plus da marca LP Brasil.

Esses componentes foram distribuídos nos painéis em um processo chamado *nesting*, que busca a melhor distribuição das geometrias a serem usinadas, minimizando desperdícios de material. Embora existam *softwares* que se proponham a fazer o *nesting*, neste experimento, ele foi feito de maneira não automatizada, em AutoCAD.

Figura 128 – Distribuição das peças a serem usinadas nos painéis de OSB (*nesting*).

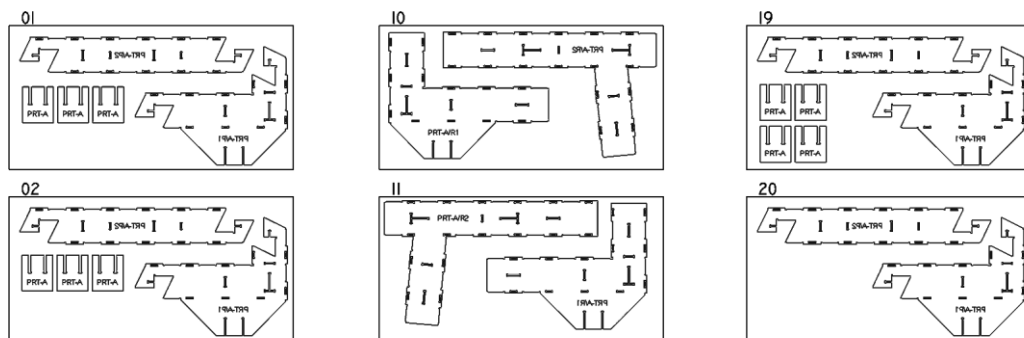


Fonte: Autoria própria.

Os painéis foram numerados e organizados em grupos que compõem um mesmo elemento construtivo. O grupo 0 corresponde a todos os painéis necessários para construir um pórtico duplo. Já o grupo 2 são as peças de conexão perpendiculars para cada água de cobertura. Assim, um pórtico simples precisa de um grupo 2 para se conectar a outro pórtico. Já um pórtico duplo precisa de dois grupos dois para se conectar a outro pórtico duplo.

Figura 129 – Parte dos painéis do grupo 0 com os componentes de um pórtico duplo.

## Grupo 0 - Pórtico duplo



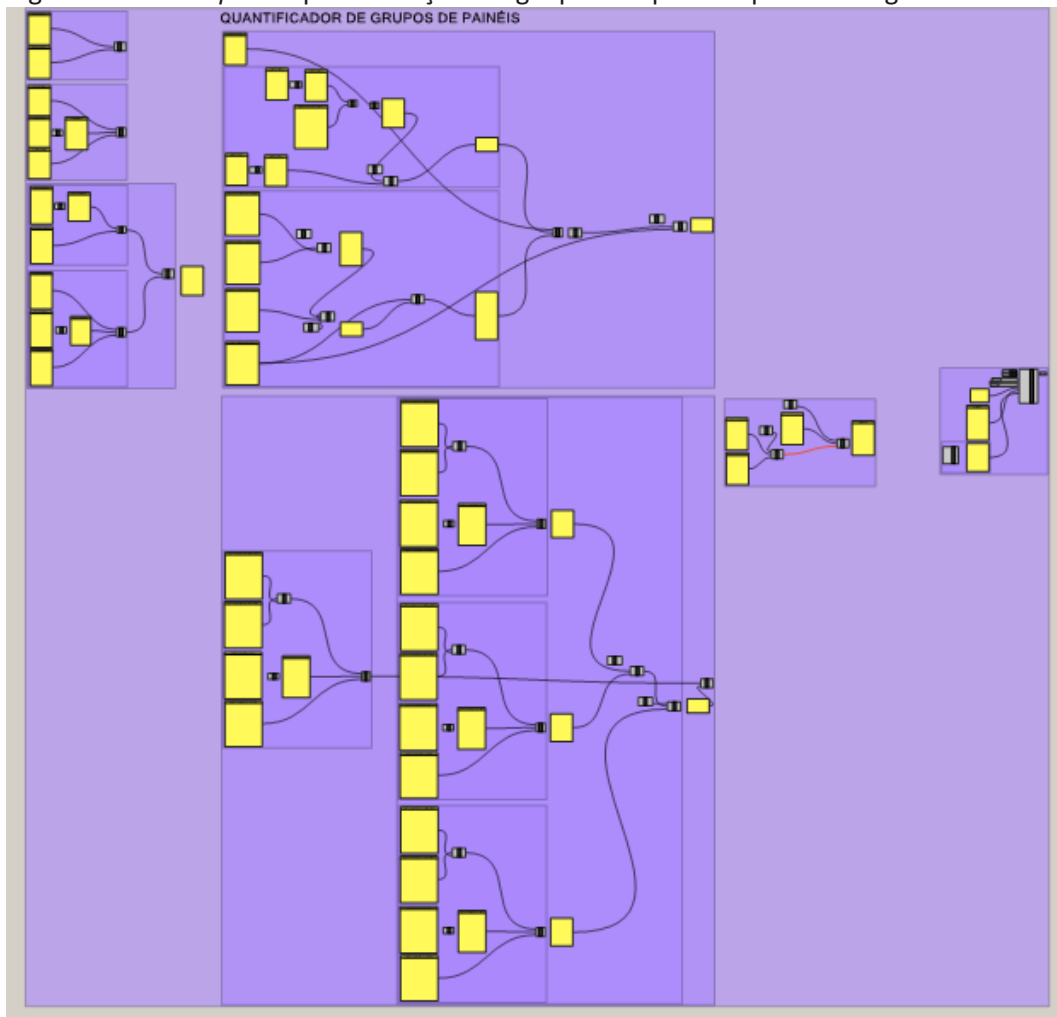
Fonte: Autoria própria.

A organização dos painéis em grupos facilita eventuais alterações de projeto sem prejudicar ou obrigar uma revisão da automatização da quantificação desses painéis. O algoritmo calcula quantos grupos são necessários, não cada painel individualmente, o que permite eventuais acréscimos ou subtrações de painéis de

cada grupo sem alterar sua quantificação pelo *script*. No entanto a quantificação final de painéis depende de uma definição clara.

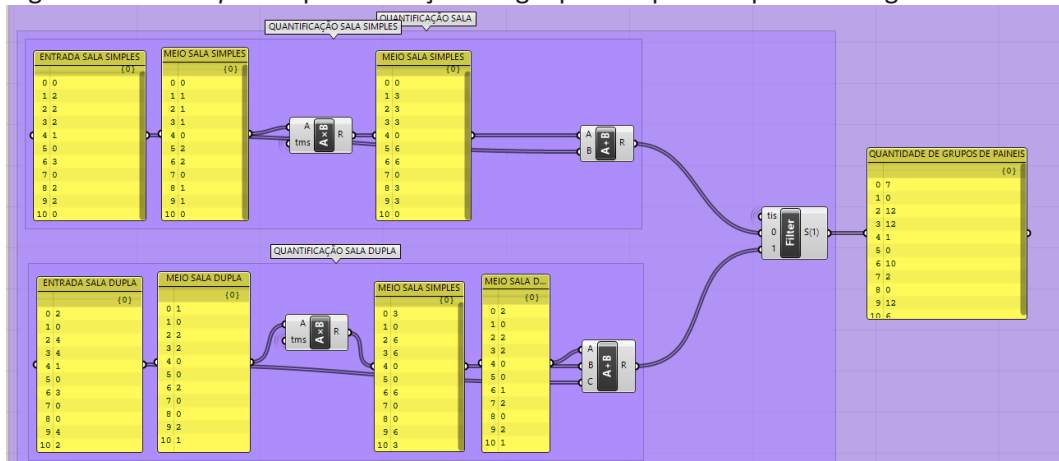
Para cada parte (ENTRADA, MEIO e FUNDO) dos ambientes, foi identificada a quantidade necessária de cada grupo. No caso dos MEIOS, essa quantidade se multiplica pelo valor dos Sliders pertinentes (tms, tmc, tmq, tmqq e tmqqq). Em seguida, um Stream Filter faz a seleção entre as opções. Por exemplo: sala com pórtico simples ou pórtico duplo. No final do script, as quantidades de cada grupo são somadas e apresentadas no mesmo arquivo .xlsx (Microsoft Excel) da numeração das combinações.

Figura 130 – *Script* de quantificação de grupos de painéis para usinagem.



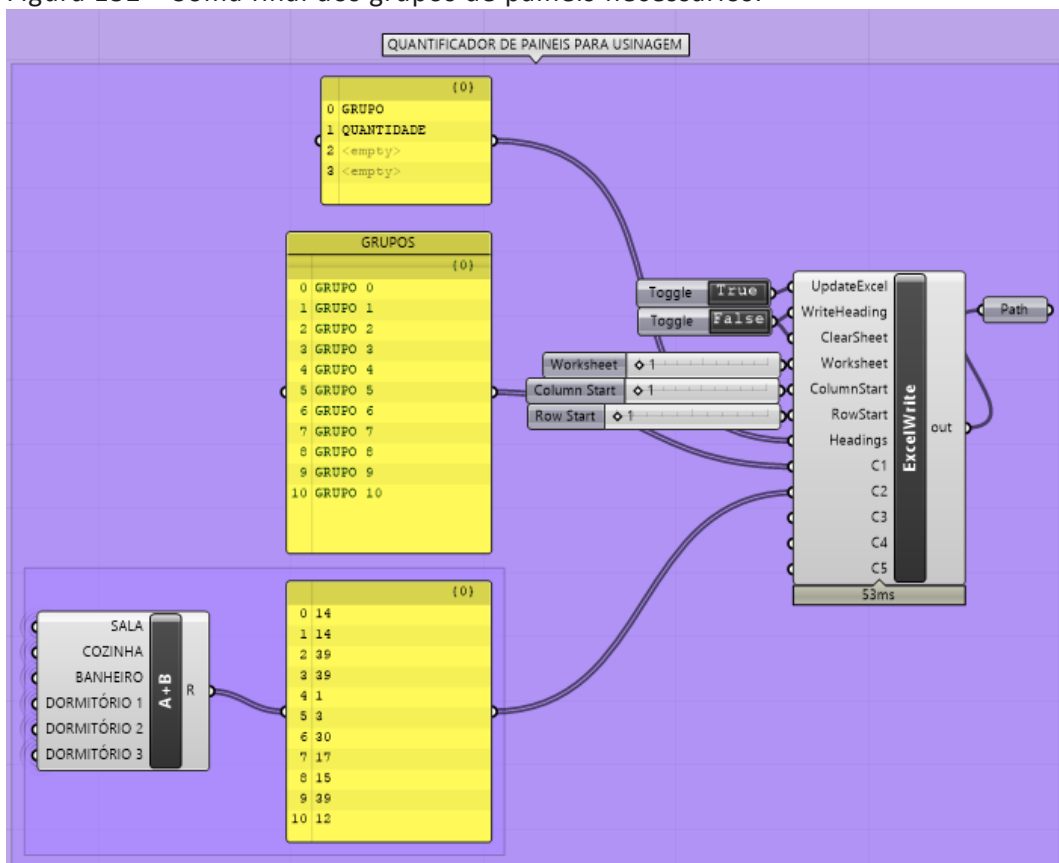
Fonte: Autoria própria.

Figura 131 – Script de quantificação de grupos de painéis para usinagem da sala.



Fonte: Autoria própria.

Figura 132 – Soma final dos grupos de painéis necessários.



Fonte: Autoria própria.

O arquivo .xlsx (Microsoft Excel) apresenta, além da numeração da combinação e a soma dos grupos de painéis para usinagem, outras informações pertinentes para a execução da combinação escolhida. Uma estimativa de tempo e custo de usinagem é automatizada a partir da quantificação dos painéis, do tempo médio de usinagem na execução do terceiro modelo e do custo do material

disponibilizado na página *web* do fornecedor. Esse dado pode ser facilmente alterado no próprio arquivo *.xlsx*. Assim, no mesmo arquivo, são informadas as características da fresadora CNC e as velocidades de corte (rotação e arrastro) utilizadas no experimento. No mesmo arquivo, faz-se a quantificação de cada painel a ser usinado a partir da repetição do valor do grupo pertinente. Assim, o painel 15, por exemplo, que pertence ao grupo 0, será usinado na quantidade de vezes definida para seu grupo.

Segue um exemplo do arquivo *.xlsx* resultante das informações advindas do algoritmo:

Figura 133 – Exemplo de arquivo .xlsx resultante das informações provenientes do algoritmo.

QUANTIFICADOR									
DE PAINÉIS OSB PARA USINAGEM									
número da combinação:									
2	3	2	1	3	2	3	3	3	3
GRUPO QUANTIDADE								PAINEL QUANTIDADE	
GRUPO 0	14							01	14
GRUPO 1	14							02	14
GRUPO 2	39							03	14
GRUPO 3	39							04	14
GRUPO 4	1							05	14
GRUPO 5	3							06	14
GRUPO 6	30							07	14
GRUPO 7	17							08	14
GRUPO 8	15							09	14
GRUPO 9	39							10	14
GRUPO 10	12							11	14
Quantidades geradas pelo Script no Grasshopper									
Material utilizado:									
Oriented Strand Board (OSB)									
Dimensões: 2.400x1.200x9,5mm									
Modelo: Home Plus									
Marca: LP Brasil									
Fornecedor: Leo Madeiras									
<a href="https://www.leomadeiras.com.br/product/prod-3-OSB_Home_Plus_2400x1200x95mm_LP_Brasil">https://www.leomadeiras.com.br/product/prod-3-OSB_Home_Plus_2400x1200x95mm_LP_Brasil</a>									
Máquina de usinagem utilizada:									
<b>Fresadora Router CNC</b>									
Modelo: Linha S-Duty									
Fornecedor: DS4									
<a href="https://www.ds4.com.br/linha-s-duty">https://www.ds4.com.br/linha-s-duty</a>									
Fresas utilizadas:									
6,0mm (4c) x 15mm área de corte x 50mm total x 6,0mm haste. (FTR520)									
Fornecedor: Walter&Walter									
<a href="https://www.fresascnc.com.br/">https://www.fresascnc.com.br/</a>									
Velocidade de rotação: 13.000 RPM									
Velocidade de arrasto: 2.400 mm/minuto									
julho e agosto de 2019									
TOTAL		950		Painéis					
Custo estimado de painéis de OSB:									
950	x	R\$ 66,28		(Leo Madeiras - 28/08/2019)					
R\$ 62.966,00									
Tempo estimado de usinagem dos painéis:									
950	x	20		Minutos					
		19000		Minutos					
ou (aproximadamente)		317		Horas					
ou (aproximadamente)		40		Dias					
TOTAL		950							

Fonte: Autoria própria.



Figura 134 – Exemplo de arquivo .xlsx resultante das informações provenientes do algoritmo.

QUANTIFICADOR										
DE PAINÉIS OSB PARA USINAGEM										
número da combinação:										
1	1	1	0	1	1	1	0	0		
GRUPO		QUANTIDADE					PAINEL		QUANTIDADE	
GRUPO 0		0					01		0	
GRUPO 1		15					02		0	
GRUPO 2		14					03		0	
GRUPO 3		14					04		0	
GRUPO 4		1					05		0	
GRUPO 5		3					06		0	
GRUPO 6		16					07		0	
GRUPO 7		2					08		0	
GRUPO 8		14					09		0	
GRUPO 9		14					10		0	
GRUPO 10		0					11		0	
							12		0	
							13		0	
							14		0	
							15		0	
							16		0	
							17		0	
							18		0	
							19		0	
							20		0	
							21		0	
							22		0	
							23		0	
							24		0	
							25		0	
							26		0	
							27		15	
							28		15	
							29		15	
							30		15	
							31		15	
							32		15	
							33		15	
							34		15	
							35		15	
							36		15	
							37		15	
							38		15	
							39		15	
							40		15	
							41		14	
							42		14	
							43		14	
							44		14	
							45		1	
							46		3	
							47		16	
							48		2	
							49		14	
							50		14	
							51		14	
							52		14	
							53		14	
							54		0	
							55		0	
							56		0	
							<b>TOTAL</b>		<b>358</b>	

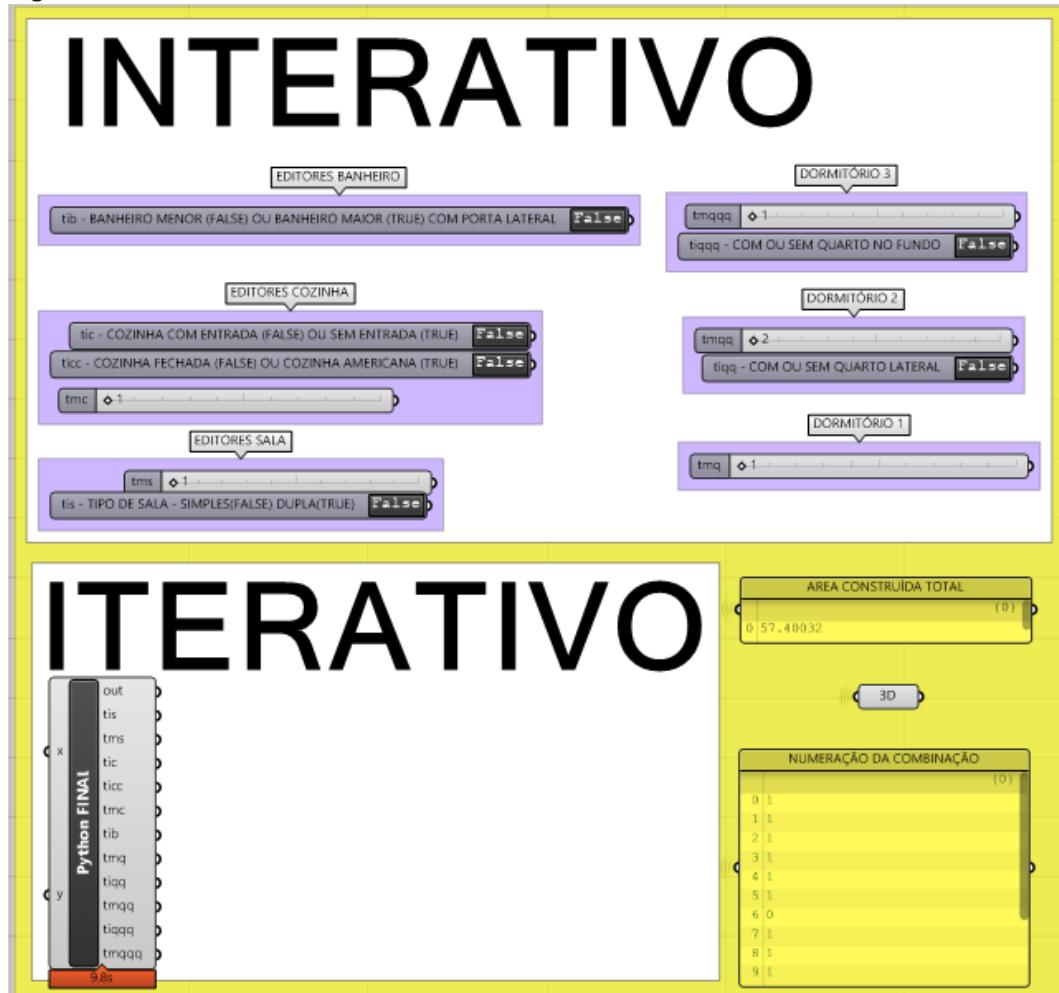
TOTAL		358	Painéis
Custo estimado de painéis de OSB:			
358	x	R\$ 66,28	(Leo Madeiras - 28/08/2019)
R\$ 23.728,24			
Tempo estimado de usinagem dos painéis:			
358	x	20	Minutos
7160		Minutos	
ou (aproximadamente)		119	Horas
ou (aproximadamente)		15	Dias

Fonte: Autoria própria.

## Controle

Um grupo de comando reúne todos os controles necessários para a personalização da arquitetura. Ele foi dividido em dois tipos de diálogo, o Interativo e o Iterativo<sup>44</sup>.

Figura 135 – Comandos de controle.



Fonte: Autoria própria.

Entende-se aqui a distinção proposta por Michael Meredith (*apud* NATIVIDADE, 2010) entre arquitetura paramétrica e algorítmica. Segundo o autor, o processo paramétrico é interativo, uma vez que “*durante a manipulação das propriedades geométricas da forma o software confere ao usuário o feedback visual instantâneo*” (NATIVIDADE, 2010, p. 222). Já a arquitetura algorítmica é iterativa,

<sup>44</sup> Interação: Ação recíproca entre o usuário e um equipamento.

Iteração: Resolução de equação por meio de uma sequência de operações em que a definição de cada uma é o resultado da que a precede.

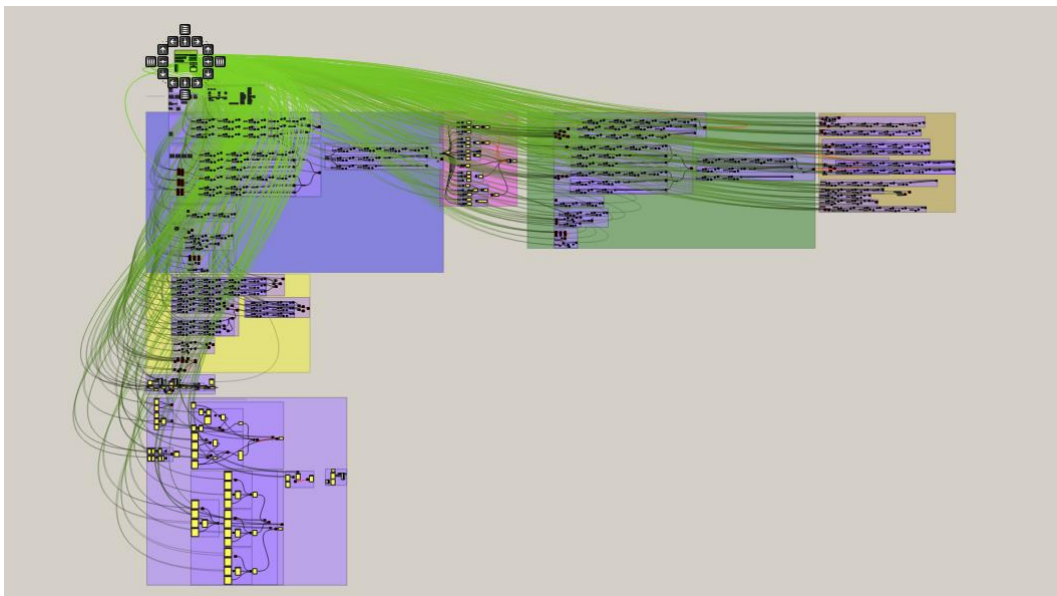
Fonte: <https://michaelis.uol.com.br/>

uma vez que se dá “mediante uma sequência finita de operações em que o objeto de cada uma é o resultado da que a precede” (NATIVIDADE, 2010, p. 223).

Assim, propõem-se dois métodos de controle para o mesmo objeto, um paramétrico, ou interativo, e outro algorítmico, ou iterativo. Espera-se, assim, explorar dois modos de diálogo com possíveis futuros moradores. Como se trata de uma prova de conceito, e não de uma resposta a uma situação real, não há como avaliar qual das opções é a mais adequada, mas a oferta de duas possibilidades permite que, em uma eventual aplicação do algoritmo, haja duas possibilidades disponíveis.

Em ambos os métodos, neste bloco, estão reunidos os controles que se conectaram a diferentes comandos, viabilizando diversas mudanças a partir de uma única interação ou iteração. *Sliders* e *Boolean Toggles* mencionados previamente como tms, tmc, tmq, tmqq, tmqqq, tiq, tic etc. estão concentrados aqui.

Figura 136 – As linhas verdes mostram como os mesmos *Sliders* e *Boolean Toggles* se conectam a diferentes comandos.

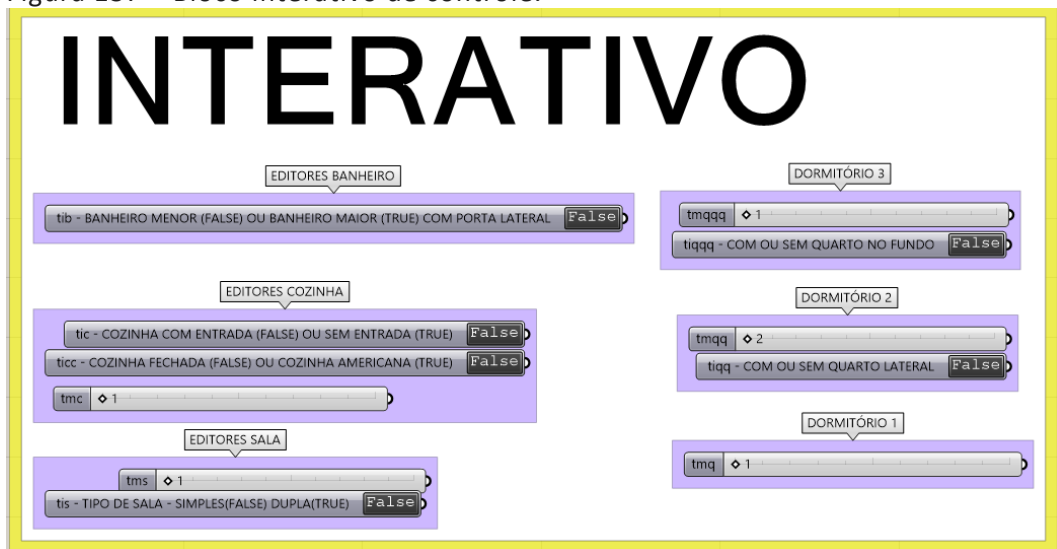


Fonte: Autoria própria.

O método interativo, mais natural para o *Grasshopper*, nada mais é que a disposição dos *Sliders* e *Boolean Toggles* que controlam os comandos como *Stream Filter*, *Move* e *Linear Array*. Essa opção se dá pela operação desses

controles, obtendo-se um resultado imediato. Por exemplo: desloca-se o *Slider* tms e vê-se a sala aumentar de tamanho. No entanto ele não oferece um quadro efetivo de diálogo, faz-se a operação e, se não atender as expectativas, volta-se atrás. Esse método não oferece a possibilidade de se adaptar a um interlocutor específico, é estanque no diálogo. Para um usuário/futuro morador não acostumado com o uso de ferramentas similares, pode parecer difícil, não permitindo a esse interlocutor a assimilação do repertório.

Figura 137 – Bloco interativo de controle.



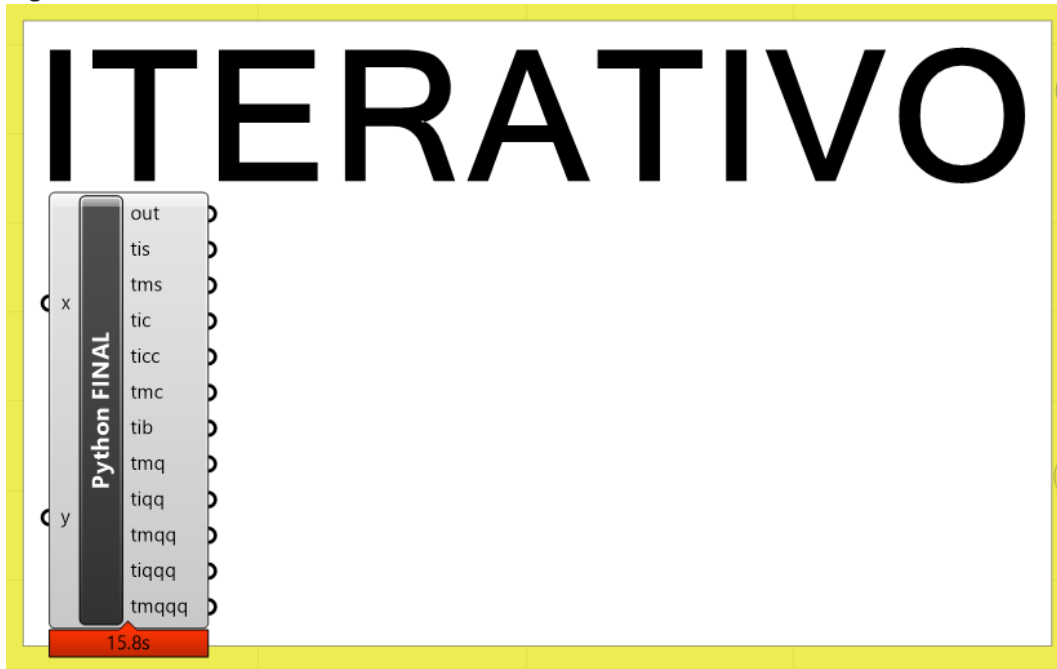
Fonte: Autoria própria.

O método iterativo, ou algorítmico, oferece uma sequência de perguntas a serem respondidas por um usuário/futuro morador, que, ao final, gera um resultado formal. A vantagem desse método é a possibilidade de adaptação das perguntas ao repertório do interlocutor, facilitando a compreensão do que está sendo oferecido. Por exemplo: pode-se perguntar qual o tamanho de quarto desejado, ou quantas pessoas dormirão ali, ou que atividades serão exercidas nesse cômodo etc.

A iteração se dá pelo aplicativo de Python para *Grasshopper* em que são redigidas perguntas e opções de respostas. Essas respostas são associadas a uma saída que leva o mesmo nome dos *Sliders* e *Boolean Toggles* do método iterativo, como tms, tmc, tmq, tmqq, tmqqq, tiq, tic etc. e se conectam nas entradas dos mesmos comandos. Assim, um comando sempre receberá duas entradas de controle, a

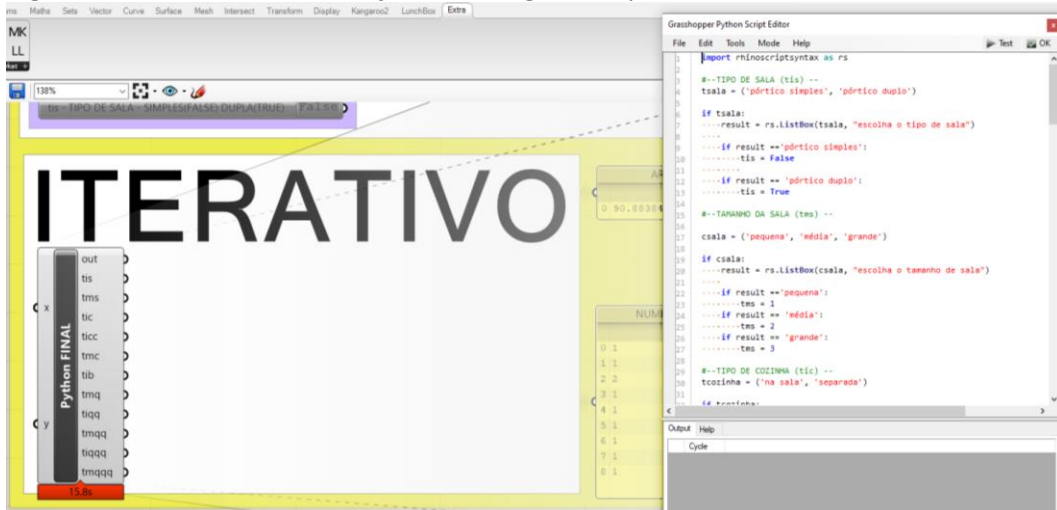
interativa e a iterativa, o que obriga a desativar (*enable/disable*) o método que não está sendo utilizado.

Figura 138 – Bloco iterativo de controle.



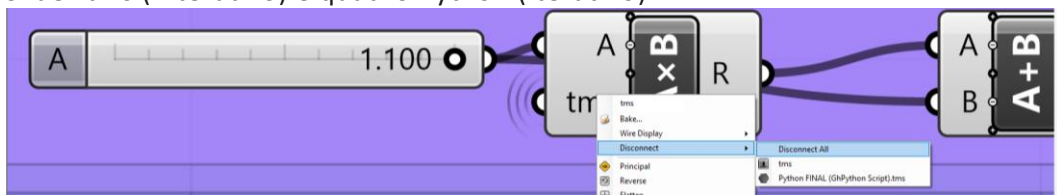
Fonte: Autoria própria.

Figura 139 – Quadro de redação do código em Python.



Fonte: Autoria própria.

Figura 140 – Exemplo de comando recebendo simultaneamente informações do *Slider* tms (iterativo) e quadro Python (iterativo).



Fonte: Autoria própria.

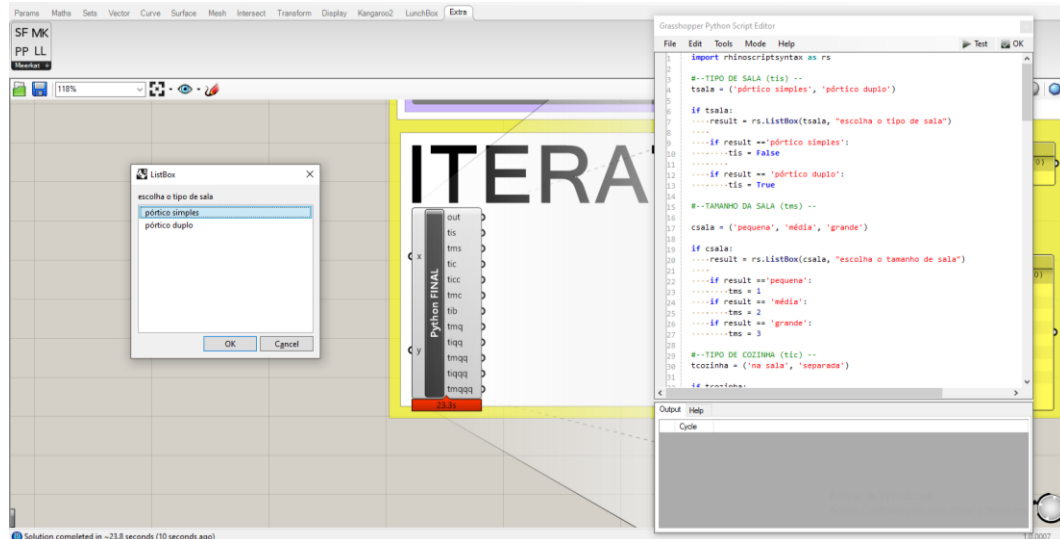
As perguntas, ou demandas, foram redigidas de maneira a simular um diálogo com um interlocutor hipotético. Como já foi dito, trata-se de uma prova de conceito, portanto não é uma resposta a uma situação real, logo, não há como estabelecer um critério concreto para as definições das perguntas.

As perguntas, ou demandas, se organizam na sequência de construção da arquitetura, em um vetor que vai da sala ao dormitório 3. Conforme explicitado do diagrama de blocos, pergunta-se ou primeiro qual o tipo do ambiente e, depois, o tamanho, em um total de onze perguntas.

1. **"Escolha o tipo de sala"**
  - a. Pórtico simples
  - b. Pórtico duplo
2. **"Escolha o tamanho de sala"**
  - a. Pequena
  - b. Média
  - c. Grande
3. **"Cozinha na sala ou separada?"**
  - a. Na sala
  - b. Separada
4. **"Cozinha americana ou fechada?"**
  - a. Americana
  - b. Fechada
5. **"Escolha o tamanho de cozinha"**
  - a. Pequena
  - b. Média
  - c. Grande
6. **"Escolha o tipo de banheiro"**
  - a. Pequeno
  - b. Grande
7. **"Escolha o tamanho do primeiro dormitório"**
  - a. Pequeno
  - b. Médio
  - c. Grande
8. **"Você quer um dormitório lateral?"**
  - a. Sim
  - b. Não
9. **"Escolha o tamanho do dormitório lateral"**
  - a. Pequeno
  - b. Médio
  - c. Grande
10. **"Você quer um dormitório nos fundos?"**
  - a. Sim
  - b. Não
11. **"Escolha o tamanho do dormitório nos fundos"**
  - a. Pequeno
  - b. Médio
  - c. Grande

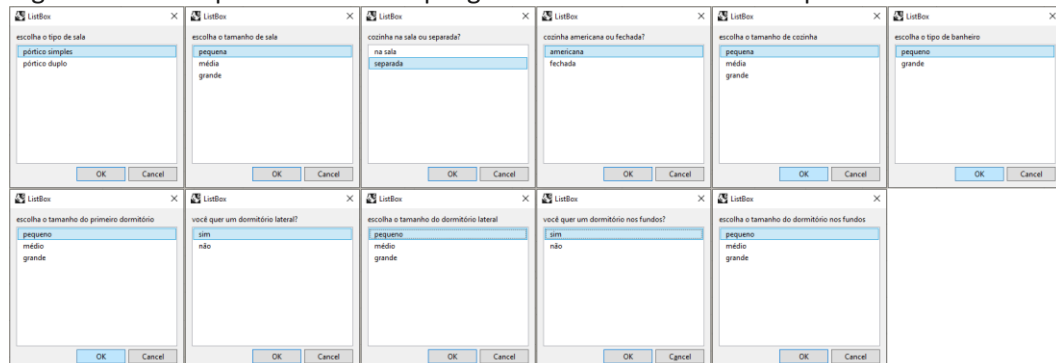
As perguntas surgem em um quadro flutuante gerado a partir do *script import rhinoscriptsyntax* no *Python*, que interage com o *Rhinceros*.

Figura 141 – Quadro flutuante de iteração.



Fonte: Autoria própria.

Figura 142 – Sequência de onze perguntas ou demandas nos quadros flutuantes.



Fonte: Autoria própria.

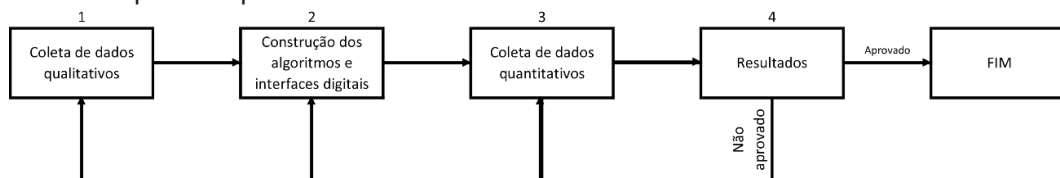
Embora o método iterativo permita a construção de um diálogo mais bem adaptado a um interlocutor específico, o resultado da sequência de perguntas é uma surpresa. Já no método interativo constrói-se o resultado no mesmo momento em que os dados são alterados. Para um interlocutor não familiarizado com ferramentas desse tipo, a opção iterativa parece mais adequada em um processo mais autônomo, no qual o usuário/futuro morador interage diretamente com a máquina. Já o método interativo pode exigir a presença de um operador para facilitar a ação. Em um processo participativo, ambas as opções parecem válidas e adaptáveis a diferentes circunstâncias e metodologias de participação. Trata-se de uma ferramenta flexível, que viabiliza diferentes tipos de diálogos.

O algoritmo surge de uma experiência construtiva concreta e se detém nos dados concretos advindos desse experimento. Assim, variabilidades são bastante limitadas e muito aquém do que um algoritmo e metodologias de projeto assistidos por computadores poderiam fazer. Essa foi uma estratégia intencional, uma vez que se almeja a efetiva aplicação desse algoritmo em situações reais. As construções dos modelos em escala real ensinaram a importância dos experimentos práticos, uma vez que propostas inovadoras devem ser tratadas com cautela e baseadas em realizações e experimentos que comprovem sua viabilidade.

O algoritmo aqui apresentado, parte de uma solução construtiva, mas sua lógica estrutural pode se adaptar a diferentes projetos e situações. Ou seja, o processo de escolhas de variações de um mesmo ambiente aliado ao crescimento controlado dos ambientes é um recurso perfeitamente adaptável a diferentes situações, mesmo que o crescimento se dê não apenas ao longo de um eixo.

Independentemente da metodologia participativa, o que se propõe é que a construção do algoritmo se dê depois de uma etapa de coleta de dados qualitativos de uma comunidade e da definição de características arquitetônicas que melhor atendam esta comunidade. Assim, pode-se coletar dados quantitativos individuais de cada família para alimentar as definições que condicionaram a construção do algoritmo.

Diagrama 2 – Sequência de ações propostas para um processo participativo auxiliado por computador.



Fonte: Autoria própria.

Ainda assim, os resultados devem ser avaliados, seja pelo corpo técnico, seja pelos futuros moradores ou mesmo pela comunidade, dependendo da metodologia participativa adotada. O computador dá os resultados da combinação entre as demandas coletivas e a interpretação do corpo técnico, as definições técnico-



construtivas e as demandas individuais de cada família, no entanto, a avaliação dos resultados apresentados pela máquina deve ser feita por humanos.

Ao comparar-se o algoritmo aqui apresentado com a literatura dedicada aos processos digitais auxiliando processos participativos, percebe-se que o algoritmo oferece um efetivo diálogo com o usuário, não apenas pelas interfaces interativa e iterativa, mas por resultar em cenários que surgem com a velocidade desse diálogo, como desejava Mitchell, em seu artigo de 1971 (MITCHELL *apud* CROSS, 1971).

A máquina se coloca, então, como um efetivo interlocutor que dá respostas à medida que informamos o que queremos. Nesse sentido, ainda que o universo de variáveis seja consideravelmente limitado, há uma relação bidirecional, como defende Terzidis (2006).

O algoritmo permite que o usuário interfira na decisão de como será a arquitetura e participe dela, ou seja, parte-se do princípio de que o arquiteto não é capaz de dar a palavra final, mas de criar os meios para que o usuário finalize a solução. Embora a proposta aqui apresentada seja muito menos flexível do que imaginava Yona Friedman (1975), o usuário tem a palavra final, como queria o arquiteto francês. Ainda que o usuário não tenha o domínio técnico do método e seu ferramental, a máquina oferece os recursos necessários para que ele possa criar o que precisa (RAMOS, 2013). Isto é, oferece regras claras para que os futuros moradores possam ter participações objetivas e bem definidas. Portanto, trata-se de uma arquitetura científica que se apropria das tecnologias da informação para lidar com a complexidade inerente ao objeto (ALMEIDA, 2008).

Negroponte (1975) imaginava que a máquina tentaria entender os desejos do usuário a partir de perguntas no início do processo de projeto, para que o arquiteto atendesse efetivamente suas demandas. Embora, como foi dito acima, imagina-se o uso da ferramenta em diferentes situações de processos participativos, o que foi apresentado neste trabalho é a colocação das perguntas em uma fase adiantada do processo, na qual as definições arquitetônicas e

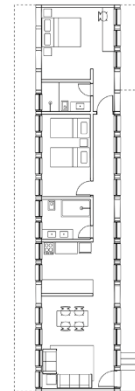
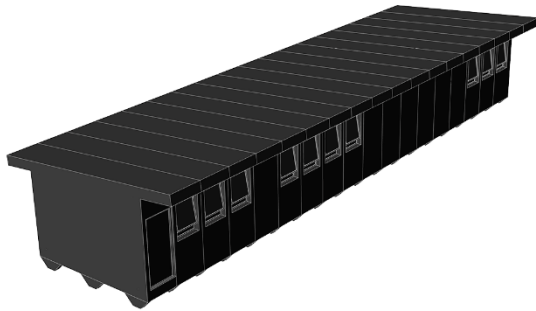
construtivas já haviam sido tomadas. Ou seja, o usuário interfere apenas no dimensionamento da arquitetura, o que está seguramente aquém das expectativas de Negroponte (1975). No entanto o autor problematiza as próprias convicções perguntando-se se as pessoas iriam querer desenhar a própria casa ou quais seriam as vantagens de desenhar ao invés de escolher opções. Assim, o que se apresenta aqui é uma possibilidade legítima, embora perfeitamente questionável.

Tendo como ponto de partida uma solução construtiva e um universo tão limitado de variações, a gramática da forma apresenta uma metodologia excessivamente robusta para o trabalho aqui apresentado. Suas potencialidades como ferramenta de análise e interpretação de arquiteturas reais e suas potencialidades como metodologia generativa de soluções são mais do que era realmente necessário para a proposição aqui apresentada. Defende-se aqui que soluções generativas mais simples podem ser tão legítimas quanto outras mais sofisticadas e que elas podem facilitar a apropriação da ferramenta digital e sua aplicação na prática arquitetônica.

Tem-se uma solução construtiva pré-fabricada, aberta, uma vez que aceita componentes de outras origens, modular e flexível, atendendo as proposições de Oliveri (1972). No entanto a fabricação digital problematiza a lógica da coordenação modular por permitir um desenho absolutamente personalizável. Contudo a complexidade de uma construção nos obriga a conciliar diferentes componentes de diferentes origens com diferentes métodos de fabricação. Para alguns desses componentes a fabricação seriada ainda faz mais sentido. Ou seja, ainda há necessidade de se lidar com uma modularidade comum para diferentes fornecedores. A fabricação digital pode ainda mais, facilitando a interação de componentes com eventuais dimensões conflitantes, uma vez que as peças produzidas por máquinas CNC podem variar de tamanho caso a caso. A lógica *Open Source* deixa o sistema ainda mais aberto, permitindo uma variabilidade construtiva inédita até então.

## Exemplos de combinações possíveis

Figura 143 – Opção com sala média em pórtico simples, com cozinha pequena fechada, banheiro grande, dormitório 1 médio e dormitório 3 pequeno. (número da combinação: 122212201)



### QUANTIFICADOR DE PAINÉIS OSB PARA USINAGEM

número da combinação:

1 2 2 2 1 2 2 0 1

GRUPO	QUANTIDADE
GRUPO 0	0
GRUPO 1	20
GRUPO 2	20
GRUPO 3	20
GRUPO 4	1
GRUPO 5	7
GRUPO 6	23
GRUPO 7	8
GRUPO 8	20
GRUPO 9	20
GRUPO 10	0

Material utilizado:  
Oriented Strand Board (OSB)  
Dimensões: 2.400x1.200x9,5mm  
Modelo: Home Plus  
Marca: LP Brasil  
Fornecedor: Leo Madeiras  
[https://www.leomadeiras.com.br/product/prod-3-OSB\\_Home\\_Plus\\_2400x1200x95mm\\_LP\\_Brasil](https://www.leomadeiras.com.br/product/prod-3-OSB_Home_Plus_2400x1200x95mm_LP_Brasil)

Máquina de usinagem utilizada:  
Fresadora Router CNC  
Modelo: Linha S-Duty  
Fornecedor: DS4  
<https://www.ds4.com.br/linha-s-duty>

Fresas utilizadas:  
6,0mm (4c) x 15mm área de corte x 50mm total x 6,0mm haste. (FRS20)  
Fornecedor: Walter&Walter  
<https://www.fresasnc.com.br/>

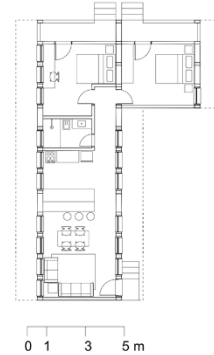
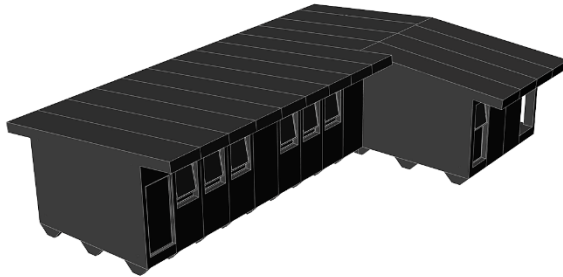
Velocidade de rotação: 13.000 RPM  
Velocidade de arrasto: 2.400 mm/minuto  
julho e agosto de 2019

TOTAL		499	Painéis
Custo estimado de painéis de OSB:			
499	x	R\$ 66,28 (Leo Madeiras - 28/08/2019)	
		R\$ 33.073,72	
Tempo estimado de usinagem dos painéis:			
499	x	20 Minutos	
		9980 Minutos	
		ou (aproximadamente)	
		166 Horas	
		ou (aproximadamente)	
		21 Dias	

PAINEL	QUANTIDADE
01	0
02	0
03	0
04	0
05	0
06	0
07	0
08	0
09	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0
16	0
17	0
18	0
19	0
20	0
21	0
22	0
23	0
24	0
25	0
26	0
27	20
28	20
29	20
30	20
31	20
32	20
33	20
34	20
35	20
36	20
37	20
38	20
39	20
40	20
41	20
42	20
43	20
44	20
45	1
46	7
47	23
48	8
49	20
50	20
51	20
52	20
53	20
54	0
55	0
56	0
<b>TOTAL</b>	<b>499</b>

Fonte: Autoria própria.

Figura 144 – Opção com sala média em pórtico simples, com cozinha pequena americana, banheiro pequeno, dormitório 1 pequeno e dormitório 2 pequeno. (número da combinação: 122111110)



QUANTIFICADOR	
DE PAINÉIS OSB PARA USINAGEM	
número da combinação: 1 2 2 1 1 1 1 1 1 0	
GRUPO	QUANTIDADE
GRUPO 0	5
GRUPO 1	11
GRUPO 2	19
GRUPO 3	19
GRUPO 4	1
GRUPO 5	5
GRUPO 6	16
GRUPO 7	5
GRUPO 8	11
GRUPO 9	19
GRUPO 10	4
PAINEL	QUANTIDADE
01	5
02	5
03	5
04	5
05	5
06	5
07	5
08	5
09	5
10	5
11	5
12	5
13	5
14	5
15	5
16	5
17	5
18	5
19	5
20	5
21	5
22	5
23	5
24	5
25	5
26	5
27	11
28	11
29	11
30	11
31	11
32	11
33	11
34	11
35	11
36	11
37	11
38	11
39	11
40	11
41	19
42	19
43	19
44	19
45	1
46	5
47	16
48	5
49	11
50	11
51	11
52	19
53	19
54	8
55	8
56	4
<b>TOTAL</b>	<b>478</b>

TOTAL	478	Painéis
Custo estimado de painéis de OSB:		
478	x	R\$ 66,28 (Eco Madeira - 28/08/2019)
		R\$ 31.681,84
Tempo estimado de usinagem dos painéis:		
478	x	20 Minutos
		9560 Minutos
		ou (aproximadamente) 159 Horas
		ou (aproximadamente) 20 Dias

Material utilizado:  
Oriented Strand Board (OSB)  
Dimensões: 2.400x1.200x9,5mm  
Modelo: Home Plus  
Marca: LP Brasil  
Fornecedor: Leo Madeiras  
[https://www.leomadeiras.com.br/product/prod-3-OSB\\_Home\\_Plus\\_2400x1200x95mm\\_LP\\_Brasil](https://www.leomadeiras.com.br/product/prod-3-OSB_Home_Plus_2400x1200x95mm_LP_Brasil)

Máquina de usinagem utilizada:  
**Fresadora Router CNC**  
Modelo: Linha S-Duty  
Fornecedor: DS4  
<https://www.ds4.com.br/linha-s-duty>

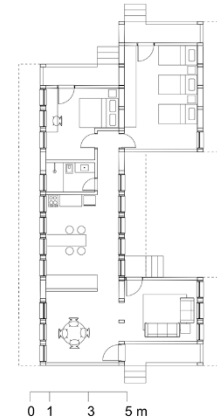
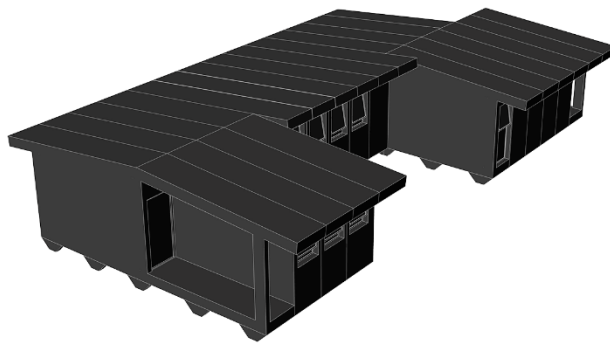
Fresas utilizadas:  
6,0mm (4c) x 15mm área de corte x 50mm total x 6,0mm haste. (FTR520)  
Fornecedor: Walter&Walter  
<https://www.fresasnc.com.br/>

Velocidade de rotação: 13.000 RPM  
Velocidade de arrasto: 2.400 mm/minuto

julho e agosto de 2019

Fonte: Autoria própria.

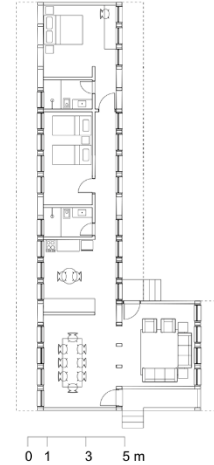
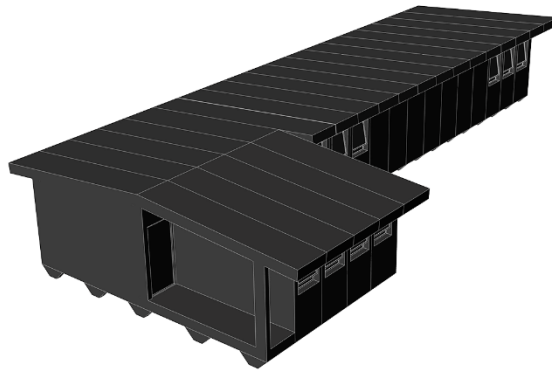
Figura 145 – Opção com sala pequena em pórtico duplo, com cozinha grande fechada, banheiro pequeno, dormitório 1 pequeno e dormitório 2 grande. (número da combinação: 212231130)



QUANTIFICADOR																												
DE PAINÉIS OSB PARA USINAGEM																												
número da combinação: 2 1 2 2 3 1 1 3 0																												
GRUPO	QUANTIDADE																											
GRUPO 0	10																											
GRUPO 1	9																											
GRUPO 2	25																											
GRUPO 3	25																											
GRUPO 4	1																											
GRUPO 5	1																											
GRUPO 6	19																											
GRUPO 7	7																											
GRUPO 8	9																											
GRUPO 9	25																											
GRUPO 10	8																											
<p>Material utilizado: Oriented Strand Board (OSB) Dimensões: 2.400x1.200x9,5mm Modelo: Home Plus Marca: LP Brasil Fornecedor: Leo Madeiras <a href="https://www.leomadeiras.com.br/product/prod-3-OSB_Home_Plus_2400x1200x95mm_LP_Brasil">https://www.leomadeiras.com.br/product/prod-3-OSB_Home_Plus_2400x1200x95mm_LP_Brasil</a></p> <p>Máquina de usinagem utilizada: <b>Fresadora Router CNC</b> Modelo: Linha S-Duty Fornecedor: DS4 <a href="https://www.ds4.com.br/linha-s-duty">https://www.ds4.com.br/linha-s-duty</a></p> <p>Fresas utilizadas: 6,0mm (4c) x 15mm área de corte x 50mm total x 6,0mm haste. (FTR520) Fornecedor: Walter&amp;Walter <a href="https://www.fresasrc.com.br/">https://www.fresasrc.com.br/</a></p> <p>Velocidade de rotação: 13.000 RPM Velocidade de arrasto: 2.400 mm/minuto</p> <p>julho e agosto de 2019</p>																												
PAINÉIS	QUANTIDADE																											
01	10																											
02	10																											
03	10																											
04	10																											
05	10																											
06	10																											
07	10																											
08	10																											
09	10																											
10	10																											
11	10																											
12	10																											
13	10																											
14	10																											
15	10																											
16	10																											
17	10																											
18	10																											
19	10																											
20	10																											
21	10																											
22	10																											
23	10																											
24	10																											
25	10																											
26	10																											
27	9																											
28	9																											
29	9																											
30	9																											
31	9																											
32	9																											
33	9																											
34	9																											
35	9																											
36	9																											
37	9																											
38	9																											
39	9																											
40	9																											
41	25																											
42	25																											
43	25																											
44	25																											
45	1																											
46	1																											
47	19																											
48	7																											
49	9																											
50	9																											
51	9																											
52	25																											
53	25																											
54	16																											
55	16																											
56	8																											
<b>TOTAL</b>	<b>631</b>																											
<b>TOTAL</b>	<b>631</b>																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>TOTAL</th> <th>631</th> <th>Painéis</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3">Custo estimado de painéis de OSB:</td> </tr> <tr> <td>631</td> <td>x</td> <td>R\$ 66,28 (Leo Madeiras - 28/08/2019)</td> </tr> <tr> <td colspan="3">R\$ 41.822,68</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Tempo estimado de usinagem dos painéis:</td> </tr> <tr> <td>631</td> <td>x</td> <td>20 Minutos</td> </tr> <tr> <td colspan="3">ou (aproximadamente) 12620 Minutos</td> </tr> <tr> <td colspan="3">ou (aproximadamente) 210 Horas</td> </tr> <tr> <td colspan="3">ou (aproximadamente) 26 Dias</td> </tr> </tbody> </table>		TOTAL	631	Painéis	Custo estimado de painéis de OSB:			631	x	R\$ 66,28 (Leo Madeiras - 28/08/2019)	R\$ 41.822,68			Tempo estimado de usinagem dos painéis:			631	x	20 Minutos	ou (aproximadamente) 12620 Minutos			ou (aproximadamente) 210 Horas			ou (aproximadamente) 26 Dias		
TOTAL	631	Painéis																										
Custo estimado de painéis de OSB:																												
631	x	R\$ 66,28 (Leo Madeiras - 28/08/2019)																										
R\$ 41.822,68																												
Tempo estimado de usinagem dos painéis:																												
631	x	20 Minutos																										
ou (aproximadamente) 12620 Minutos																												
ou (aproximadamente) 210 Horas																												
ou (aproximadamente) 26 Dias																												

Fonte: Autoria própria.

Figura 146 – Opção com sala média em pórtico duplo, com cozinha média fechada, banheiro pequeno, dormitório 1 médio e dormitório 3 pequeno. (número da combinação: 22221201)



### QUANTIFICADOR DE PAINÉIS OSB PARA USINAGEM

número da combinação:

2    2    2    2    2    1    2    0    1

GRUPO	QUANTIDADE
GRUPO 0	6
GRUPO 1	16
GRUPO 2	26
GRUPO 3	26
GRUPO 4	1
GRUPO 5	2
GRUPO 6	26
GRUPO 7	10
GRUPO 8	16
GRUPO 9	26
GRUPO 10	5

PAINEL	QUANTIDADE
01	6
02	6
03	6
04	6
05	6
06	6
07	6
08	6
09	6
10	6
11	6
12	6
13	6
14	6
15	6
16	6
17	6
18	6
19	6
20	6
21	6
22	6
23	6
24	6
25	6
26	6
27	6
28	6
29	6
30	6
31	6
32	6
33	6
34	6
35	6
36	6
37	6
38	6
39	6
40	6
41	6
42	6
43	6
44	6
45	1
46	2
47	26
48	10
49	16
50	16
51	16
52	26
53	26
54	10
55	10
56	5
<b>TOTAL</b>	<b>648</b>

Material utilizado:  
Oriented Strand Board (OSB)  
Dimensões: 2.400x1.200x9,5mm  
Modelo: Home Plus  
Marca: LP Brasil  
Fornecedor: Leo Madeiras  
[https://www.leomadeiras.com.br/product/prod-3-OSB\\_Home\\_Plus\\_2400x1200x95mm\\_LP\\_Brasil](https://www.leomadeiras.com.br/product/prod-3-OSB_Home_Plus_2400x1200x95mm_LP_Brasil)

Máquina de usinagem utilizada:  
**Fresadora Router CNC**  
Modelo: Linha S-Duty  
Fornecedor: DS4  
<https://www.ds4.com.br/linha-s-duty>

Fresas utilizadas:  
6,0mm (4c) x 15mm área de corte x 50mm total x 6,0mm haste. (FTR520)  
Fornecedor: Walter&Walter  
<https://www.fresascnc.com.br/>

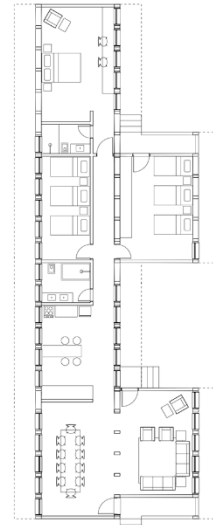
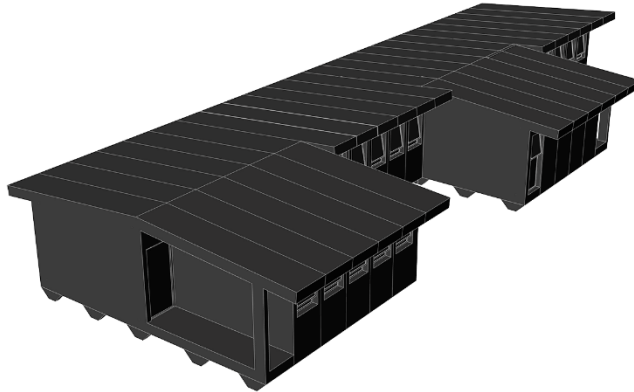
Velocidade de rotação: 13.000 RPM  
Velocidade de arrasto: 2.400 mm/minuto

Julho e agosto de 2019

<b>TOTAL</b>	<b>648</b>	<b>Painéis</b>
<b>Custo estimado de painéis de OSB:</b>		
648	x	R\$ 66,28 (Leo Madeiras - 28/08/2019)
<b>R\$ 42.949,44</b>		
<b>Tempo estimado de usinagem dos painéis:</b>		
648	x	20 Minutos
ou (aproximadamente) <b>12960</b> Minutos		
ou (aproximadamente) <b>216</b> Horas		
ou (aproximadamente) <b>27</b> Dias		

Fonte: Autoria própria.

Figura 147 – Opção com sala grande em pórtico duplo, com cozinha grande fechada, banheiro grande, dormitório 1 grande, dormitório 2 grande e dormitório 3 grande. (número da combinação: 232232333)



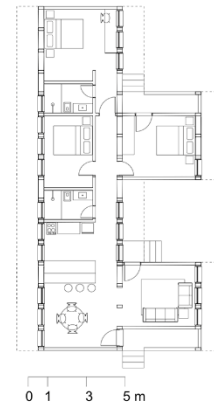
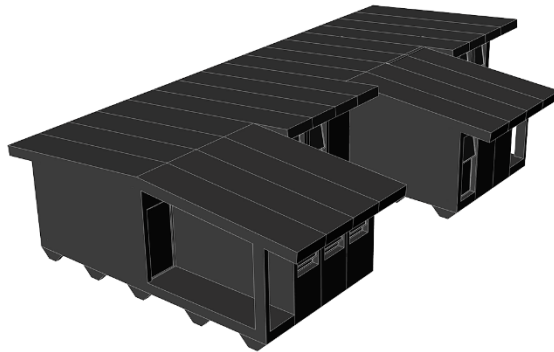
QUANTIFICADOR		0 1 3 5 m	
DE PAINÉIS OSB PARA USINAGEM			
número da combinação: 2 3 2 2 3 2 3 3 3			
GRUPO	QUANTIDADE	PAINEL	QUANTIDADE
GRUPO 0	14	01	14
GRUPO 1	14	02	14
GRUPO 2	39	03	14
GRUPO 3	39	04	14
GRUPO 4	1	05	14
GRUPO 5	3	06	14
GRUPO 6	30	07	14
GRUPO 7	17	08	14
GRUPO 8	15	09	14
GRUPO 9	39	10	14
GRUPO 10	12	11	14
		12	14
		13	14
		14	14
		15	14
		16	14
		17	14
		18	14
		19	14
		20	14
		21	14
		22	14
		23	14
		24	14
		25	14
		26	14
		27	14
		28	14
		29	14
		30	14
		31	14
		32	14
		33	14
		34	14
		35	14
		36	14
		37	14
		38	14
		39	14
		40	14
		41	39
		42	39
		43	39
		44	39
		45	1
		46	3
		47	30
		48	17
		49	15
		50	15
		51	15
		52	39
		53	39
		54	24
		55	24
		56	12
		<b>TOTAL</b>	<b>950</b>

TOTAL	950	Painéis
Custo estimado de painéis de OSB:		
950	x	R\$ 66,28 (Leo Madeiras - 28/06/2019)
		R\$ 62.966,00
Tempo estimado de usinagem dos painéis:		
950	x	20 Minutos
		19000 Minutos
		ou (aproximadamente) 317 Horas
		ou (aproximadamente) 40 Dias

Fonte: Autoria própria.

Figura 148 – Opção com sala pequena em pórtico duplo, com cozinha pequena americana, banheiro pequeno, dormitório 1 pequeno, dormitório 2 pequeno e dormitório 3 pequeno. (número da combinação: 212111111)



### QUANTIFICADOR DE PAINÉIS OSB PARA USINAGEM

número da combinação:

2      1      2      1      1      1      1      1      1      1

GRUPO	QUANTIDADE
GRUPO 0	10
GRUPO 1	10
GRUPO 2	27
GRUPO 3	27
GRUPO 4	1
GRUPO 5	2
GRUPO 6	18
GRUPO 7	13
GRUPO 8	11
GRUPO 9	27
GRUPO 10	8

PAINEL	QUANTIDADE
01	10
02	10
03	10
04	10
05	10
06	10
07	10
08	10
09	10
10	10
11	10
12	10
13	10
14	10
15	10
16	10
17	10
18	10
19	10
20	10
21	10
22	10
23	10
24	10
25	10
26	10
27	10
28	10
29	10
30	10
31	10
32	10
33	10
34	10
35	10
36	10
37	10
38	10
39	10
40	10
41	27
42	27
43	27
44	27
45	1
46	2
47	18
48	13
49	11
50	11
51	11
52	27
53	27
54	16
55	16
56	8
<b>TOTAL</b>	<b>669</b>

Material utilizado:  
Oriented Strand Board (OSB)  
Dimensões: 2.400x1.200x9,5mm  
Modelo: Home Plus  
Marca: LP Brasil  
Fornecedor: Leo Madeiras  
[https://www.leomadeiras.com.br/product/prod-3-OSB\\_Home\\_Plus\\_2400x1200x95mm\\_LP\\_Brasil](https://www.leomadeiras.com.br/product/prod-3-OSB_Home_Plus_2400x1200x95mm_LP_Brasil)

Máquina de usinagem utilizada:  
**Fresadora Router CNC**  
Modelo: Linha S-Duty  
Fornecedor: DS4  
<https://www.ds4.com.br/linha-s-duty>

Fresas utilizadas:  
6,0mm (4c) x 15mm área de corte x 50mm total x 6,0mm haste. (FTR520)  
Fornecedor: Walter&Walter  
<https://www.fresascnc.com.br/>

Velocidade de rotação: 13.000 RPM  
Velocidade de arrasto: 2.400 mm/minuto

julho e agosto de 2019

TOTAL	669	Painéis
Custo estimado de painéis de OSB:		
669	x	R\$ 66,28 (Leo Madeiras - 28/06/2019)
R\$ 44.341,32		
Tempo estimado de usinagem dos painéis:		
669	x	20 Minutos
13380 Minutos		
ou (aproximadamente)		
223 Horas		
ou (aproximadamente)		
28 Dias		

Fonte: Autoria própria.



## 7. Considerações finais

A tese aqui apresentada almejou, desde o princípio, a comprovação da viabilidade de uma ferramenta computacional na geração grande quantidade de opções de variações de uma determinada solução arquitetônica, e, assim, contribuir com a defesa da aplicação do conceito de customização em massa na produção de arquitetura. A perpetuação de um caráter massificado na produção da habitação social nesse início de século, com a produção de grandes conjuntos habitacionais com centenas e até milhares de unidades habitacionais idênticas, atendendo a famílias com características distintas, evidencia a necessidade dessa tal ferramenta, que facilitaria não apenas a produção de projetos diversificados, mas sua melhor adaptação à demandas reais, por responder diretamente os futuros moradores.

Por se tratar de uma abordagem exploratória, o trabalho se propôs, desde o início, a oferecer uma *Prova de Conceito*, um estudo de uma possibilidade que ainda não se colocasse em uma situação real, o que envolveria famílias com demandas reais, mas eventualmente em situação de vulnerabilidade, impondo uma responsabilidade que não convinha a este trabalho. Assim, a presente pesquisa buscou a proposição de uma solução que possa vir a ser aplicada em casos concretos, com características adaptáveis a diferentes situações. Logo, entende-se que o que foi aqui apresentado deve ter continuidade, quando buscará atender essas demandas reais.

A partir do conceito de Customização em Massa, pode-se dividir o trabalho em três temas: adaptação a uma solução arquitetônica/construtiva específica; geração de variações; interface de diálogo com os futuros moradores.

A adaptação à solução construtiva, a estrutura simples do algoritmo, baseado essencialmente em substituições e adições, viabilização sua utilização a qualquer construção baseada em componentes modularizáveis, em acordo com autores que tratam de Customização em Massa, como Pine (1994), que entende a modularidade como característica fundamental para sua aplicação. Ou seja,

qualquer construção que siga algum tipo de coordenação modular pode ser objeto de aplicação do algoritmo aqui proposto.

A modularização dos componentes, definida por Pine (1994) em seis tipos, parte justamente da combinação, adição ou substituição de elementos produzidos em série, para promover a personalização do produto, oferecendo resultados distintos baseados em um catálogo de opções.

Assim, a estrutura do algoritmo baseada em essencialmente nos comandos *Stream Filter* e *Linear Array*, permite sua adaptabilidade a diferentes soluções arquitetônicas/construtivas baseadas em componentes modularizados, preferencialmente pré-fabricadas, uma vez que estas costumam partir de componentes regulares e combináveis.

O algoritmo gera um total de 5.184 combinações possíveis, comprovando que sua solução simples é eficiente na produção de grande variabilidade de respostas. Por se tratar de uma progressão geométrica, ao se oferecer novas opções, um dormitório a mais, por exemplo, o número de combinações possíveis cresce significativamente. Assim, comprova-se a adaptabilidade à diferentes demandas de usuários, uma vez que há um grande número de resultados distintos. No entanto, a qualidade desses resultados depende da qualidade dos dados de entrada. Quanto melhor for a solução arquitetônica/construtiva e a quantidade de opções ofertadas, melhor, e mais variados, serão os resultados.

Quanto à interface de diálogo com os futuros moradores, buscou-se sua flexibilização ao oferecer dois tipos de diálogo: o interativo e o iterativo. A opção interativa permite a visualização imediata do resultado à medida que as opções são alteradas, mas exige algum grau de familiaridade com a ferramenta, pois essa não se adapta ao usuário.

Já a opção iterativa, representada em uma sucessão de onze perguntas, permite um diálogo melhor adaptado ao interlocutor humano, uma vez que pode se apropriar de seu vocabulário e repertório. Essa opção parece ser a mais adequada

a situações de maior vulnerabilidade dos futuros moradores, com menor grau de instrução ou acesso a ferramentas tecnológicas.

No entanto, nenhuma das duas opções foi efetivamente testada em situações reais, impedindo uma avaliação real de suas qualidades, potencialidades e deficiências. Mas a oferta de duas opções, sendo uma delas adaptável ao interlocutor, evidencia sua flexibilidade.

Entende-se a presente tese como um primeiro passo para a apropriação do conceito de customização em massa na produção de arquitetura, uma vez que estabelece uma estratégia algorítmica para sua aplicação. Logo, acredita-se que a ferramenta aqui proposta deva ser levada a frente, buscando-se aplicações em situações diversas, com emprego de distintas soluções construtivas e arquitetônicas, em diálogos reais com futuros usuários.

Essa aplicação depende da criação de interfaces mais amigáveis, com a geração de resultados visuais mais facilmente entendidos, e ferramentas de diálogo mais claras. As questões da opção iterativa, talvez demande a participação de profissionais já engajados com eventuais comunidades que serão atendidas. Não apenas arquitetos, mas possivelmente psicólogos e assistentes sociais. Da mesma maneira, os desenhos resultantes deverão ser inteligíveis para os futuros usuários, o que também demandaria a experiência de profissionais envolvidos com esses grupos sociais destinatários.

Assim, conclui-se este trabalho como um ponto de partida para novas pesquisas e aplicações práticas em situações reais, procurando contribuir não apenas com a discussão sobre a aplicação de processos digitais na produção da arquitetura, mas uma resposta à produção massificada de habitação em um mundo cuja complexidade é cada vez mais aceita e assimilada.

## 8. Referências

ALEXANDER, C. **A pattern language: towns, buildings, construction**. Oxford: Oxford university press, 1977.

ARNOLD, H. M. **The recent history of the machine tool industry and the effects of technological change**. *Münchner Betriebswirtschaftliche Beiträge*, 2001.

Disponível em:

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.119.2125&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 7 jan. 2020.

ARNSTEIN, S. R. **A ladder of citizen participation**. Journal of the American Institute of planners, v. 35, n. 4, p. 216-224, 1969. Disponível em:

<https://www.participatorymethods.org/sites/participatorymethods.org/files/Arnstein%20ladder%201969.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2020.

AZUMA, M. H. **Customização em massa de projeto de Habitação de Interesse Social por meio de modelos físicos paramétricos**. 2016. Tese. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em:

<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-24042018-102619/pt-br.php>. Acesso em: 7 jan. 2020.

BARDAKCI, A. WHITELOCK, J. **Mass-customisation in marketing: the consumer perspective**. Journal of consumer marketing, v. 20, n. 5, p. 463-479, 2003.

Disponível em:

<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/07363760310489689/full/pdf?title=masscustomisation-in-marketing-the-consumer-perspective>. Acesso em: 7 jan. 2020.

BEVILACQUA, M. G. **Alexander Klein and the Existenzminimum: A ‘Scientific’ Approach to Design Techniques**. Nexus Network Journal, v. 13, n. 2, p. 297-313, 2011. Disponível em:

<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00004-011-0080-6.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2020.

Bonsiepe, G. **Desobediencia proyectual**. Conferência para o simpósio “*Can design change society?*”. Berlim, 2015.

BRUNA, P. J. V. **Os primeiros arquitetos modernos: habitação social no Brasil, 1930-1950**. São Paulo: Edusp, 2010.

BUCKLEY, R. M.; KALLERGIS, A.; WAINER, L. **The emergence of large-scale housing programs: Beyond a public finance perspective**. Habitat International, v. 54, p. 199-209, 2016. Disponível em:

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0197397515302083?token=B0A28DE1525F970664BFD74E11ED794B00110D37BD2B0CCBF9EB6C13DE37B0FA885A1ED83661359208A7AD8C342FDOE>. Acesso em: 7 jan. 2020.

CAIXETA, M. C. B. F. **O usuário e o processo de projeto: co-design em edifícios de saúde**. 2015. Tese. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: [https://teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-23032016-121907/publico/MicheleCaixeta\\_corrigida.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-23032016-121907/publico/MicheleCaixeta_corrigida.pdf). Acesso em: 7 jan. 2020.

CAMPOLONGO, E. L. S. P. **Mackhaus: fabricação digital subtrativa aplicada à produção de habitações por meio de encaixes em madeira**. 2019. Dissertação. Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2019. Disponível em: <http://tede.mackenzie.br/jspui/handle/tede/4049#preview-link0>. Acesso em: 7 jan. 2020.

CARDOSO, R. **Design para um mundo complexo**. São Paulo: Cosac Naify, 2011.

CHOGUILL, M. B. G. **A ladder of Community participation for underdeveloped countries**. Habitat International, v. 20, n. 3, p. 431-444, 1996. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/0197397596000203?token=87FF651E8CAD6B282AAE0E9F15683071269DA3A26DD2BE24954552B8AB9419A8E53BD732C7731EDC47790B8F42B0F303>. Acesso em: 7 jan. 2020.

CORBUSIER, L. **Por uma arquitetura**. São Paulo: Perspectiva, 2009.

CROSS, Nigel. **Design participation**. Manchester: Academy Editions, 1972.

DA SILVEIRA, G.; BORENSTEIN, D.; FOGLIATTO, F. S. **Mass customization: Literature review and research directions**. International Journal of Production Economics, v. 72, n. 1, p.1 -13, 2001. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0925527300000797?token=1536ACFD506E22CF6B96E38D45693F1964570802F17E797396CF1A133D26A93BA7248AB090E359772C71EBFD93659DA6>. Acesso em: 7 jan. 2020.

DAMODARAN, L. **User involvement in the systems design process – A practical guide for users**. Behaviour & information Technology, v. 15, n. 6, p. 363-377, 1996. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/014492996120049?needAccess=true>. Acesso em: 7 jan. 2020.

DAVIS, Stanley M. **Future perfect**. In: DAVIS, Stanley M. Human Resource Management in International Firms. London: Palgrave Macmillan UK, 1990.

DE MORAES, D. **Metaprojeto: o design do design**. São Paulo: Blücher, 2010.

DUARTE, J. P. **Customizing mass housing: a discursive grammar for Siza's Malagueira houses**. 2001. Tese. Massachusetts Institute of Technology, 2001. Disponível em: <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/8189>. Acesso em: 7 jan. 2020.

DUNN, N. **Digital fabrication in architecture**. London: Laurence King, 2012.

FABFOUNDATION. **Homepage: Bridging the digital divide – Design/Fabricate/Share.** Disponível em: <http://www.fabfoundation.org/>. Acesso em: 7 jan. 2020.

OPENDESK. **Homepage: Furniture designed for inspiring workplaces.** Disponível em: <https://www.opendesk.cc/>. Acesso em: 7 jan. 2020.

FONSECA DE CAMPOS, P. E. **Design Arquitetônico: Uma abordagem projetual com foco no usuário, como protagonista e agente de projeto, ou... Das cooperativas de habitação uruguaias ao dissenso modernista do “Byker Wall”.** 2016. Tese (Livre Docência) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em: [https://teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/16/tde-28082017-095852/publico//CamposPauloEF\\_livre\\_docencia.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/16/tde-28082017-095852/publico//CamposPauloEF_livre_docencia.pdf). Acesso em: 7 jan. 2020.

FRAMPTON, K. **História crítica da arquitetura moderna.** São Paulo: Martins Fontes, 2000.

FRIEDMAN, Y. **Toward a scientific architecture.** Cambridge: MIT Press, 1975.

GARNETT, N. **Digital rights management, copyright, and napster.** ACM SIGecom Exchanges, V.2.2: p. 1-5, 2001. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/844316.844318?download=true>. Acesso em: 7 jan. 2020.

GERSHENFELD, N. **How to make almost anything: The digital fabrication revolution.** *Foreign Aff.*, v. 91, 2012. Disponível em: <https://heinonline.org/HOL/LandingPage?handle=hein.journals/fora91&div=114&id=&page=>. Acesso em: 7 jan. 2020.

GILMORE, J. H.; PINE, B. J. **The four faces of mass customization.** Harvard Business Review, v. 75, n. 1, p. 91-101, 1997. Disponível em: <https://go.galegroup.com/ps/anonymouse?id=GALE%7CA19129098&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=00178012&p=AONE&sw=w>. Acesso em: 7 jan. 2020.

GRANATH, J. Å.; LINDAHL, G. A.; REHAL, S. **From Empowerment to Enablement. An evolution of new dimensions in participatory design.** Logistik und Arbeit, v. 8, n. 2, p. 16-20, 1996. Disponível em: <https://bit.ly/2QUqsvt>. Acesso em: 7 jan. 2020.

GROPIUS, W. **Bauhaus: nova arquitetura.** São Paulo: Perspectiva, 1972.

HABRAKEN, N. J. **El diseño de Soportes.** Barcelona: G. Gili, 2000.

HARVEY, D. **Condição pós-moderna: uma pesquisa sobre as origens da mudança cultural.** São Paulo: Loyola, 2001.

JACQUIN, C. **Producir y habitar la periferia. Los nuevos conjuntos de vivienda de bajo costo en México (ZMVM)**. Bulletin de l'Institut français d'études andines, n. 41 (3), p. 389-415, 2012. Disponível em:

<https://journals.openedition.org/bifea/186>. Acesso em: 7 jan. 2020.

KIERAN, S.; TMBERLAKE, J. **Refabricating Architecture. How Manufacturing Methodologies Are Poised to Transform Building Construction**. New York: McGraw Hill Companies, 2004.

KOLAREVIC, B. (ed.). **Architecture in the digital age: design and manufacturing**. New York: Taylor & Francis, 2005.

KOLAREVIC, B. **From Mass Customisation to Design 'Democratisation'**. Architectural Design, v. 85, n. 6, p. 48-53, 2015.

KOLAREVIC, B.; DUARTE, J. P. (ed). **Mass Customization and Design Democratization**. Abingdon: Routledge, 2019.

LAMOUNIER, R. D. F. **Da autoconstrução à arquitetura aberta: o Open Building no Brasil**. 2017. Tese. Universidade Federal de Minas Gerais, 2017. Disponível em: <http://praxis.arq.ufmg.br/textos/tese-rosa.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2020.

LAMPEL, J.; MINTZBERG, H. **Customizing customization**. Sloan Management Review/Fall, v. 38, p. 21-30, 1996. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Joseph\\_Lampel/publication/40962226\\_Customizing\\_Customization/links/545b62050cf28779a4dc3604/Customizing-Customization.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Joseph_Lampel/publication/40962226_Customizing_Customization/links/545b62050cf28779a4dc3604/Customizing-Customization.pdf). Acesso em: 7 jan. 2020.

LEONE, E. T.; MAIA, A. G.; BALTAR, P. E. **Mudanças na composição das famílias e impactos sobre a redução da pobreza no Brasil**. Economia e sociedade. [on-line]. 2010, vol. 19, n. 1, p. 59-77. ISSN 0104-0618. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-06182010000100003>. Acesso em: 7 jan. 2020.

MACHADO, A.; MORAES, W. **Por que adotar Customização em Massa?** Revista de Negócios, v. 15, n. 4, 2011. Disponível em <https://gorila.furb.br/ojs/index.php/rn/article/view/1862/1618>. Acesso em: 7 jan. 2020.

MAGIS. **Las ruinas que dejó el boom de la vivienda popular en México**. Disponível em: <https://magis.iteso.mx/content/las-ruinas-que-dej%C3%B3-el-boom-de-la-vivienda-popular-en-m%C3%A9xico>. Acesso em: 7 jan. 2020.

MENDONÇA, D.; PASSARO, A.; HENRIQUES, G. WikiHouse: **A Generative and parametric tool to customize curved geometries**. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE IBERO-AMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 22., 2018, São Carlos. **Anais** [...]. São Carlos: USP, 2018. p. 180-184. Disponível em: <https://bit.ly/39MXM06>. Acesso em: 7 jan. 2020.

MEREDITH, M.; SASAKI, M. **From control to design: parametric/algorithmic architecture**. Barcelona: Actar-D, 2008.

MITCHELL, W. **The reconfigured eye: visual truth in the post-photographic era**. Cambridge: MIT Press, 1992.

MOREIRA, A. S. **À procura dos novos modos de habitar**. 2013. Tese. Universidade de Lisboa, Lisboa, 2013. Disponível em: <https://bit.ly/370iHOB>. Acesso em: 7 jan. 2020.

NARDELLI, E. S.; BACKHEUSER, L. A. F. **Sistema Wikihouse aplicado ao Programa Minha Casa Minha Vida**. In: CONGRESO DE LA SOCIEDAD IBERO-AMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 20., 2016, Buenos Aires. **Anais** [...]. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires y el Centro Cultural San Martin, 2016. Disponível em: [http://papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2016\\_461.pdf](http://papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2016_461.pdf). Acesso em: 7 jan. 2020.

NATIVIDADE, V. G. **Fraturas metodológicas nas arquiteturas digitais**. 2010. Dissertação. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16138/tde-16062010-153027/publico/NATIVIDADE DISSERTACAO.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2020.

NEGROPONTE, N. **Soft Architecture Machines**. Cambridge: MIT press, 1975.

NEGROPONTE, N. **The Architecture Machine**. Cambridge: MIT press, 1970.

NOIA, P. R. D. C. **Participação e Qualidade do Ambiente Construído na Habitação: Processo e Produto no programa Minha Casa Minha Vida - Entidades**. 2017. Tese. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. Disponível em: [https://teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-22062017-151733/publico/PaulaReginadaCruzNoia\\_REV.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-22062017-151733/publico/PaulaReginadaCruzNoia_REV.pdf). Acesso em: 7 jan. 2020.

OLIVERI, M. **Prefabricacion o Metaproyecto Constructivo**. Barcelona: Gili, 1972.

PASK, G. **The architectural relevance of cybernetics**. *Architectural Design*, v. 39, n. 9, p. 494-496, 1969. (Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/b402/2bac21901cb0f8ef7e381d6d2b9eab5f669f.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2020.



PASSARO, A.; ROHDE, C. **Casa Revista: arquitetura de fonte aberta**. Gestão e Tecnologia de Projetos, São Carlos, v. 11, n. 2, p. 25-41 jul-set. 2016. Disponível em:

<https://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/114437/119153>.

Acesso em: 7 jan. 2020.

PATEMAN, C. **Participation and democratic theory**. Cambridge: Cambridge University Press, 1970.

PETRESCU, D.; TILL, J.; BLUNDELL-JONES, P. **Architecture and participation**. Abingdon: Routledge, 2013.

PILLER, F. T. **Cracking the Code of Mass Customization**: New MIT SMR Paper. Mass Customization & Open Innovation News. April 2009. Disponível em:

[https://mass-customization.blogs.com/mass\\_customization\\_open\\_i/2009/04/cracking-the-code-of-mass-customization-new-mit-smt-paper.html](https://mass-customization.blogs.com/mass_customization_open_i/2009/04/cracking-the-code-of-mass-customization-new-mit-smt-paper.html). Acesso em: 7 jan. 2020.

PILLER, F. T. **Term wars: Personalization versus Mass Customization – A review of the definitions**. Mass Customization & Open Innovation News. October 2010. Disponível em:

[https://mass-customization.blogs.com/mass\\_customization\\_open\\_i/2010/10/term-wars-personalization-versus-mass-customization-a-review-of-the-definitions.html](https://mass-customization.blogs.com/mass_customization_open_i/2010/10/term-wars-personalization-versus-mass-customization-a-review-of-the-definitions.html).

Acesso em: 7 jan. 2020.

PINE II, B. J. **Personalizando produtos e serviços: customização maciça**. São Paulo: Makron Books, 1994.

PIROOZFAR, P. A. E; PILLER, F. T. (ed). **Mass customisation and personalisation in architecture and construction**. Abingdon: Routledge, 2013.

POWERS, A. **Hovels to high rise: state housing in europe since 1850**. London: Routledge, 1993.

RAMOS, J. P. **Experiências Participativas. O papel do arquitecto no desenho das ferramentas de interacção**. 2013. Dissertação. Universidade do Porto, Porto, 2013. Disponível em:

<https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/80300>.

Acesso em: 7 jan. 2020.

RATTI, C.; CLAUDEL, M. **Open Source Architecture**. London: Thames & Hudson, 2015.

REINTJES, J. F. **Numerical Control: Making a New Technology**. Oxford: Oxford University Press, 1991.

RIZEK, C. S.; SANTO AMORE, C.; DE CAMARGO, C. M. **Política social, gestão e negócio na produção das cidades: o Programa Minha Casa Minha Vida “entidades”**. Caderno CRH, v. 27, n. 72, p. 531-546, 2014. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3476/347639244006.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2020.

ROCHA, G. **Estudo da ONU aponta que tamanho das famílias no Brasil está abaixo da média mundial**. Ciência e Saúde, [s. l.], out. 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2018/10/17/estudo-da-onu-aponta-que-tamanho-das-familias-no-brasil-esta-abaixo-da-media-mundial.ghtml>. Acesso em: 7 jan. 2020.

RYBCZYNSKI, W. Casa: pequena história de uma ideia. São Paulo: Record, 1996.

SANDERS, E. B. N.; STAPPERS, P. J. **Co-creation and the new landscapes of design**. CoDesign. International Journal of CoCreation in Design and the Arts. v. 4, n. 1, p. 5-18, 2008. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15710880701875068>. Acesso em: 7 jan. 2020.

SANOFF, H. **Multiple views of participatory design**. Focus, v. 8, n. 1, p. 7, 2011. Disponível em: <http://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1182&context=focus>. Acesso em: 7 jan. 2020.

SANTO AMORE, C. S., SHIBO, L. Z.; RUFINO, M. B. C. (org.). **Minha Casa... E a Cidade? Avaliação do Programa Minha Casa Minha Vida em seis Estados Brasileiros**. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2015. Disponível em: <https://www.ufmg.br/online/arquivos/anexos/livro%20PDF.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2020.

SASS, L. **A wood frame grammar. A generative system for digital fabrication**. International journal of architectural computing, 2006, v. 04, p. 51-68. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1260/147807706777008920>. Acesso em: 7 jan. 2020.

SASS, L., BOTHA, M. **The Instant House: A Model of Design Production with Digital Fabrication**. International journal of architectural computing, 2006b, v. 04, p. 109-124. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1260/147807706779399015>. Acesso em: 7 jan. 2020.

SERRA, G. G. **Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo**: Guia prático para o trabalho de pesquisadores em pós-graduação. São Paulo: Edusp, 2006.

SILVA, F. O. M.; BACKHEUSER, L. A. F. **Fabricação digital em arquitetura: Encaixes sistema Wikihouse**. In: Jornada de Iniciação Científica. 12., 2016. São Paulo. **Anais [...]** São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2016.

SINCLAIR, R. **Participation in practice: Making it meaningful, effective and sustainable.** *Children & society*, v. 18, n. 2, p. 106-118, 2004. Disponível em: [https://www.open.edu/openlearn/ocw/pluginfile.php/617771/mod\\_resource/content/1/e807\\_participation\\_in\\_practice.pdf](https://www.open.edu/openlearn/ocw/pluginfile.php/617771/mod_resource/content/1/e807_participation_in_practice.pdf). Acesso em: 7 jan. 2020.

SMITH, A. *et al.* **Grassroots digital fabrication and makerspaces: Reconfiguring, relocating and recalibrating innovation?** *SSRN Electronic Journal*. University of Sussex, SPRU Working Paper SWPS, 2013. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/314645003\\_Grassroots\\_Digital\\_Fabrication\\_and\\_Makerspaces\\_Reconfiguring\\_Relocating\\_and\\_Recalibrating\\_Innovation](https://www.researchgate.net/publication/314645003_Grassroots_Digital_Fabrication_and_Makerspaces_Reconfiguring_Relocating_and_Recalibrating_Innovation). Acesso em: 7 jan. 2020.

STINY, G.; GIPS, J. **Shape grammars and the generative specification of painting and sculpture.** *In: IFIP CONGRESS, 7., 1972, Amsterdam. Proceedings [...]*. Amsterdam: North-Holland, 1972. p. 1460-1465. Disponível em: <http://www.cs.bc.edu/~gips/ShapeGrammarsIFIPS71.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2020.

SUTHERLAND, I. **Sketchpad: A man-machine graphical communication system.** 1964. Tese. Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 1964. Disponível em: <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/14979>. Acesso em: 7 jan. 2020.

TEICHOLZ, E.; ORR, J. N. **Computer integrated manufacturing handbook.** McGraw-Hill, Inc., 1987.

TERZIDIS, K. **Algorithmic architecture.** New York: Routledge, 2006.

TILL, J. *et al.* **The negotiation of hope.** *In: JONES, P. B.; PETRESCU, D.; TILL, J. (ed.). Architecture and participation.* New York: Spon Press, 2005. Disponível em: [https://jeremytill.s3.amazonaws.com/uploads/post/attachment/19/2005\\_The\\_Negotiation\\_of\\_Hope.pdf](https://jeremytill.s3.amazonaws.com/uploads/post/attachment/19/2005_The_Negotiation_of_Hope.pdf). Acesso em: 7 jan. 2020.

URBAN, F. **Tower and slab: histories of global mass housing.** London: Routledge, 2013.

VARDOULI, T. **Architecture by yourself: early studies in computer-aided participatory design.** 2011. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology. Disponível em: [https://openarchitectures.files.wordpress.com/2011/10/literature-review\\_thvardouli.pdf](https://openarchitectures.files.wordpress.com/2011/10/literature-review_thvardouli.pdf). Acesso em: 7 jan. 2020.

VILLA, S. B.; SARAMAGO, R. C. P.; GARCIA, L. C. **Avaliação Pós-Ocupação no Programa Minha Casa Minha Vida: uma experiência metodológica.** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2015. Disponível em: [https://morahabitacao.files.wordpress.com/2015/07/ipea\\_livro\\_internet1.pdf](https://morahabitacao.files.wordpress.com/2015/07/ipea_livro_internet1.pdf). Acesso em: 7 jan. 2020.

WILCOX, D. **The guide to effective participation.** London: Joseph Rowntree Foundation, 1994. Disponível em: <http://ourmuseum.org.uk/wp-content/uploads/The-Guide-to-Effective-Participation.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2020.

WOOD JR, T. **Fordismo, toyotismo e volvismo: os caminhos da indústria em busca do tempo perdido.** Revista de administração de Empresas, v. 32, n. 4, p. 6-18, 1992. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rae/v32n4/a02v32n4.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2020.

WITT, S. **Como a música ficou grátis.** São Paulo: Editora Intrínseca, 2015.

WULZ, F. **The concept of participation.** Design studies, v. 7, n. 3, 1986. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/0142694X86900529?token=7D354B6553653B2A0A9DC0DC1FFAE620EC16F79377FD5710BD030426CCC36ADA8E1CBF9B03BD7876BA7CCC38BDADAACF>. Acesso em: 7 jan. 2020.

Os arquivos digitais desta pesquisa estão disponíveis

através do *QR code* abaixo:





[backheuser@gmail.com](mailto:backheuser@gmail.com)