



Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo

Trabalho Final de Graduação

# **MODELOS FÍSICOS COMO FERRAMENTA PROJETUAL: DIÁLOGOS ENTRE A ESCALA REDUZIDA E A MATERIALIDADE DO EDIFÍCIO**

Mariana Del Moro

São Paulo  
2019

Trabalho Final de Graduação de autoria de Mariana Del Moro, sob o título ***“Modelos Físicos como Ferramenta Projetual: Diálogos entre a escala reduzida e a materialidade do edifício”***, a ser apresentado à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo no dia 25 de junho de 2019.

Composição da banca:

Orientador: Prof. Dr. Paulo Eduardo Fonseca de Campos

Convidado: Prof. Dr. Artur Simões Rozestraten

Convidado: Prof. Dr. Antônio Carlos Barossi

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Regina e Carlos, pelo apoio carinhoso em todos os sentidos possíveis durante não só o período inteiro de formação acadêmica, mas da minha vida toda.

À minha irmã Renata, que constantemente me faz enxergar as situações sob diferentes perspectivas.

Ao meu querido Pedro, que sempre está ao meu lado com uma paciência infinita, seja para aguentar minhas reclamações, choros e desabafos, ou para me distrair, fazer rir e não esquecer de viver. Com certeza eu não teria conseguido concluir esse trabalho sem você.

A todos os meus amigos, pelo apoio moral e sugestões construtivas. Em especial à Leila, que tão prontamente aceitou me ajudar em um momento de desespero.

Ao Prof. Dr. Paulo Eduardo Fonseca, pela orientação, atendimentos e conversas sempre cheias de paciência, sabedoria e generosidade.

Ao Prof. Dr. Artur Simões Rozestraten, por quem tenho admiração desde o primeiro semestre na FAU. Obrigada pelas conversas que me acalmaram quando precisei.

Ao Prof. Dr. Antônio Carlos Barossi, pelas aulas cheias de vida que me incentivaram ainda mais pelos caminhos da arquitetura.

À FAU-USP, por todas as oportunidades que tive durante a minha formação.



# SUMÁRIO

## 1. INTRODUÇÃO ..... 07

1.1 Problematização .....	09
1.2 Campo Objeto .....	10
1.3 Relevância e Justificativa .....	10
1.4 Objetivos .....	11
1.5 Metodologia .....	12

## 2. MODELOS FÍSICOS COMO FERRAMENTA PROJETUAL ..... 15

2.1 Modelos Físicos ao longo dos anos .....	17
2.2 Tipologias .....	27
2.3 Jogos de Construção - o lúdico no ensino .....	30

## 3. ESTUDOS DE CASO ..... 37

3.1 Mola .....	39
3.1.1 História .....	39
3.1.2 Características .....	40
3.1.3 O Produto na Confecção de Modelos Físicos ...	42
3.2 Arckit .....	43
3.2.1 História .....	43
3.2.2 Características .....	44
3.2.3 O Produto na Confecção de Modelos Físicos ...	46
3.3 LEGO .....	49
3.3.1 História .....	49

3.3.2 Características .....	55
3.3.3 O Produto na Confecção de Modelos Físicos ...	59
3.4 Classificação .....	62

## 4. PRÉ-FABRICADO - DA MINIATURA AO REAL ..... 65

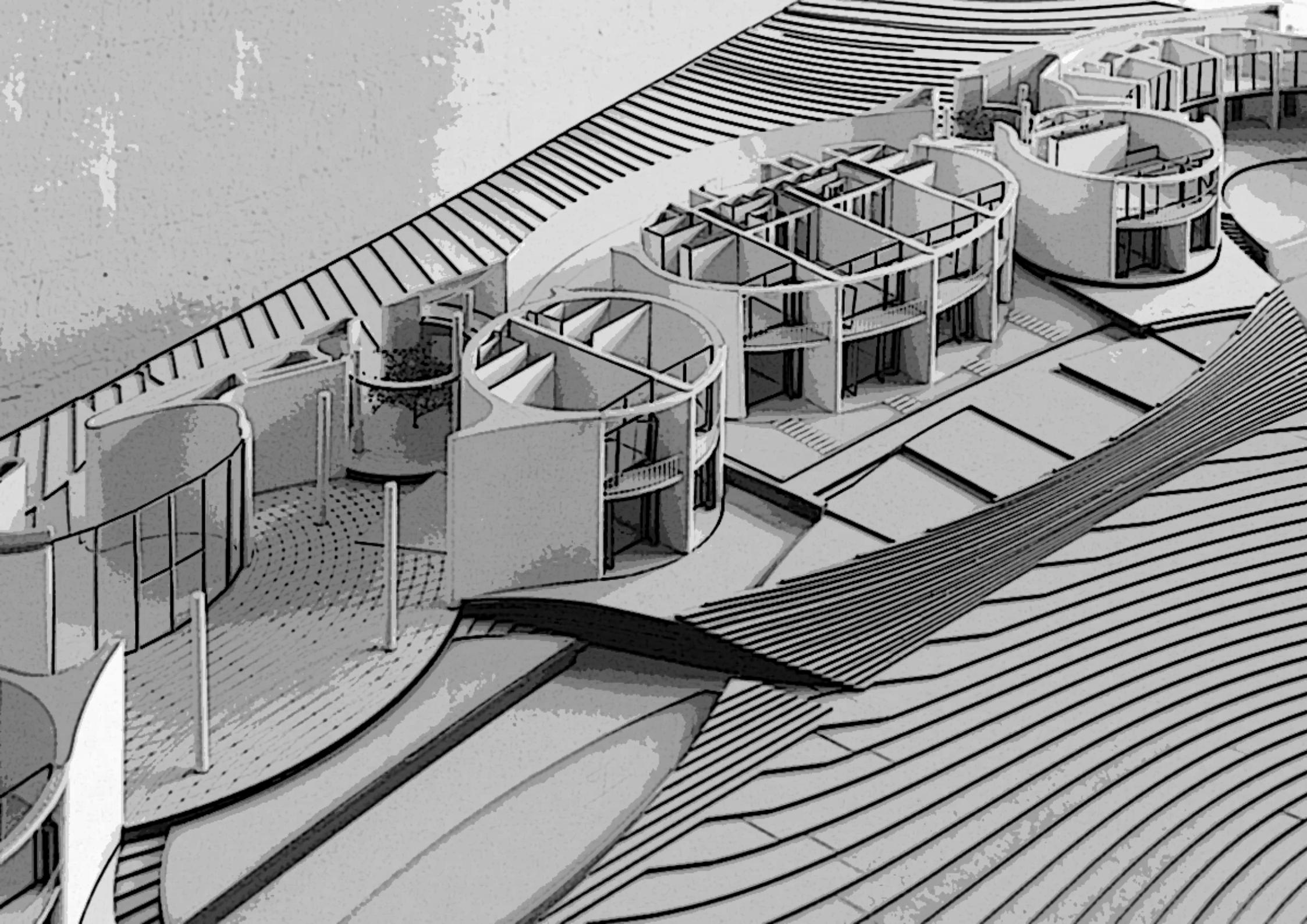
4.1 O Contexto Histórico da Pré-Fabricação .....	67
4.2 Fabricação Digital .....	71
4.3 Do Real à Escala Reduzida .....	78

## 5. EXPERIMENTO PROJETUAL ..... 81

5.1 Projetos Pernambués e Cajazeiras .....	83
5.1.1 Descrição Anteprojeto Pernambués .....	89
5.1.2 Pernambués no Experimento .....	90
5.2 Sistema Construtivo LEGO .....	91
5.2.1 Facilidades e Problemas .....	91
5.2.2 A Modelagem .....	92
5.3 Fabricação Digital .....	99
5.4 Resultados e Possibilidades .....	106

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS ..... 113

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	119
7.1 Referências Eletrônicas .....	124
7.2 Referências das Figuras .....	125



# 1. INTRODUÇÃO

*Para mim, todo dia é algo novo. Encaro cada projeto com uma nova insegurança, quase como o primeiro projeto que fiz na vida, e começo a suar, entro e começo a trabalhar, sem ter certeza de para onde estou indo - se eu soubesse para onde estou indo, não faria nada.*

– Frank Gehry

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 PROBLEMATIZAÇÃO

O espaço arquitetônico surge a partir das relações entre volumes, planos e linhas ou, em outros termos, corpos, superfícies e hastes. A questão central do projeto arquitetônico é como modelá-los, configurá-los e construí-los segundo suas funções, uni-los e coloca-los em relação um ao outro. Segundo KNOLL; HECHINGER (2003), é nesse sentido que o projeto pode ser compreendido como processo, e em cujo fim está a solução do problema ainda desconhecido no início.

A representação do projeto de arquitetura requer muitos e variados conhecimentos técnicos e expressivos. Como instrumento, torna possível a passagem do projeto à construção, através da descrição das características construtivas e das operações necessárias para tanto. Por isso, necessita de um nível de comunicação especializado, o qual se vale de linguagens, códigos e convenções coerentes, praticáveis apenas a quem detém conhecimento do tema.

No decorrer do processo de projeto, o arquiteto utiliza diversas ferramentas de representação. As mais utilizadas são, geralmente, o desenho e a representação tridimensional através de modelos físicos e digitais. Segundo KNOLL; HECHINGER (2003):

<sup>1</sup> KNOLL, Wolfgang Knoll; HECHINGER, Martin. *Maquetes Arquitetônicas*. São Paulo: Martins Fontes, 2003, p. 9.

O projeto surge no desenho e na maquete, que permitem que seu processo seja registrado e seguido. O desenho, embora esteja disponível desde o início e corresponda à primeira ideia espontânea, representa o espaço arquitetônico através dos elementos gráficos da linha e do plano num nível “mais abstrato”, frequentemente de pouca clareza. A maquete, em contrapartida, e sobretudo a maquete de idealização, é a concretização imediata de nossa concepção espacial por meio dos elementos tectônicos – corpos, superfícies e hastes – numa primeira realidade concreta.

O desenho é o meio pelo qual os arquitetos pensam, trabalham e, sobretudo, sonham. A maquete, especialmente a de idealização e de trabalho, é o instrumento que acompanha o esboço e é necessário para a compreensão e o trabalho arquitetônicos. [...].<sup>1</sup>

Dentre as diversas razões pelas quais os modelos físicos devem ser parte de qualquer processo de projeto, uma das mais importantes é a possibilidade que eles oferecem de observar a forma e o espaço físico tridimensional concretamente. Essa presença física concede ao projetista uma interação direta com o modelo e proporciona uma resposta imediata.



**Figura 1:** Modelo físico arquitetônico.

## 1.2 CAMPO OBJETO

O objeto de estudo deste TFG é a representação tridimensional através de modelos físicos. Esse é um campo que tradicionalmente busca estudar e esclarecer as relações espaciais, os volumes, os materiais, as cores, enfim, todo um conjunto de características de um espaço ou ambiente que já exista ou não.

No caso deste trabalho, os modelos físicos foram analisados pelo seu aspecto operativo da representação tridimensional, ou seja, foram investigados através do seu papel como ferramenta no processo de projeto. Quando utilizados dessa maneira, os modelos físicos tornam-se importantes validadores de soluções e podem sugerir outras possibilidades na construção dos volumes, materiais e cores. Assim, a comunicação do projeto influencia não só na transmissão de informações, mas também na composição de ideias.

Dessa forma, dentre as tipologias existentes – as quais foram melhor analisadas ao longo do trabalho – foi escolhida a dos modelos físicos de estudo, também chamados de modelos físicos de idealização. Sendo assim, foram investigados os modelos de estudo funcionais com características construtivas para combinações diversas, bem como a incorporação de impressão 3D para partes específicas.

## 1.3 RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVA

Esse trabalho busca estudar a representação tridimensional através de modelos físicos realizados ao longo do processo de projeto. Mais especificamente, abordou-se o caso dos modelos físicos de estudo. Estes – sejam eles arquitetônicos, de design ou de quaisquer outros tipos – são utilizados para facilitar essencialmente a compreensão das relações espaciais e dos volumes de um espaço, ambiente ou objeto que ainda não existem.

Diferente dos modelos executivos e de comunicação, que são também modelos de aparência e contêm riqueza em detalhes, materiais, texturas, cores e acabamentos, os modelos de estudo não representam um projeto já finalizado. Estão em constante transformação, pois fazem parte dos esboços da proposta. Além de instrumentos de representação, são também de síntese, seja pela redução em escala ou pela redução de informação; têm o papel fundamental de testar soluções para o projeto, uma vez que a verificação tridimensional consegue validar ou colocar em crise as soluções propostas.

Analizando os meios de construção e os materiais mais comuns utilizados na confecção dos modelos de estudo, é possível perceber algumas características comuns a esse modo de representação:

- Geralmente são utilizados materiais flexíveis e de fácil modelagem, como diversos tipos de papéis/papelões, madeiras macias (balsa), isopor e espumas;
- As partes que compõem o modelo são facilmente transformáveis, pois essa fase do projeto demanda muitas alterações;
- Síntese extrema de informações: é uma fase de teste da composição volumétrica e das relações entre as partes do projeto;
- Desperdício de materiais: após o uso, esses modelos geralmente são descartados e dificilmente os materiais que os compõem são reaproveitados;
- O tempo gasto para desenvolver o modelo é considerável, pois é necessário medir, desenhar em escala, recortar, colar e esperar secar as partes que o compõem.

A partir disso, pretendeu-se estudar nesse TFG a elaboração de modelos físicos de estudo através de diversos tipos de sistemas construtivos, mais especificamente os “blocos de construção”, de forma a reduzir o tempo de montagem e também eliminar o descarte de material. Objetivou-se ainda, analisar a viabilidade e consequências desse método no ensino de arquitetura, bem como suas vantagens e limitações.

## 1.4 OBJETIVOS

Esse trabalho intentou desenvolver, a partir das bases teóricas, comparações tipológicas e estudos de modelos como ferramenta no processo de projeto. Foi analisada também a questão da coordenação modular presente nos sistemas construtivos reais e nos sistemas construtivos em escala reduzida. Como referências para esse projeto foram usados principalmente os estudos de Giulio Carlo Argan, Teodoro Rosso, Criss B. Mills, Wolfgang Knoll, Lorenzo Consalez e Artur Simões Rozestraten – autores que focam principalmente na discussão e análise de modelos tridimensionais no processo de trabalho de designers, arquitetos e urbanistas.

Outra parte do trabalho consistiu em estudar alguns brinquedos educativos de construção, os quais quase sempre possuem uma modulação definida e um sistema de conexão entre peças estabelecido. A partir de tais investigações, foi examinado se tais sistemas construtivos em escala reduzida são eficientes quando inseridos no ensino do curso de arquitetura e urbanismo. Foi analisada, também, a possibilidade da impressão 3D de peças específicas para quando o módulo não conseguiu suprir as necessidades singulares de determinados modelos.

Como referências práticas foram utilizados os seguintes conjuntos de construção lúdicos: LEGO, Pinos

Mágicos, Pequeno Engenheiro, Monta Tudo, Monte-Bras e Kitijolinho. Todos eles possuem peças modulares e conectáveis entre si por diferentes maneiras, ajudam no processo criativo de confecção de modelos e estimulam novas formas de pensar o objeto tridimensional. Além destes, também foram utilizados como referências práticas conjuntos de construção que objetivam a concepção de modelos físicos no estudo arquitetônico e de engenharia.

Como principais referências, voltadas especificamente aos campos da arquitetura e do design, foram considerados o LEGO Architecture, o Arckit – desenvolvido por um arquiteto, com a finalidade de produzir modelos em menos tempo e com menor desperdício de materiais – e o projeto Mola, que foi pensado didaticamente para facilitar o entendimento da resistência dos materiais em estruturas arquitetônicas.

Após a análise das referências teóricas e os estudos de caso das referências práticas, foi averiguado se os sistemas construtivos em escala reduzida conseguem se compatibilizar com a produção de peças através de softwares de modelagem paramétrica tridimensional e a impressão das mesmas por meio de impressoras 3D. Dessa forma, os modelos reduzidos podem se constituir por um sistema construtivo existente sem se limitar as peças “padrão” desse sistema. Com uma estrutura de

fácil encaixe e desencaixe, os modelos podem ser construídos com maior rapidez e, uma vez que as peças não são descartadas, nenhum material é desperdiçado.

## 1.5 METODOLOGIA

A fundamentação teórica desse TFG consistiu em analisar os conceitos e definições do processo projetual tridimensional e da aprendizagem através de meios lúdicos e brinquedos didáticos. Também foram estudadas as características e a lógica dos brinquedos modulares. Para tanto, foram lidos e comparados livros, artigos e teses de diferentes autores que estudam o tema.

Estipulados tais conceitos, foram desenvolvidos três estudos de caso para investigar a viabilidade e as consequências do uso de sistemas construtivos em escala reduzida pré-definidos no ensino do curso de arquitetura e urbanismo. A partir desses estudos de caso, foi desenvolvido um experimento projetual que consistiu em modelar peças específicas, que não existem nesses sistemas pré-definidos, para completar os modelos que precisem suprir necessidades singulares. Tais peças foram projetadas através do software de desenho tridimensional *Fusion* da Autodesk.



Figura 2: Modelo feito com peças do LEGO Architecture Studio.



Figura 3: Modelo feito com peças do Arckit.

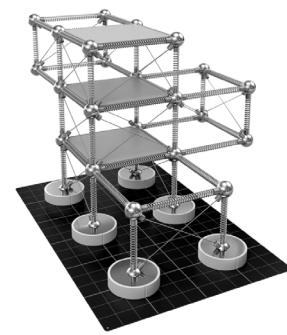
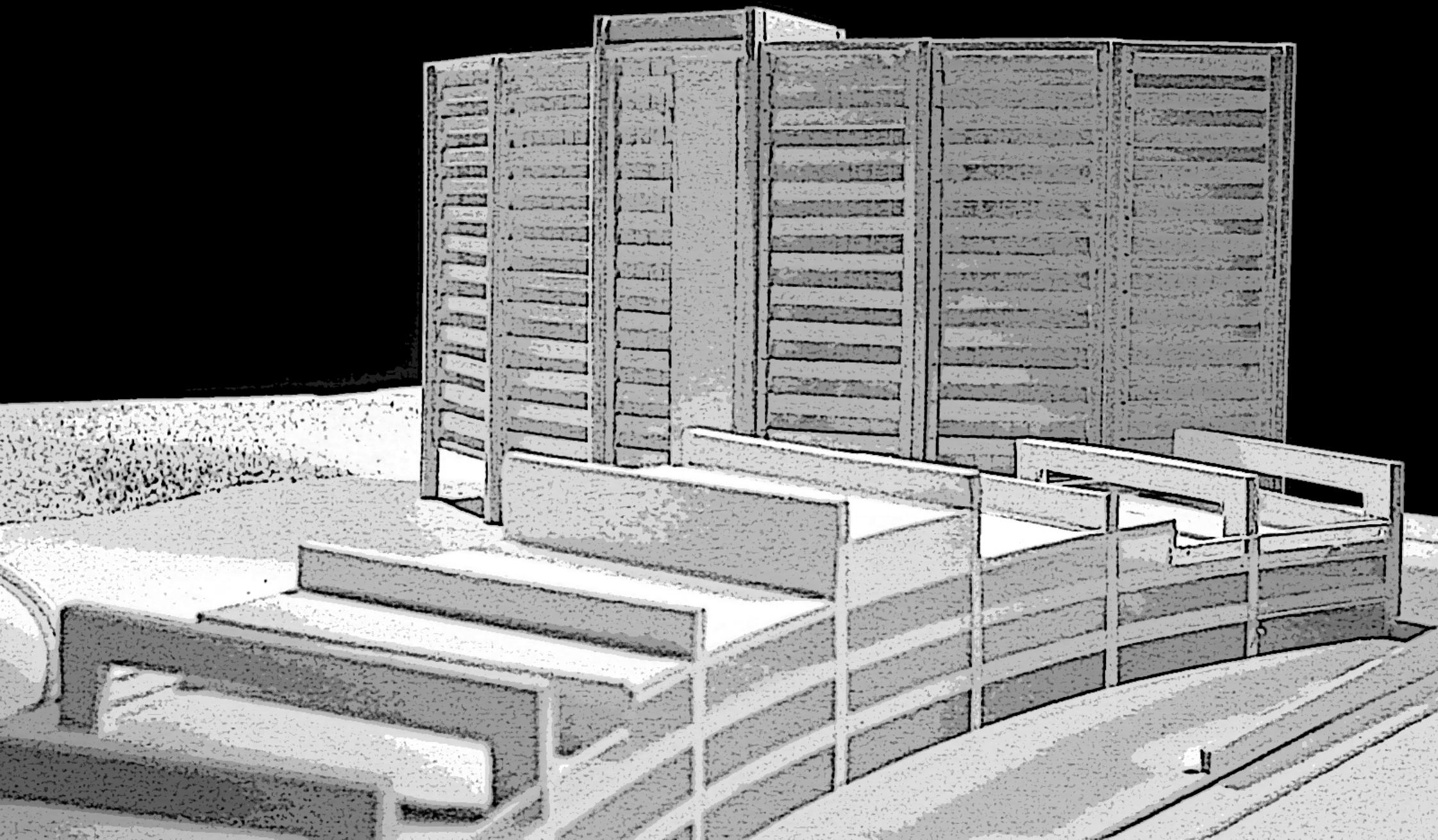


Figura 4: Modelo feito com peças do Kit Estrutural Mola.

Mais do que somente compor a modelagem digital das peças, estas também foram produzidas por meio de fabricação digital em impressora 3D. Como resultado, obteve-se uma análise comparativa entre o processo de confecção de modelos físicos através desses novos meios de produção e os métodos de confecção tradicionais.



## 2. MODELOS FÍSICOS COMO FERRAMENTA PROJETUAL

*Muitas pessoas percebem que os computadores têm seus limites. Eu não tenho nada contra eles, mas minha experiência com materiais e formas que consigo tocar me levaram bem mais longe.*

– Frei Otto

## 2. MODELOS FÍSICOS COMO FERRAMENTA PROJETUAL

### 2.1 MODELOS FÍSICOS AO LONGO DOS ANOS

Os modelos e maquetes de arquitetura têm uma história um pouco turva, principalmente antes da Renascença. Artur S. ROZESTRATEN (2003) realizou uma meticulosa pesquisa sobre os modelos e maquetes de arquiteto na Antiguidade. Em sua tese intitulada *Estudo Sobre a História dos Modelos Arquitetônicos na Antiguidade: origens e características das primeiras maquetes de arquiteto* (2003), ele fez um estudo no qual procura identificar e caracterizar os primeiros modelos usados com intuito de transmitir conhecimentos arquitetônicos, ou seja, maquetes de arquiteto:

A denominação modelos arquitetônicos aplica-se a um amplo conjunto de objetos em escala reduzida no qual estão incluídas as maquetes de arquiteto. Diferente dos modelos arquitetônicos que podem ter diferentes usos: oferendas, incensários, oratórios, etc. as maquetes de arquiteto são instrumentos para o conhecimento de questões espaciais e questões construtivas pertinentes à arquitetura.<sup>2</sup>

Os mais antigos modelos com formas arquitetônicas atualmente conhecidos datam do Sexto Milênio (c. de 5800 a.C.) e foram produzidas por culturas neolíticas. As peças eram feitas de cerâmica e, em sua



**Figuras 5 e 6:** Modelo de Krannon (cima) e Modelo de Myrrini (baixo). Ambos encontrados na Grécia e datados do Sexto Milênio. Os objetos são feitos de terracota polida com restos de pigmentação vermelha e branca.

2 ROZESTRATEN, 2003, p.3.

3 ROZESTRATEN (2003, p.26) descreve *Bauopfer* como "termo alemão que designa oferendas de fundação. Estas oferendas podem envolver o depósito de objetos, sacrifícios reais de animais e humanos, ou ainda sacrifícios simbólicos. Simbolicamente a *Bauopfer* daria "vida" ao edifício e garantiria sua estabilidade e perenidade."

maioria, tinham uso ritualístico, associados aos ritos de *Bauopfer*<sup>3</sup> (rito de fundação) e a ritos religiosos.

Já na região do Oriente Próximo, a maioria dos objetos cerâmicos com formas arquitetônicas datam de aproximadamente 3000 a.C. Assim como na arquitetura real, o principal material utilizado na confecção dos modelos era a terracota, onde a cerâmica era modelada à mão ou em tornos e depois cozida. A maior parte dos objetos tinha uso ritualístico e podiam servir como depósito votivo, ossuário, suporte para oferendas, pequenos altares, incensário, suporte de libações, objeto de proteção, etc.

Dentre as tipologias estudadas encontradas no Oriente Próximo, destaca-se ainda os modelos de torre



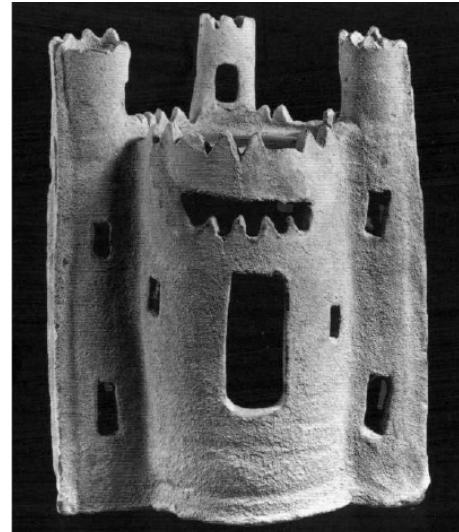
**Figura 7:** Modelo de Mari, Iraque, Terceiro Milênio, 2900 - 2460 a.C. Confeccionado em argila seca.

(Figuras 8 e 9). Quanto ao uso social desses modelos, há uma hipótese de que os objetos que tinham formato de torre podem ter sido usados como símbolo de cidades. Era bastante comum na arte mesopotâmica a representação de cidades como fortificações. Dessa forma, nos rituais religiosos, o modelo de torre poderia representar figurativamente a cidade onde se vive.

[...] esses modelos podem ter sido usados também como oferenda e prova de submissão de um povo a um conquistador. Nas cerimônias de rendição e apresentação de tributos a um novo soberano, os modelos de torre podem ter desempenhado a função de símbolo de cidades.<sup>4</sup>



**Figura 8:** Modelo de torre do “Senhor dos Leões”, Norte da Síria, início do Segundo Milênio (c. 2000 a.C.). Material: terracota.



**Figura 9:** Modelo de torre fortificada, Azerbaijão, Idade do Ferro (séc. VII a.C.). Material: terracota.

Em relação aos modelos egípcios, a maioria dos objetos foi encontrada em contexto arqueológico funerário e datada do Segundo Milênio. Os modelos podiam servir como *bandeja de oferendas* (Figura 10), utilizadas como suporte para libações em ritos funerários, muitas vezes em sepulturas comuns; como *vasos-silo*, que representavam conjuntos de silos em escala reduzida e podiam substituir a oferenda de alimentos reais em túmulos de pessoas de posse; e também como *modelos animados* (Figura 11), confeccionados em madeira pintada para representar grupos de figuras humanas exercendo alguma atividade cotidiana. A interpretação mais comum para esses últimos é que serviam como oferendas votivas para os túmulos de pessoas de posse (ROZESTRATEN, 2003).

Muitos desses modelos arquitetônicos egípcios eram usados por altos funcionários como símbolo de suas posses pessoais, que supostamente deveriam acompanhá-los na eternidade. Deste modo, a representação de uma casa em modelo reduzido poderia se transformar em uma casa real após a morte.

Na região do Egeu foram encontrados modelos arquitetônicos datados da Idade do Bronze Médio (entre 2000 e 900 a.C.). Quase todos esses objetos foram achados durante escavações arqueológicas em santuários, o que permite supor que eram utilizados como oferendas em ritos religiosos. Era bastante comum

**4** BRETSCHNEIDER apud ROZESTRATEN (2003, p. 73).



**Figura 10:** Bandeja de oferendas com bordas salientes e representação de uma edificação com cobertura plana. Império Médio, XII Dinastia (c. 1900 a.C.).



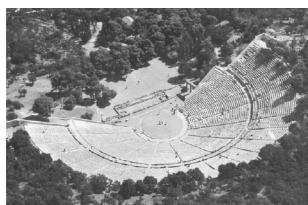
**Figura 11:** Modelo “animado” de silo. Império Médio (c. 2000 a.C.). Material: madeira policromada.



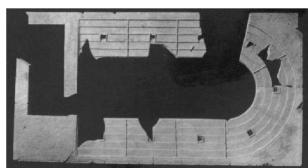
**Figura 12:** Vista lateral do Modelo de Arkhanes. Período Minoico Médio (1700 - 1630 a.C.), Arkhanes, Creta. O modelo foi construído em terracota e possui restos de policromia. A cobertura foi reconstituída. O modelo é articulado, ou seja, as peças são removíveis e encaixáveis. Além disso o objeto parece estar em escala em relação à arquitetura real da época.



**Figura 13:** Maquete de Teatro de Baalbek. Início do séc. II d.C., Baalbek, Líbano.



**Figura 14:** Teatro de Epidáуро. Exemplo de teatro grego com implantação em encosta.



**Figura 15:** Maquete de *stadium* de Villa Adriana. Primeira metade do séc. II d.C., Villa Adriana, Tívoli. A maquete foi confeccionada em mármore.

a oferenda aos deuses através de modelos que serviam como objetos votivos.

Apesar dos modelos arquitetônicos gregos possuírem uma grande riqueza de detalhes e apresentarem uma relação muito próxima com a arquitetura grega real, não há evidências de que esses objetos eram utilizados para transmitir conhecimentos arquitetônicos. Contudo, existem referências textuais e indícios materiais de protótipos na escala 1:1 denominados *parádeigmas*. Especula-se que esses modelos eram utilizados como referência para a confecção de capitéis e tríglifos.

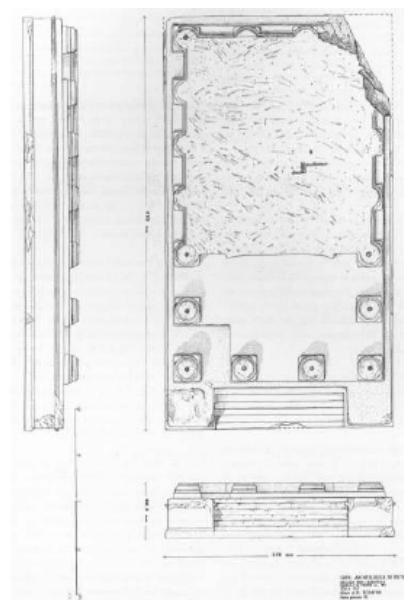
Os modelos mais antigos encontrados na península itálica foram datados entre os séculos X e VIII a.C., no início da Idade do Ferro. Outros objetos, que também foram descobertos nessa região, são datados do período da Monarquia, República e Império Romano (até o século II d.C.). Os estudiosos dessa questão conjecturam que esses modelos eram utilizados como urnas cinerárias, objetos votivos geralmente confeccionados com terracota, e até mesmo como maquete cenográfica.

Os modelos desse período apresentam mais detalhes e características muito próximas com os edifícios reais aos quais buscam representar. No final de sua tese, ROZESTRATEN (2003) cita quatro modelos que possivelmente foram construídos para serem usados como maquetes de arquiteto.

A primeira maquete (Figura 13) é a que representa o teatro da cidade de Baalbek ou Heliópolis, no Líbano, e está datada no início do século II d.C. Ela foi feita através da escavação de um bloco de pedra calcária dura, e representa um típico teatro da antiguidade clássica. A segunda maquete foi confeccionada em mármore e retrata um estádio (Figura 15). Foi encontrada em Villa Adriana, próximo a Tívoli, e datada na primeira metade do séc. II d.C. Contudo, a maquete não corresponde a nenhum edifício real construído, o que pode indicar que essa maquete poderia representar um modelo de apresentação de um projeto que não chegou a ser construído. A terceira maquete foi encontrada na região do antigo porto de Roma e supostamente representa o



**Figura 16:** Maquete de Templo de Óstia. Séc. I a.C.

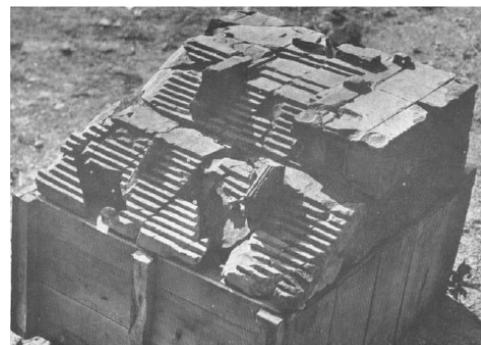


**Figura 17:** Planta, elevação frontal e elevação direita da Maquete de Templo de Óstia. Séc. I a.C.

templo de Óstia (Figuras 16 e 17). Foram encontradas várias semelhanças entre o modelo e o templo de Óstia, mas também muitas diferenças.

Em relação a essas três primeiras maquetes não há evidências suficientes para que se possa confirmar a sua utilização como maquetes de arquiteto. Apesar de ser muito provável que tenham sido usadas como modelos de apresentação, não há, ainda, como provar que foram produzidas para esse fim. Na falta de informações mais precisas não se pode descartar a hipótese de que esses objetos tivessem outros usos não relacionados diretamente ao trabalho de arquitetos (ROZESTRATEN, 2003).

A quarta e última maquete (Figuras 18 e 19) é a que mais possui evidências de ter sido uma maquete de arquiteto. Ela foi encontrada no interior de uma edificação que provavelmente era utilizado como espaço



**Figura 18:** Maquete do Ádyton do Templo A de Niha. Alto Império Romano, séc. II d.C. O Ádyton é a parte mais alta do templo que abrigava a imagem da divindade geralmente sob um baldaquino.



**Figura 19:** Ádyton do Templo A de Niha, vale de Beqqa, Líbano. Séc. II d.C.

de apoio à construção do templo A de Niha, no vale de Beqqa, próximo de Beirute. “*De fato a maquete de Niha corresponde ao templo A de Niha em uma escala de 1:24, e o estudo deste objeto aponta vários indícios de que se trata de uma maquete de arquiteto.*” (ROZESTRATEN, 2003, p. 208).

Dentre esses indícios pode-se citar o fato de apesar do objeto ter sido produzido em pedra calcária, ele não é maciço. Seu interior é oco, o que facilita bastante o seu transporte uma vez que o peso é aliviado. Outro indício são as inscrições existentes no objeto, as quais indicam o posicionamento de elementos, como colunas, e também alterações a serem feitas relacionadas às medidas de outros componentes, como patamares e degraus. A partir dessas evidências é possível considerar que a maquete de Niha “pode ter sido usada como maquete de apresentação àqueles que encomendaram o projeto, e também como maquete de comunicação dos conteúdos de projetos e das alterações definidas àqueles que trabalhavam na obra.” (ROZESTRATEN, 2003, p. 213). Sendo assim, dentre os modelos da Antiguidade Clássica, o de Niha é o mais provável exemplo de maquete de arquiteto.

Além dos objetos físicos encontrados em sítios arqueológicos, existem também registros textuais dos modelos arquitetônicos. Os tratados de arquitetura também constituem uma fonte importante de informações a respeito da modelagem física. No tratado

*Da Arquitetura* (c. séc. I a.C.) de Vitrúvio encontra-se apenas uma passagem que se refere a maquete arquitetônica, no livro X cap. XVI, que trata de máquinas, mais especificamente máquinas de guerra. Nesse último capítulo do livro décimo, Vitrúvio conta o episódio do arquiteto Cálias, que chegando em Rodes apresentou um modelo de fortificação na qual instalou uma máquina para destruir aparelhos inimigos. Na história os cidadãos de Rodes pedem ao arquiteto para construir o maquinário demonstrado no modelo, porém Cálias nega, dizendo não ser possível. Vitrúvio ainda acrescenta:

[...] De fato, não se pode fazer tudo segundo as mesmas regras, pois há grandes coisas que têm correspondência com exemplos de menor grandeza; outras, porém, não podem dispor de analogias e valem por si mesmas; outras ainda, verdadeiramente, parecendo verossímeis nos modelos, perdem a consistência quando começam a evoluir... Assim parece acontecer com alguns modelos. Como as coisas parecem se dar para o que é muito pequeno, não ocorre do mesmo modo para o que é maior. [...].<sup>5</sup>

Existem várias interpretações para essa história, e muitas especulações de por que Cálias disse ser impossível construir a máquina. Dentre elas é possível que, através de sua experiência, o arquiteto tenha previsto que não daria para concluir a construção de seu ambicioso projeto no tamanho necessário e no tempo

disponível, pois na história a construção do maquinário inimigo já estava em andamento.

Vitrúvio não consegue explicar o porquê de algo que parece viável em modelo reduzido pode não ser praticável na realidade. Ele e Cálias entendem que existem situações em que os modelos reduzidos têm efeitos parecidos em escala real; que há circunstâncias que em escala real funcionam perfeitamente, mas que não admitem modelos; e ainda situações em que o modelo reduzido parece executável, mas na verdade não o é.

Na época de Vitrúvio, parece fazer parte do pensamento arquitetônico que a relação entre maquetes e realidade não se reduz simplesmente à questão da escala ou de proporção matemática. Ainda assim, era difícil explicar o motivo.

[...] A experiência construtiva certamente já demonstrara que estruturas e mecanismos feitos em escala reduzida não necessariamente funcionavam na realidade porque os esforços aumentam, não necessariamente em uma progressão aritmética, e os materiais podem não suportar o esforço. O conhecimento científico da resistência dos materiais não estava ao alcance do mundo romano.<sup>6</sup>

Não houveram muitos avanços relacionados aos modelos arquitetônicos durante a Idade Média.

<sup>5</sup> POLLIO, V. *Tratado de Arquitetura*. Tradução, introdução e notas de M. Justino Maciel. São Paulo: Martins, 2007, Coleção Todas as Artes, p.540.

<sup>6</sup> ROZESTRATEN, 2003, p. 233.

Esse período é marcado pela forte influência da Igreja Católica sobre as produções científicas e culturais. A preferência representativa das manifestações artísticas era a pintura, afrescos, mosaicos, vitrais, etc. É possível perceber nessas representações a figura de pessoas da nobreza e funcionários da igreja exibindo modelos arquitetônicos (Figura 20). Pressupõe-se que os modelos medievais eram utilizados não só como apresentação da obra ao cliente, como também para calcular os custos do empreendimento e a quantidade dos materiais.



Figura 20: Mosaico da Igreja de San Vitale, em Ravena na Itália, 546 d.C. A figura da extremidade direita segura um modelo arquitetônico nas mãos.

Durante o Renascimento, com o advento dos edifícios cada vez mais afastados das formas góticas, surgiu a necessidade de transmitir claramente as intenções do arquiteto tanto para o cliente como para os operários

da obra. Nesse período já era comum o arquiteto ter que apresentar o seu projeto para comissões e até mesmo para o público em busca de aprovação. Muitas vezes era preciso recorrer a patronos para a realização da obra. *“Esta divisão técnica do trabalho originou a necessidade de desenvolver um instrumento que refletia a concepção do edifício e a transmitisse nos diversos ofícios que participavam da obra”* (FONSECA, 2013, p.55). Dessa forma, os arquitetos passaram a utilizar cada vez mais as maquetes como instrumentos de desenvolvimento do projeto e de comunicação com os construtores.

Dentre os modelos arquitetônicos desse período de transição histórico que foram bem documentados, estão a maquete da Igreja de Saint Maclou (Figura 21), em Rouen, e a maquete da Igreja de Schöne Maria (Figura 22), em Regensburg. Esses tipos de modelos eram geralmente trabalhados em madeira, gesso e argila, e além da riqueza de detalhes, possuíam seções desmontáveis que permitiam o observador ver a parte interna (FONSECA, 2013).

Ao longo do Renascimento os modelos físicos de arquitetura tiveram uma grande valorização. Passaram de meros complementos do desenho para fundamentais na comunicação das ideias projetuais arquitetônicas. As maquetes desse período mais relevantes como parte do processo de projeto, e também as mais conhecidas atualmente, são a da cúpula da Catedral de Florença



Figura 21: Maquete Igreja de Saint Maclou, Rouen, 1432.



Figura 22: Maquete da Igreja de Schöne Maria, Regensburg, 1520.



**Figura 23:** Maquete da cúpula da Catedral de Santa Maria del Fiori, Florença, Itália. O modelo foi confeccionado em madeira.



**Figura 24:** Maquete da cúpula da Basílica de São Pedro, Vaticano. O modelo foi confeccionado em madeira e possui 5,4 metros de altura por 3,9 metros de diâmetro.

<sup>7</sup> BUENO, B. P. Desenho e Design: o Brasil dos engenheiros militares (1500-1822). Tese (Doutorado). São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2001 (versão revisada de 2003), p.39.

(1420-1436), realizada por Filippo Brunelleschi (Figura 23), e a maquete da cúpula da Basílica de São Pedro (1547-1590), em Roma, executada por Michelangelo (Figura 24).

Brunelleschi buscava representar a obra já em uso, e para isso recorria a recursos como escalas humanas, cores, texturas, e até mesmo engrenagens e maquinários de maneira a dar movimento em certos elementos. Mais do que mostrar como seria a obra depois de pronta, ele queria demonstrar a prática do funcionamento do edifício e suas partes. Para tanto, usava vários modelos, sendo um mais elaborado em madeira para a apresentação ao cliente, e outros mais rápidos trabalhados em cera para se comunicar com os construtores.

A maquete de Michelangelo para a cúpula da Basílica de São Pedro foi feita em madeira e mede 5,4m de altura por 3,9m de diâmetro. Além de ser uma ferramenta de explicação do projeto, as maquetes passaram a ser também instrumentos de exploração para novas possibilidades projetuais.

Em seu tratado *De re aedificatoria* (1452), Leon Battista Alberti apresenta um sistema projetual que abrange todo o processo, desde as primeiras análises até a representação espacial. Ele escreve a respeito das maquetes no Livro II, Cap. 1, cujo título é “*Materia*”. Através dos modelos, o arquiteto pode estudar todos

os elementos da obra, acrescentando, diminuindo e transformando-os na medida que achar necessário. Por meio deles é possível calcular as despesas da obra e verificar os melhores meios para a sua execução.

Os modelos articulados, que possuem algum tipo de seção, permitem a visualização das estruturas e dos ornamentos destinados a adornar o edifício, bem como as suas quantidades. Na concepção de Alberti, os modelos deveriam ter o mínimo requinte de detalhes possível, nem mesmo deveriam ser coloridos. O arquiteto não deveria impressionar ou seduzir o olho de quem vê a maquete com uma arte bem executada, pelo contrário, seu papel é transmitir claramente o engenho do seu projeto para que se possa fazer uma análise conscientiosa. Alberti dizia que o modelo, juntamente com o desenho, era necessário para se fazer uma verificação prévia do projeto:

Em suma, a “*lineamenta*” (ou “*disegno*”) e o modelo permitiam antever e predefinir – “*praecogitare et praefinire animo ac mente*” – se a obra idealizada no intelecto apresentava suas partes bem proporcionadas umas em relação às outras, com medidas e disposição corretas; se estava adequada ao sítio escolhido; se apresentava fundação, estrutura (paredes), aberturas e coberturas estáveis e sólidas, através do correto emprego dos materiais; bem como se estava dotada de ornamentação conveniente, agregando simultaneamente os três princípios básicos da sua Arquitetura: “*firmitas*” (solidez, firmeza), “*commoditas*” (comodidade, “sás”) e “*venustas*” (elegância, harmonia, graça, beleza).<sup>7</sup>

Apesar dos modelos continuarem em uso, durante o século XVI eles foram perdendo destaque para recursos de representação bidimensionais, como refinados desenhos técnicos e especialmente para o recurso da perspectiva. Esses novos artifícios do desenho se mostraram como uma solução melhor e menos custosa do que a confecção das complicadas maquetes de madeira.

Ao sobrepujar as maquetes, o desenho aprimorou-se, tendo que dar conta de representar todos os detalhes do edifício, sua volumetria e tridimensionalidade, seu interior e exterior, seus ornamentos, estruturas, materiais e todos os elementos antes representados pelos modelos. O conjunto corte/elevação, juntamente com as novas descobertas e possibilidades da perspectiva, estabeleceu-se como uma alternativa na representação de objetos em verdadeira grandeza, sem distorções.

Convém ressaltar que em meados do século XVI a perspectiva converteu-se num importante instrumento retórico, capaz de seduzir, encantar e convencer futuros comitentes ou vencer disputados concursos. De incompatíveis, como nos tempos de Alberti, PERSPECTIVA e DESENHO passaram a complementares e juntos relegaram a um segundo plano os até então apreciados “modelos”.<sup>8</sup>

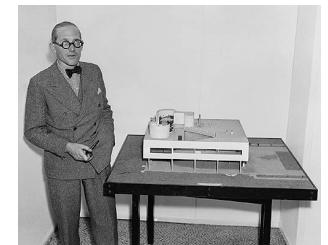
No final do século XVIII começou-se a buscar a simplificação das formas. A precisão tornou-

se indispensável e o neoclassicismo, focando nas proporções, nas ordens clássicas e na composição das fachadas, complicou ainda mais a produção de maquetes. Até mesmo no cenário educacional as maquetes foram perdendo lugar para o desenho, principalmente no período em que a educação em arquitetura passou a ser coordenada por escolas de belas artes (MILLS, 2007).

Entretanto, no final do século XIX, alguns arquitetos, como por exemplo Antoni Gaudí, começaram a usar os modelos físicos como um meio de exploração de ideias estruturais e linguagens arquitetônicas (Figura 26). No final do século, os conceitos da arquitetura moderna já estavam fixando suas bases, e com ela emergiu uma nova abordagem, que qualificava a arquitetura como a experiência do movimento através do espaço (MILLS, 2007). Percebeu-se que as perspectivas e os desenhos ortográficos eram métodos de exploração limitados. Assim, para complementar a representação dos projetos, surgiram as maquetes como ferramenta de estudo e exploração espacial.

O século XX fez renascer o uso dos modelos no processo de projeto arquitetônico. Le Corbusier, que revolucionou a arquitetura mundial quando propôs o purismo e a simplicidade da forma como nova linguagem visual, estabeleceu as maquetes como componentes integrais da educação e prática em arquitetura. Walter Gropius, outro arquiteto de destaque do século XX,

<sup>8</sup> BUENO, 2003, p. 45.



**Figura 25:** Le Corbusier e sua maquete da Villa Savoye, França, 1929.



**Figura 26:** O modelo anti funicular de Antoni Gaudí durante o estudo da capela Colônia de Güell pendurado em sua oficina. O modelo revestido em papel foi construído com a ajuda do engenheiro Edoud Goet.

fazia estudos através de modelos para testar suas ideias com maior agilidade. A partir daí os modelos voltaram a se impor como ferramenta essencial para o processo projetual arquitetônico.

No início dos anos 1990, com o advento dos softwares de projeto e de maquetes eletrônicas, o papel dos modelos físicos foi posto em xeque. Imaginou-se que eles – e todas as suas experiências – seriam substituídos completamente pelas simulações digitais. A esse respeito KNOLL; HECHINGER (2003) reagem à ideia de que os modelos digitais possam dominar completamente o mercado. Para eles, no início da elaboração de um projeto, o computador é apenas um subordinado, pois não consegue substituir a experiência tátil do material durante a construção das relações espaciais. Dessa forma, os esboços e maquetes de estudo não podem ser abolidos pelo computador. MILLS (2007) também é da opinião de que, apesar das vantagens que a mídia digital oferece, as maquetes físicas dificilmente desaparecerão:

[...] Com relação a essa questão, Ben Damon, um arquiteto do Morphosis (um escritório pioneiro na prototipagem rápida), reage à ideia de que os modelos digitais possam vir a dominar totalmente o mercado afirmando que “as maquetes nunca desaparecerão”. Ele vai além ao acrescentar que a presença física e o relacionamento oferecido pela maquete de papel desempenham uma função vital no desenvolvimento dos projetos. Sentimentos semelhantes são divididos por James Glymph, da Frank Gehry Partners LLP. Quanto às maquetes eletrônicas, o s.r. Glymph resalta

que “seria um sério erro pensar que elas possam substituir completamente as maquetes e os desenhos”. Com essa conscientização, tem ressurgido o interesse pelas maquetes tradicionais e pela introdução de protótipos rápidos, que visam reconciliar métodos físicos e digitais de projeto.<sup>9</sup>

Em última análise, tudo aponta para um bom relacionamento entre modelos físicos e digitais, um complementando seus métodos com o outro, proporcionando novas alternativas para a representação tridimensional. A tecnologia, aliada à investigação tátil, nos proporciona, cada vez mais, novas ferramentas e processos de projeto, possibilitando a exploração da modelagem de maneira criativa e expandindo nossa compreensão sobre as relações espaciais. A modelagem se constitui, assim, como um valioso instrumento e potente ferramenta de comunicação no processo de projeto arquitetônico.

**9** MILLS, Criss B. *Projetando com Maquetes: Um guia para a construção e o uso de maquetes como ferramenta de projeto*. Porto Alegre: Bookman, 2007, p. VI.



**Figura 27:** Modelo confeccionado eletronicamente e fabricado através de impressão 3D.

## 2.2 TIPOLOGIAS

**10** KNOLL, Wolfgang; HECHINGER, Martin. *Maquetes Arquitetônicas*. São Paulo: Martins Fontes, 2003, p. 13.

Os modelos físicos se originam a partir de uma multiplicidade de situações e os termos usados podem mudar para cenários diferentes. No que diz respeito aos tipos de maquetes, ainda não existe uma padronização, cada autor possui uma categorização diferente. As categorias mais comuns são as divisões por tema ou por estágio de evolução do projeto.

KNOLL & HECHINGER (2003) associam os níveis de elaboração dos modelos com os estágios de processo de um projeto. Dessa maneira tem-se:

**1º NÍVEL: PRÉ-PROJETO** Esboço de Idealização  
Maquete de Idealização

**2º NÍVEL: PROJETO** Projeto de Construção  
Maquete de Trabalho

**3º NÍVEL: EXECUÇÃO** Planejamento de Execução  
Maquete de Execução

Para eles, as maquetes sempre representam um estado modificável do projeto, pois são uma parte do processo. Mesmo com sua representação precisa, até a maquete de execução representa apenas um estágio obrigatório do projeto, que pode vir a ser modificado futuramente. Para cada nível de elaboração, são exigidas

determinadas características quanto aos materiais, às ferramentas e também ao local de trabalho:

[...]. Assim, uma maquete de idealização não exige máquinas nem estúdios especiais, porém o material deve ser de fácil acesso, transformação e elaboração. Na maquete de trabalho, as condições periféricas já são pré-determinadas; a edificação ou o grupo que a compõe, no entanto, ainda deve ser permutável embora já demonstre características formais essenciais na sua elaboração. Na maquete de execução, apresentamos o projeto como uma mensagem unívoca. Além disso, nesse nível de elaboração, a maquete deve satisfazer o que se exige de uma “tarefa de criação”; o material de confecção deve corresponder de modo conveniente e prático ao efeito provocado pelas cores e superfícies externas da maquete. As relações e contrastes entre os materiais fazem com que as relações espaciais determinadas no projeto sejam transpostas e explicitadas ou, dependendo do caso, exageradas, formando tensões. Por fim, as maquetes de execução devem incluir legendas e indicações de escala e orientação (norte). [...].<sup>10</sup>

Além da divisão por estágio, as maquetes estariam organizadas ainda através de 3 grupos: o das Maquetes Topográficas, que englobam as de terreno, paisagem e jardim; o grupo das Maquetes de Edificações, que incluem os modelos urbanísticos, de edifícios, de estruturas, de interiores e de detalhes; e por fim, as Maquetes Específicas, que abrangem as de design, móveis e objetos.

CONSALEZ (2001), por sua vez, não faz uma distinção tão evidente e esclarecedora. Quanto às tipologias, ele comenta as Maquetes de Estudo como um meio de comunicação entre projetistas (seja em campo didático ou profissional), pois permite uma leitura menos direta do que, por exemplo, aquelas destinadas a exposições para o público geral (CONSALEZ, 2001). Os modelos de estudo devem ser preferencialmente executados com materiais que facilitem correções e agilizem a execução, como é o caso de papéis, cartolinhas, papelões e cartão pluma. Outro caso que se utiliza especificamente das características mecânicas e expressivas do papel é o das Maquetes *Kirigami*. Elas representam tridimensionalmente os principais planos da estrutura do edifício e das particularidades do terreno através de simples cartolinhas recortadas. Assim como os modelos de estudo, essas maquetes abstraem a geometria básica do projeto, representando sinteticamente suas ideias principais. Por isso podem ser tratadas como análogas.

As Maquetes de Apresentação, ou Maquetes Analógicas, são aquelas que procuram representar a realidade de forma mais verossímil possível. Foram muito utilizadas pelos militares dos séculos XVIII e XIX, para exposições permanentes de maquetes de cidades, e também por empresas imobiliárias que as constroem com fins promocionais. Esses objetos de fins técnicos e apresentações públicas, tem exigências comunicativas

muito diretas, pois não limitam sua descrição às características volumétricas do projeto. Dessa forma, as cores e materiais retratam diretamente a imagem arquitetônica e o ambiente. O modelo, nesse caso, é utilizado como instrumento de apresentação do projeto.

CONSALEZ (2001) comenta ainda sobre outros tipos de modelos, como as Maquetes de Corte; as Maquetes Territoriais, Viárias e Urbanísticas; as Maquetes Urbanas e Arquitetônicas; e as Maquetes de Detalhes, que são as de exteriores, as parciais (de fachadas, cortes, detalhes), de interiores, de ambientes e de mobiliário. Quanto aos modelos arquitetônicos, acrescenta:

A representação da maquete de arquitetura está orientada para a leitura dos volumes, das relações dimensionais e espaciais e das relações com o contexto. A expressão dos materiais, desde um ponto de vista decorativo e cromático ainda que seja determinante em uma descrição analítica, não é essencial e específico na realização da maquete que, de fato, é frequentemente realizada com um único material e cor. [...].<sup>11</sup>

Para Criss B. Mills, todos os tipos de maquetes são considerados Maquetes de Estudo, até mesmo aqueles usados em apresentações formais. Dessa maneira, podem variar de rápidos modelos rudimentares a maquetes finalizadas, pois sua função é desempenhar o papel de veículo para aperfeiçoamentos e geração de ideias de projeto. “Independentemente de seu nível de

<sup>11</sup> CONSALEZ, Lorenzo. *Maquetes: A representação do espaço no projeto arquitetônico*. Barcelona: Gustavo Gilli, 2001, p. 83.

acabamento, o termo maquete de estudo implica em possibilitarem novas investigações e aprimoramentos." (MILLS, 2007, p.21)

Ele categoriza as Maquetes de Estudo em dois grupos: Maquetes Primárias e Maquetes Secundárias. Enquanto o primeiro se refere ao nível ou o estágio de evolução do projeto, o segundo se relaciona a seções ou aspectos específicos do projeto enfocado. Entretanto, dependendo do tipo de enfoque, uma maquete secundária pode ser realizada como um tipo de maquete primária. Para exemplificar, Mills cita o caso de um modelo usado para compor espaços interiores, o qual tanto pode ser considerado como um modelo de interiores como também pode ser um modelo preliminar, de desenvolvimento ou de apresentação, dependendo do seu nível de enfoque.

As Maquetes Primárias têm conceitos abstratos e são empregadas para a exploração de diferentes estágios ou enfoques. São elas: Maquete Preliminar, Maquete de diagrama, Maquete de Conceito, Maquete de Volumes, Maquete de Cheios e Vazios, Maquete de Desenvolvimento, e Maquete de Apresentação ou Maquete com Acabamento.

Já as Maquetes Secundárias são usadas para a análise de componentes específicos da edificação ou do terreno. Constituem esse grupo: Maquete do Sítio (com

relevo), Maquete do Contexto ou Maquete de Urbanismo, Maquete de Paisagismo ou Cobertura Vegetal, Maquete de Interiores, Maquete de Seção, Maquete de Fachadas, Maquete da Trama ou Estrutura, e Maquete de Detalhe ou Conexão.

A partir da análise e comparação das definições acima, estabeleceu-se a seguinte categorização tipológica para a linguagem deste trabalho:



**Figura 28:** Modelo de Estudo ou de Idealização.



**Figura 29:** Modelo de Trabalho ou de Desenvolvimento.



**Figura 30:** Modelo de Apresentação ou Executivo.

**Modelo de Estudo ou Modelo de Idealização:** são aqueles realizados com o objetivo de se testar as formas e volumetrias, de sugerir soluções para as questões iniciais do projeto. São ferramentas que auxiliam o raciocínio projetual e, portanto, devem ser flexíveis para acompanhar as transformações dessa etapa do projeto. É o tipo de modelo em que a representação das relações espaciais e formais têm muito mais relevância do que a representação dos materiais e revestimentos.

**Modelo de Trabalho ou Modelo de Desenvolvimento:** são aqueles confeccionados quando o projeto já está nos estágios seguintes dos estudos iniciais. É uma fase de aprimoramentos que também necessita de ajustes. As decisões de materiais e revestimentos começam a ser discutidas e as composições espaciais já estão mais firmadas.

**Modelo de Apresentação ou Modelo Executivo:** são aqueles usados em exposições, em apresentações para o público, para clientes, para vendas de imóveis.

São as maquetes que mais se aproximam do aspecto real dos materiais, dos revestimentos, das formas e todas as características finais do projeto.

## 2.3 JOGOS DE CONSTRUÇÃO: O LÚDICO NO ENSINO

Desde o início do século XIX se discute a utilização pedagógica de jogos nas instituições de ensino do mundo inteiro. Como a dinâmica dos jogos, em especial os infantis, parece se desprender dos objetivos educacionais, a sua utilização no ensino gerou grandes polêmicas no início. O pensamento mais comum é de que o ensino deve ser sério. E quando se fala em “jogo” tende-se a excluir a seriedade como elemento pertencente deste universo. Contudo, é possível, sim, que estes dois componentes estejam bem relacionados e se complementem. HUIZINGA (2018) comenta a esse respeito:

...] Começamos por dizer que todo jogo, tanto das crianças como dos adultos, pode efetuar-se dentro do mais completo espírito de seriedade. [...]. Estamos habituados a considerar o jogo e a seriedade como constituindo uma antítese absoluta. [...].

Prestemos um momento de atenção aos seguintes aspectos. A criança joga e brinca

dentro da mais perfeita seriedade, que a justo título podemos considerar sagrada. Mas sabe perfeitamente que o que está fazendo é um jogo. Também o esportista joga com o mais fervoroso entusiasmo, ao mesmo tempo que sabe estar jogando. O mesmo verificamos no ator, que, quando está no palco, deixa-se absorver inteiramente pelo “jogo” da representação teatral, ao mesmo tempo que tem consciência da natureza desta. O mesmo é válido para o violinista, que se eleva a um mundo superior ao de todos os dias, sem perder a consciência do caráter lúdico de sua atividade. Portanto, a qualidade lúdica pode ser própria das ações mais elevadas.<sup>12</sup>

Assim, ao longo deste período, foram realizados diversos estudos a respeito dos jogos, enfocando diferentes aspectos, desde fatores cognitivos e emocionais até fatores antropológicos, históricos e educativos.

Iohannes Amos Comenius (1593-1673) pode ser considerado o primeiro pedagogo a defender a utilização de exercícios manuais na educação de crianças. Para ele os jogos infantis eram uma oportunidade ímpar de desenvolver os órgãos dos sentidos e as habilidades manuais. Seu pensamento moderno e revolucionário teve continuidade por Jean-Jacques Rousseau (1712-1778), que aprofundando as ideias de Comenius, distinguiu a infância da vida adulta. Rousseau escreveu postulados sobre a infância e a educação, propondo que atividades esportivas e brinquedos fizessem parte da educação das crianças. Seus pensamentos tiveram influência marcante na educação infantil ao redor do mundo.

12 HUIZINGA J. *Homo Ludens: O Jogo como elemento da Cultura*. São Paulo: Perspectiva, 2018, pp. 21-22.

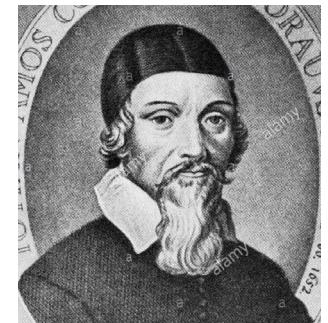


Figura 31: Iohannes Amos Comenius (1593-1673).

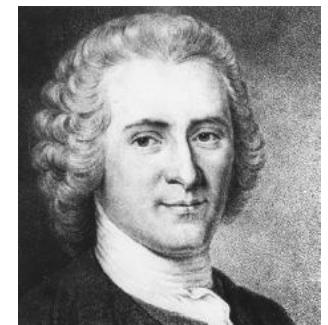


Figura 32: Jean-Jacques Rousseau (1712-1778).

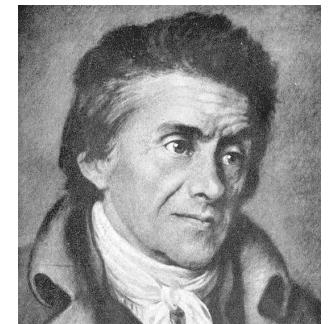


Figura 33: Johann Heinrich Pestalozzi (1746-1827).

13 OTERO, C. C. *Jogos de construção: limites e possibilidades na educação infantil*. Tese (Doutorado em Educação). 175 f. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Educação, 2003, p. 80.



Figura 34: Friedrich Froebel (1782-1852).



Figura 35: Maria Montessori (1870-1952).

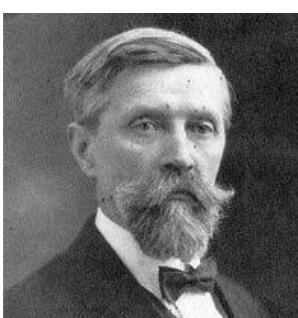


Figura 36: Jean-Ovide Decroly (1871-1932).

Johann Heinrich Pestalozzi (1746-1827) reforçou as propostas de Comenius e Rousseau, ressaltando a importância do aprendizado através de ações e de experiências concretas, mas que para isso, é preciso criar oportunidades na educação. Esse pensamento é compartilhado também por Friedrich Froebel (1782-1852), criador do primeiro jardim de infância. Ele acreditava que para a criança desenvolver suas potencialidades, o professor deveria oferecer as condições e oportunidades para tanto.

Froebel comparou a criança a uma semente ou plantinha e o professor ao jardineiro. Dessa forma, para que o desenvolvimento da criança se desse de maneira harmônica e natural, o professor deveria proporcionar as condições ambientais favoráveis. Para tanto, é preciso explorar o interesse lúdico, como também o prazer que a criança sente na realização de atividades construtivas.

Em 1840, Froebel criou o primeiro material educativo para ser utilizado como ferramenta de desenvolvimento de aprendizagem. Seus jogos de construção são compostos por peças de madeira de vários tamanhos e formatos diferentes, que, quando sobrepostos ou empilhados, permitem a representação de objetos tridimensionais. Esses jogos foram divididos por Froebel em *Gifts* (dons) e *Occupations* (ocupações). Os *Gifts* destinam-se a dar à criança de tempos em tempos novos aspectos universais do mundo externo, adequados

ao desenvolvimento de uma criança, e são formados por materiais que não mudam de forma, como madeira em forma de cubos, cilindros e bastões. As *occupations*, por outro lado, são formadas por materiais que se modificam com o uso, como areia, argila e papel, permitindo o desenvolvimento de certas habilidades através de atividades práticas de dobradura, recortes, etc.

Depois de Froebel outros educadores e estudiosos também defenderam o uso de atividades manuais na educação. Maria Montessori (1870-1952) desenvolveu materiais didáticos visando proporcionar “a educação sistemática para os sentidos, a coordenação muscular e o desenvolvimento da linguagem” (OTERO, p. 78, 2003). Esses materiais foram concebidos para que a criança os usasse com autonomia, sem necessidade de qualquer ajuda de algum adulto. São compostos por mais de duzentas peças agrupadas por características como forma, dimensão, peso, temperatura, som e cor.

Jean-Ovide Decroly (1871-1932) também defendia a retenção de conhecimentos da criança de maneira agradável através de jogos educativos.

Para Decroly os jogos educativos têm por finalidade principal oferecer à criança objetos suscetíveis de favorecer o desenvolvimento de certas funções mentais, a iniciação de determinados conhecimentos e, também, repetições freqüentes em relação à capacidade de atenção, retenção e compreensão da criança.<sup>13</sup>



Figura 37: Froebel Gifts - os materiais didáticos de Froebel.



Figura 38: Materiais didáticos de Montessori.

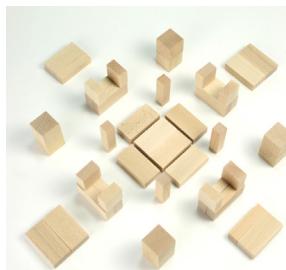
Para ele, o trabalho manual deve se associar aos centros de interesse e qualquer material que possa ser encontrado para proporcionar os meios de realizar a construção poderá ser utilizado, como papéis, cartões, borrachas, caixas, etc. Decroly acreditava que o ensino deveria se apropriar dos jogos como instrumentos facilitadores e auxiliares no processo de aprendizagem.

Para exemplificar esses métodos educacionais no ensino superior, pode-se citar o caso da Bauhaus. Ela foi uma experiência pedagógica no domínio das artes, da arquitetura e do design e acabou ultrapassando as dimensões físicas como escola, transformando-se em um movimento artístico e cultural internacional. Entre 1900 e 1933, foi uma das instituições mais engajadas no movimento de transformação social, colocando em prática as ideias reformadoras da pedagogia da ação.

Na filosofia da Bauhaus é possível identificar facilmente a importância direta do movimento da “escola ativa” de Georg Kerschensteiner, do pensamento de Maria Montessori e do “progressivismo” de John Dewey, bem como a forte influência das ideias naturalistas de Rousseau, Pestalozzi, Froebel e Herbart. O programa pedagógico proposto pela Bauhaus visava, através da prática manual e artística, libertar as forças expressivas e criadoras do indivíduo, desenvolvendo nele uma personalidade ativa, espontânea e sem inibições. Exercitando integralmente os sentidos, propiciaria a



**Figura 39:** Unity Temple, em Oak Park, Illinois. Projeto de Frank Lloyd Wright.



**Figuras 40, 41 e 42:** Modelo do Unity Temple realizado a partir do material didático de Froebel.

aquisição e o cultivo de conhecimentos emocionais além dos intelectuais, não somente através dos livros, mas também pelo trabalho. Sinteticamente, pode-se dizer que na Bauhaus o trabalho manual era considerado o meio mais apropriado para a formação integral do homem; eram adotadas técnicas de ensino que visavam desenvolver a sensibilidade do indivíduo; havia uma valorização da educação pelo trabalho; adotavam-se métodos ativos de ensino; e a educação era concebida como um meio para a reforma social.

No programa inicial da escola, o ensino artesanal deveria ser um componente essencial e constituía o seu fundamento. Para Walter Gropius, principal fundador da escola, o artesanato não era “algo isolado”, mas um meio imprescindível para se chegar a um fim. Para ele, o fazer manual constituía uma categoria pedagógica fundamental e representava a forma como o indivíduo aprendia, através do uso das mãos e do manejo técnico dos objetos – influências puramente ativistas. Para Gropius, por mais industrializado que fosse o meio, o artesanato continuava sendo insubstituível enquanto recurso para a aprendizagem. Isto, de certa forma, estabelecia os vínculos da pedagogia da Bauhaus com o ativismo na educação.

Na formação dos designers contemporâneos ainda pode-se observar fortes influências dessa pedagogia e do ensino baseado na ação. As disciplinas ligadas ao

desenvolvimento de projetos, nas escolas de design, muitas vezes dão preferência ao ensino através do fazer prático em detrimento de uma possível contribuição teórica.

No campo da arquitetura, sabe-se que, juntamente com os desenhos, os modelos físicos se constituem como forma de comunicação e linguagem arquitetônica atrelada ao pensamento projetual. Dessa maneira, os modelos tridimensionais, tanto os físicos como os digitais, podem ser considerados potentes recursos didáticos nos cursos de Arquitetura e Urbanismo. Afinal, para que o pensamento projetual possa se desenvolver livremente, os projetistas devem ter contato com o maior número de instrumentos, técnicas e métodos de representação diferentes possíveis. Quanto maior a diversidade desses elementos, maiores serão as possibilidades de exploração do pensamento projetual (BRAIDA, 2015).

No caso do uso de modelos tridimensionais para o ensino de Arquitetura e Urbanismo, pode-se considerar os blocos de montar como “instrumento facilitador” e material didático. Esse tipo de jogo permite a exploração espacial e volumétrica de maneira combinatória a partir de elementos pré-definidos, que facilitam a investigação formal. Além de pertencer à esfera lúdica, os blocos de montar são instrumentos que vinculam diretamente o processo criativo e cognitivo, o que permite um caminho direto entre a cognição e a materialização das ideias. Esse

tipo de material didático, facilita, ainda, o entendimento dos processos de representação bidimensional, através de projeções ortogonais dos volumes construídos.

Os blocos de montar fazem parte do ensino nas instituições educacionais desde a época de Froebel. Em sua tese sobre os jogos de construção no ensino infantil, OTERO (2015, p. 50) defende que a “junção das peças e a construção de objetos ou brinquedos constituem-se em uma oportunidade ímpar para a construção gradativa das noções de espaço e de objeto.” O arquiteto Frank Lloyd Wright foi um grande defensor desse tipo de jogo. Quando criança teve contato com os bloquinhos de madeira de Froebel, exercitando sua imaginação e montando diversos conjuntos de formatos diferentes com as peças. Seus projetos, em especial os primeiros, como a casa Winslow em River Forest, Illinois, de 1893, foram bastante influenciados pelos bloquinhos geométricos.

Atualmente, os blocos de montar têm sido utilizados com certa frequência no ensino acadêmico de Arquitetura e Urbanismo, bem como por projetistas no campo profissional. O represente mais popular desse tipo de jogo são os tijolinhos LEGO, que estão no mercado desde 1948. Os bloquinhos ajudam a transformar as ideias em volumes, estabelecendo vínculos entre abstrações e o mundo real. Mesmo apresentando algumas limitações, como qualquer outro sistema construtivo, os blocos de montar permitem a investigação arquitetônica de maneira prática, experimental e lúdica.



**Figura 43:** Robie House, em Hyde Park, Chicago. Projeto de Frank Lloyd Wright.



**Figura 44:** Modelo da Robie House realizado a partir do material didático de Froebel.



**Figura 45:** Modelo da Robie House realizado a partir de peças de LEGO.





# 3. ESTUDOS DE CASO

*Você não pode simplesmente introduzir  
algo novo em um lugar. É preciso absorver  
o que você vê ao redor, o que já existe no  
terreno, e, então, usar esse conhecimento,  
em combinação com o pensamento  
contemporâneo, para interpretar aquilo  
que vê.*

– Tadao Ando

### 3. ESTUDOS DE CASO

#### 3.1 MOLA

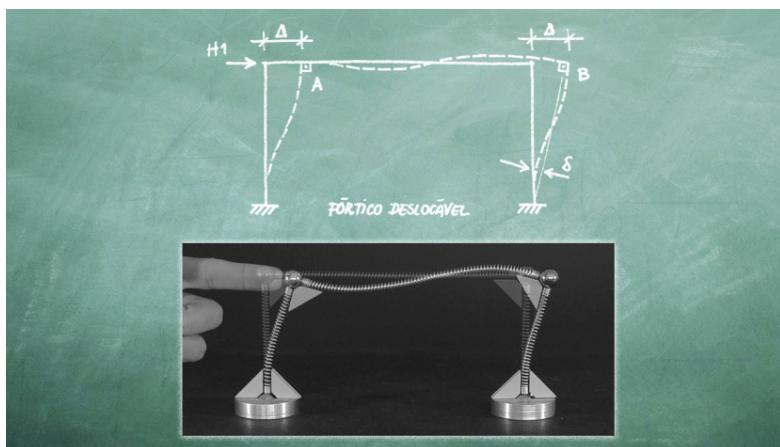
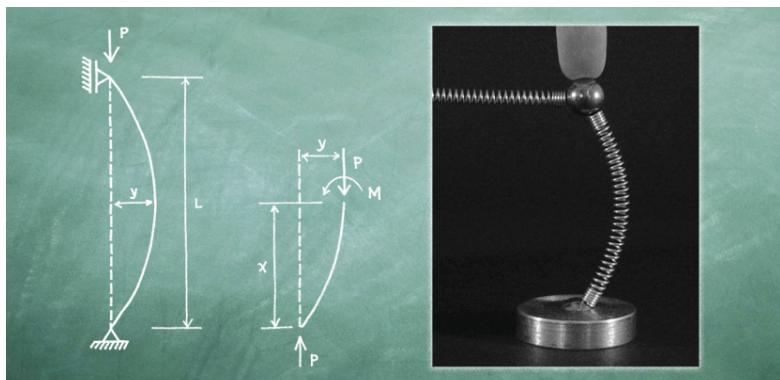
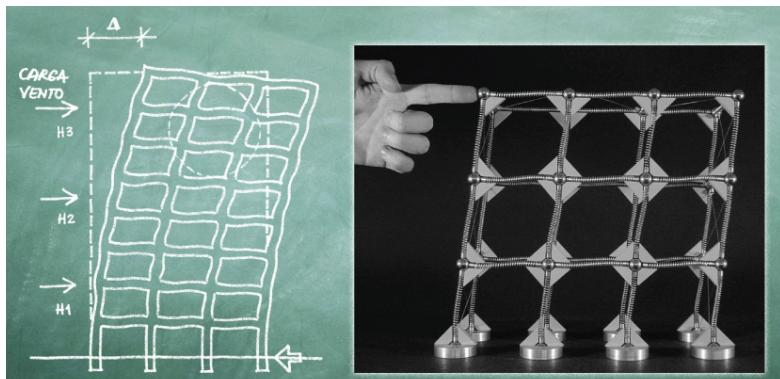
##### 3.1.1 HISTÓRIA

O Mola é um projeto criado pelo arquiteto e urbanista Márcio Sequeira, natural de Belém do Pará. O projeto teve origem em sua dissertação de mestrado pela *Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)*. Foram dois anos de pesquisa científica para a validação do modelo, e depois mais três anos para o desenvolvimento do *Kit Estrutural Mola 1* e outros dois para o *Kit Estrutural Mola 2*, incluindo vários testes de materiais e composição de peças.

Os kits foram desenvolvidos com a intenção de demonstrar, de forma tátil e visual, o comportamento das estruturas arquitetônicas. Os modelos criados são interativos e simulam o comportamento de estruturas reais. O objetivo do projeto é ensinar e estudar, de maneira experimental, esses comportamentos estruturais. Segundo Márcio, o ensino de estruturas, tanto no Brasil quanto em outros países, possuí deficiências:

14 <http://www.caurs.gov.br/mola-lego-para-arquitetos/> (acesso em 20/10/2018)

[...] O ensino de estruturas praticado nas Escolas de Arquitetura e Engenharia prioriza quase que exclusivamente a teoria apresentada através de números. [...] É unanimidade entre estudantes, professores e profissionais da área a carência por métodos mais eficientes que auxiliem no entendimento e aprofundamento do assunto.<sup>14</sup>



**Figuras 46, 47 e 48:** Modelos estruturais realizados a partir de peças do Mola. A resposta visual do comportamento das estruturas é imediata e muito semelhante com a realidade.

O comportamento das estruturas arquitetônicas é um conhecimento absolutamente necessário para todo engenheiro e arquiteto, especialmente na fase de concepção de projeto. Com o Mola, pode-se montar, visualizar e sentir as estruturas com as próprias mãos, superando a abstrata abordagem das disciplinas de estrutura.

Desde a sua criação, em 2005, o Mola vem evoluindo. Ao longo desses anos, foram feitos diversos protótipos sempre em busca de se aproximar cada vez mais do comportamento de uma estrutura real. Entre 2007 e 2008 foi realizado o estudo e validação do modelo. Foram executados mais de 40 ensaios, testando elementos isolados, estruturas planas e espaciais. Os resultados foram surpreendentes, o modelo é muito mais preciso do que se pensava. Seu comportamento é muito similar ao de uma estrutura real.

O *Kit Estrutural Mola 1* foi lançado em 2014. Através de uma campanha de financiamento coletivo pela internet<sup>15</sup>, a fabricação do kit foi possível. Com o sucesso da primeira campanha, foi lançado um novo kit em 2016, o *Kit Estrutural Mola 2*.



Figura 49: Kit Estrutural Mola 1.



Figura 50: Kit Estrutural Mola 2.

### 3.1.2 CARACTERÍSTICAS

Apesar de ter sido criado para suprir as necessidades educacionais na área de arquitetura e urbanismo e engenharia, o *Kit Estrutural Mola* é indicado para qualquer pessoa que tenha interesse no estudo de estruturas. O kit é compacto e versátil e foi muito apreciado por estudantes e professores. O Mola é constituído por um conjunto de peças moduladas que se conectam por imãs, permitindo inúmeras combinações.

O kit 1 é composto por um livro com exemplos de estruturas montadas com o modelo (versão bilíngue português/inglês); uma base metálica para a montagem das estruturas; um kit de peças para montar e testar as estruturas apresentadas no livro e outras à sua escolha. Com esse kit é possível montar mais de 100 configurações estruturais diferentes e visualizar uma série de situações associadas a conceitos estruturais.

O kit 2 também é constituído por um manual bilíngue (português/inglês) e uma base metálica para a montagem das estruturas. Além disso, tem também 144 peças e amplia ainda mais as possibilidades de experimentação em estruturas.

Entre as peças selecionadas, o *Kit Estrutural Mola 2* apresenta dois novos tipos de ligações, chamadas “Ligações Contínuas” A e B (CC.A e CC.B). A “Ligaç

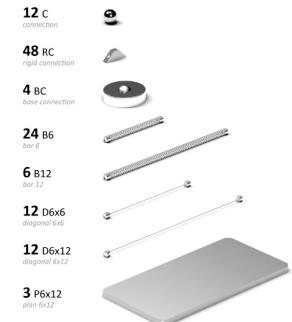
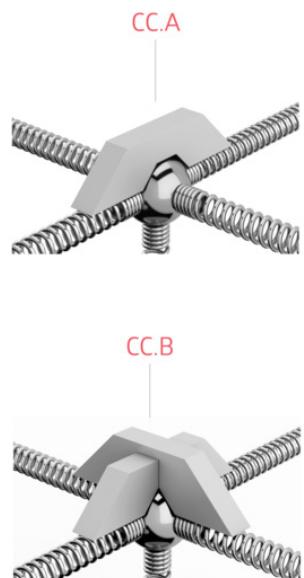


Figura 51: Peças integrantes do Kit Estrutural Mola 1.



Figura 52: Peças integrantes do Kit Estrutural Mola 2.

<sup>15</sup> Os interessados na concretização do projeto pagam por uma cota e ganham como contrapartida, por exemplo, o próprio produto e mais uma série de benefícios descritos pelo proponente. Caso o valor mínimo do projeto não seja atingido, os financiadores – público colaborador – recebem o dinheiro de volta.



**Figura 53:** Ligações Contínuas A e B.

LIGAÇÃO PADRÃO



13.7  
GRAMAS

LIGAÇÃO SUPER LEVE



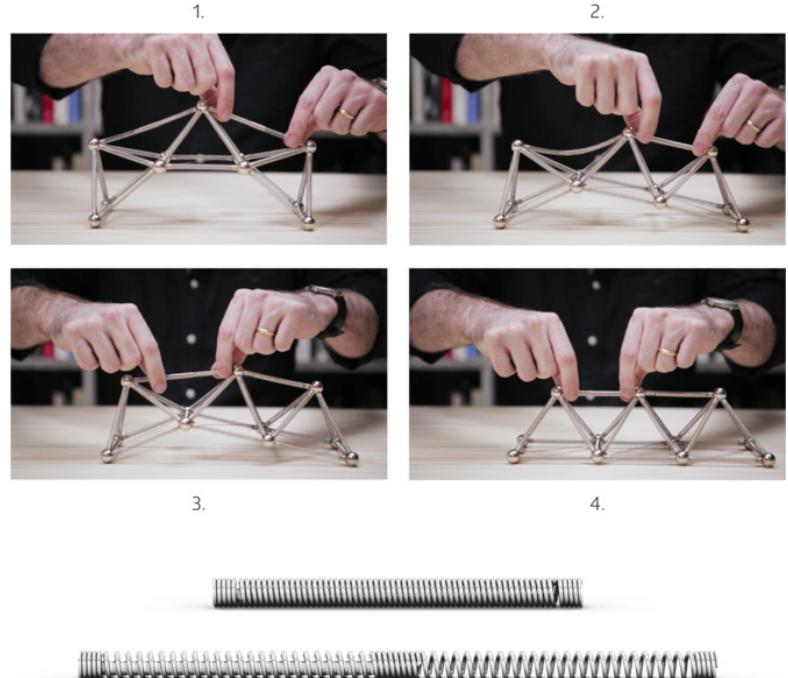
4.7 g 65% Ø  
GRAMAS MAIS LEVE MESMO TAMANHO

**Figura 54:** Ligação Super Leve.

*Contínua A*" permite a conexão entre dois elementos distintos, fazendo com que trabalhem como um único elemento. Já a "Ligaçāo Contínua B" permite que, no mesmo "nó", seja possível simular a continuidade de elementos transversais entre si. Com essas peças é possível simular a continuidade de pilares, vigas contínuas, vigas de transição, grelhas, dentre outras estruturas.

Durante o desenvolvimento do *Kit Estrutural Mola 2*, percebeu-se que a solução para um modelo mais versátil está diretamente ligada ao comprimento das barras. Pensando nisso, foi criado e patenteado um mecanismo para regular o comprimento das barras, batizado de *Barra de Comprimento Regulável (AD.B)*.

Depois de muitos estudos e protótipos, chegou-se à uma solução que permite o ajuste do comprimento da barra de acordo com as necessidades de cada projeto. A regulagem é feita através da rotação de uma das extremidades para que a barra diminua ou aumente de comprimento. É possível regular seu comprimento, mesmo depois da estrutura montada, sem precisar tirar a peça do lugar. Além disso, a *Barra de Comprimento Regulável* foi projetada para manter suas características de mola, apresentando as deformações e comportamentos semelhantes as barras originais do Kit. Com um conjunto de 4 tipos de *Barras de Comprimento Regulável (AD.B)* é possível atingir todos os comprimentos possíveis dentro do *Sistema Estrutural Mola*.



**Figuras 55 e 56:** Barra de Comprimento Regulável.

Outra inovação foi a *Ligaçāo Super Leve (LW.C)*, que é 65% mais leve que a ligação padrão. Esse novo elemento possibilita ao usuário compor estruturas mais ousadas, com vāos e balanços muito maiores e estruturas mais altas.

### 3.1.3 O PRODUTO NA CONFECÇÃO DE MODELOS FÍSICOS

Como já comentado anteriormente, o Mola foi desenvolvido especialmente para o uso didático no ensino do comportamento das estruturas nos cursos de Arquitetura e Engenharia. O produto intenta facilitar a aprendizagem dos conceitos relacionados à essa disciplina. Por isso os modelos criados com as peças do Mola se apresentam muito eficientes para representar aquilo que propõem.

Sendo um produto de análise específica de comportamentos estruturais, não convém ser utilizado para a composição de modelos arquitetônicos de estudo que não tenham esse propósito particular. Para modelos que buscam representar a volumetria do projeto, ou sua concepção formal, é mais recomendável recorrer aos modelos de materiais tradicionais (papéis, madeiras) ou outros recursos que possibilitem a liberdade de criação formal.

Através da montagem de diversos modelos estruturais, o Mola possibilita a análise e a compreensão



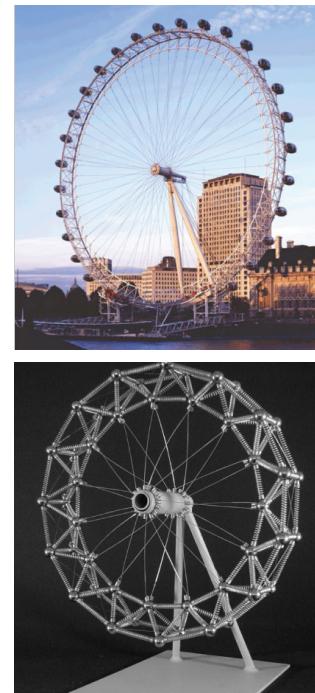
**Figura 57:** Modelo estrutural da Residência no Jardim Vitória Régia, de Marcos Acayaba.



de diferentes conceitos estruturais, associados à estabilidade estrutural; deslocamentos e deformações; comportamento de acordo com tipos de carregamentos; comportamento de acordo com diferentes condições de contorno; influência da forma; e processos de construção e montagem.

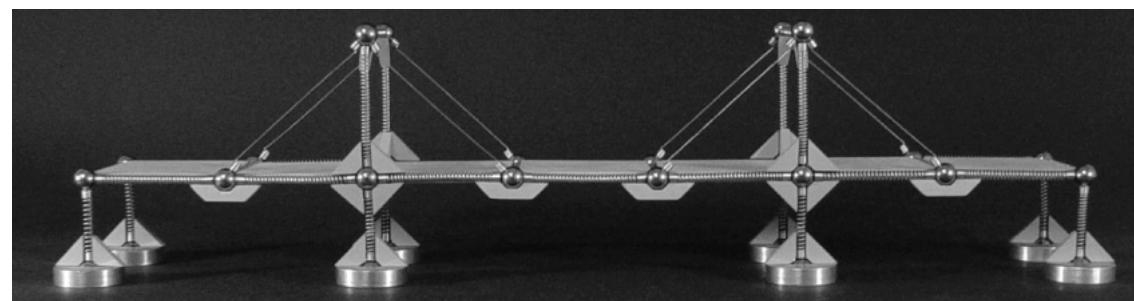
O processo de interação é feito de maneira totalmente manual, desde a montagem até a aplicação do carregamento. Dessa forma, o aprendizado, a reflexão e solução dos problemas estruturais se dá através de uma atividade lúdica por meio da interação com o modelo. O Prof. Dr. Eng. Henrique Lindenberg Neto, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (POLI-USP) defende a utilização dos modelos físicos:

O Mola tocou os corações e mentes dos arquitetos e engenheiros, sobretudo dos mais jovens. É muito interessante constatar como, nesta época de modelos numéricos sofisticados e poderosos, modelos físicos continuam tendo um papel fundamental e insubstituível.<sup>16</sup>



**Figura 59:** Modelo estrutural de uma roda gigante.

16 <https://www.catarse.me/mola>  
(acesso em 20/10/2018)



**Figura 58:** Modelo estrutural de uma ponte estaiada.



**Figura 60:** Modelo realizado com peças do Arckit.



**Figura 61:** Modelo realizado com peças do Arckit.



**Figura 62:** Modelo realizado com peças do Arckit.

## 3.2 ARCKIT

### 3.2.1 HISTÓRIA

Damien Murtagh é irlandês e abriu escritórios em Dublin e Londres. Como arquiteto, ele sabia o valor do modelo físico para explorar ideias e apresentar projetos para os clientes. Contudo, os modelos tradicionais de “corte e cola” não são práticos, tomam muito tempo e são caros. Durante o desenvolvimento de um conceito real de modulação construtiva, ele sentiu a necessidade de um sistema moderno que fosse rápido, reutilizável e tivesse um bom custo-benefício.

O Arckit foi lançado no mercado em maio de 2014 no Reino Unido e na Irlanda, e propunha substituir a modelagem pelos métodos tradicionais. Os kits são produzidos no Condado Wicklow, no “Jardim da Irlanda”, e foram criados originalmente para atender as necessidades de arquitetos profissionais. Contudo, durante o lançamento em uma feira de design (*Grand Designs Live*) em Londres, percebeu-se que as crianças eram bastante receptivas aos blocos de construção. Assim, Murtagh decidiu expandir seu público-alvo,



**Figura 63:** Modelo realizado com peças do Arckit.

e começou a projetar kits para serem usados como ferramentas de aprendizado em programas STEAM (programas que reúnem os conhecimentos de ciência, tecnologia, engenharia, arte e matemática).

Conforme o Arckit foi ganhando aprovação e apoio de arquitetos, instituições e estudantes após uma série de listagens de produtos na *Livraria RIBA*, no *National Building Museum* em Washington, na *The Chicago Architecture Foundation*, no *Museu Alvar Aalto* na Finlândia e na *Harrods of London*, algumas escolas e universidades começaram a explorar o seu uso na educação. Os primeiros a utilizarem o Arckit em educação foram a *Universidade De Huddersfield*, no Reino Unido, e a *Escola Loretto Kirribilli*, em Sydney, na Austrália. Eles são a primeira escola secundária e universidade do mundo a incluir oficialmente o Arckit como parte de seu currículo para usar junto com software digital para projeto arquitetônico.

Com todo o seu foco no físico em detrimento do virtual, o Arckit não descartou a tecnologia digital. Com muitos arquitetos explorando o uso da realidade aumentada para apresentar suas representações, a empresa está analisando como eles podem incorporar o AR em seu modelo de negócios em rápida evolução. Apesar disso, Murtagh afirma que, mesmo com os avanços tecnológicos, as pessoas ainda são inherentemente atraídas por um modelo que pode ser aprendido e manipulado.

### 3.2.2 CARACTERÍSTICAS

ARCKIT é um sistema de modelagem arquitetônico tridimensional que permite a exploração de modelos físicos com velocidade e precisão. É feito de plástico ABS moldado e as peças são baseadas em técnicas de construção modernas e um grid em escala 1:48 de 1,2m. Os componentes modulares se interligam através do sistema “click and connect” e possibilitam a criação de estruturas que podem ser rapidamente montadas, modificadas e acabadas.



Figuras 64 e 65: Peças componentes do Arckit.

Os kits são constituídos de componentes interligáveis opacos e transparentes e possuem peças características, como por exemplo escadas, cantos de janelas e ladrilhos. As peças podem ser montadas e desmontadas quantas vezes o usuário quiser, permitindo a criação de diversos projetos e maior participação dos clientes, uma vez que esses também podem interagir com os modelos. As principais peças dos kits são:

**Pisos padrão (Standard Floors):** possuem furos redondos e quadrados em baixo-relevo para facilitar as conexões com as paredes e outros acessórios, bem como outras placas de piso. Eles podem ser presos em conjunto com peças *links*, que admitem ser afixadas nas duas extremidades. Os pisos também podem ser empilhados para formar estruturas escalonadas.

**Pisos Estendidos (Extended Floors):** atualmente incluem peças com ângulos, curvas e grandes placas de piso. Eles fornecem uma base mais robusta para o modelo e permitem a criação de formas orgânicas.

**Paredes Padrão (Standard Walls):** são peças opacas e transparentes e proporcionam estrutura e acabamento ao modelo. As paredes baixas são de meia altura e dão mais flexibilidade à estrutura. As colunas podem fornecer suporte para áreas abertas e locais que precisam de mais sustentação.

**Paredes Estendidas (Extended Walls):** esses componentes ajudam a

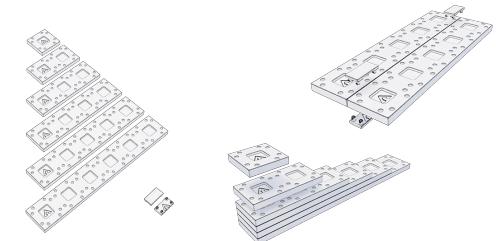


Figura 66: Pisos Padrão (Standard Floors).

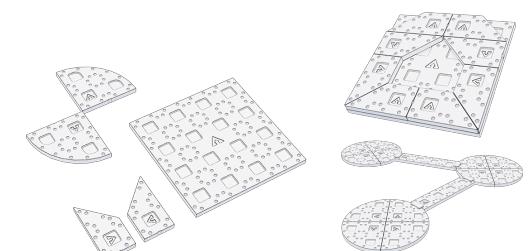


Figura 67: Pisos Estendidos (Extended Floors).

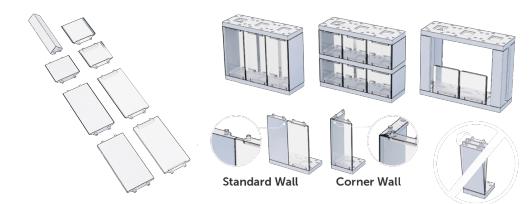


Figura 68: Paredes Padrão (Standard Walls).



Figura 69: Paredes Estendidas (Extended Walls).

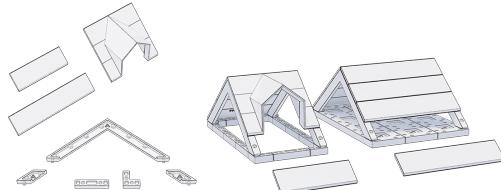


Figura 70: Coberturas (Roofing).

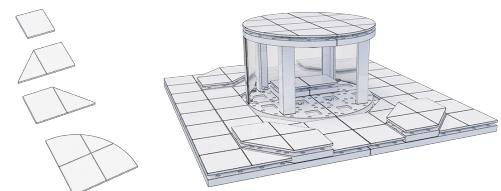


Figura 71: Azulejos (Tails).

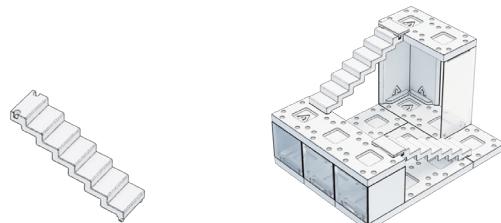


Figura 72: Escadas (Stairs).

adicionar um pouco mais de detalhes aos seus modelos. Incluem peças curvas, opacas e transparentes, e peças com aberturas, que podem representar portas e janelas.

**Coberturas (Roofing):** abrangem as peças com ângulos para a formação de tesouras e telhas. Nos kits mais recentes encontram-se também peças com formato de cúpula e abóbadas.

**Azulejos (Tails):** são componentes lisos, que servem para melhorar visualmente o acabamento do modelo. As peças podem ser circulares, quadradas ou com ângulos.

**Escadas (Stairs):** são peças contínuas em formato de escada. Podem ser conectadas em pisos ou uma sobre a outra.

Além das peças, há também uma biblioteca de imagens digitais, o *Arckitexture*. As imagens representam texturas de superfícies e padrões de materiais fornecidos por empresas de materiais construtivos reais. Esse recurso

permite que se adicione acabamentos detalhados às estruturas do modelo, como pisos de madeira, telhas de terracota, paredes de pedra e alumínio para telhas. Os acabamentos do *Arckitexture* podem ser baixados e impressos nas folhas adesivas de mídia fornecidas com determinados produtos da linha Arckit. As folhas autoadesivas também são disponíveis para compra separadamente.

Cada kit possui um número específico de peças, atualmente variam de 40 até 620 peças. Nos kits também estão incluídas bandejas divisórias, um guia para iniciantes e folhas autoadesivas de texturas pré-impressas e em branco, para imprimir a textura que o usuário desejar. Além disso, o kit dá acesso gratuito à *Arckitexture Library* (todas as texturas do Arckit) e ao *Arckit Digital* (componentes do Arckit digitalizados para Revit).



Figura 73: Modelo com texturas do *Arckitexture Library* aplicadas sobre as peças.

Os componentes do Arckit estão disponíveis em formato digital gratuitamente no *SketchUp Make 3D Warehouse*, permitindo a alternância entre o modelo físico e o virtual. Também estão disponíveis em *Autodesk Revit* para uso profissional e educacional, mas essa versão não é gratuita.

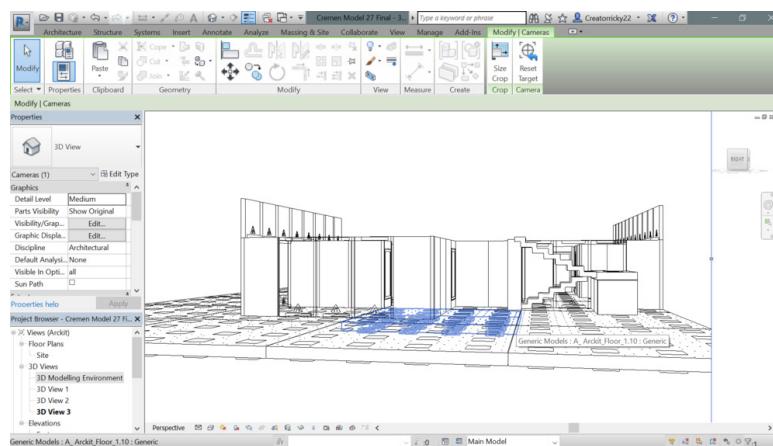


Figura 74: Arckit Digital para Autodesk Revit.

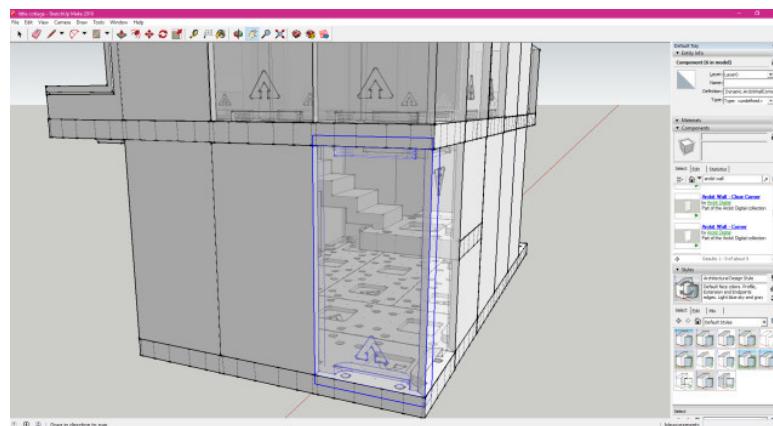


Figura 75: Arckit Digital para SketchUp 3D Warehouse.

Além das peças padrão incluídas nos kits, é possível encomendar peças personalizadas sob medida compatíveis com o sistema Arckit. O *Arckit Infiniti 3D* foi criado para que o usuário pudesse encomendar esses componentes diferenciados (como móveis, paredes personalizadas, veículos, arcadas, telhados, etc.) para serem impressos através de tecnologia de impressão 3D.



Figura 76: Kit com 40 peças.



Figura 77: Kit com 620 peças.

### 3.2.3 O PRODUTO NA CONFECÇÃO DE MODELOS FÍSICOS

O Arckit foi desenvolvido especificamente para ser usado como ferramenta de projeto entre profissionais e estudantes de arquitetura. Foi pensado para facilitar a confecção de modelos físicos e a comunicação com os clientes. Tendo sido criado para isso, é uma ótima opção para o estudo de volumes, aberturas, iluminação e conceitos formais.

As peças são fáceis de encaixar e podem ser desmontadas e usadas novamente quando o modelo tiver cumprido sua finalidade. Para modificar o modelo, basta retirar ou acrescentar peças, diferente dos modelos tradicionais, onde é preciso refazer praticamente a maquete inteira.



Figura 78: Modelo realizado com peças do Arckit.



Figura 79: Modelo realizado com peças do Arckit.



Figura 80: Modelo realizado com peças do Arckit.



Figura 81: Modelo realizado com peças do Arckit.

Como ferramenta educacional no ensino de arquitetura e design, o Arckit pode ser um grande aliado. Comparando-o com o método tradicional de confecção de modelos, destacam-se algumas vantagens:

**Rapidez:** a construção dos modelos é bem mais ágil, pois não é preciso seguir o processo de medir, desenhar, recortar e colar as peças, basta selecionar os componentes e encaixá-los.

**Reutilização:** uma vez que o modelo serviu o seu propósito, não é necessário descarta-lo. As peças podem ser desmontadas e utilizadas novamente para a construção de novos modelos. Não há desperdício de material.

**Custo-benefício:** apesar do valor dos kits não serem tão acessíveis, os componentes servem para a confecção de inúmeros modelos. Então, não é necessário ficar comprando material toda vez que um modelo precisar ser feito.

Os alunos podem explorar fisicamente os projetos e usar sua imaginação para criar uma ampla gama de estruturas diferentes. Além disso, os modelos físicos também são compatíveis com o design digital através do *Sketchup* ou *Revit*, podendo ser finalizados por meio dessas plataformas.

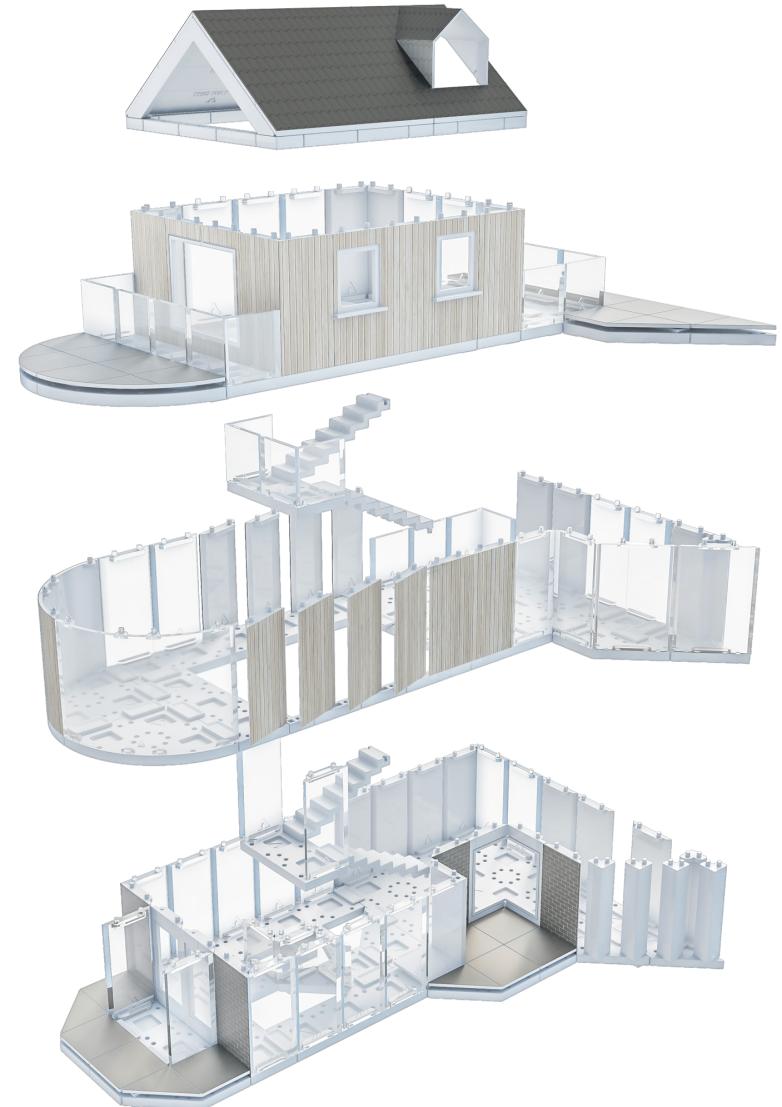


Figura 82: Modelo explodido com peças do Arckit.

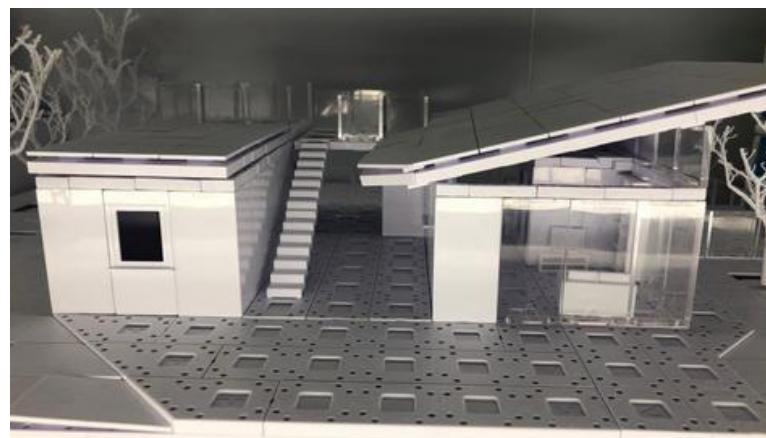
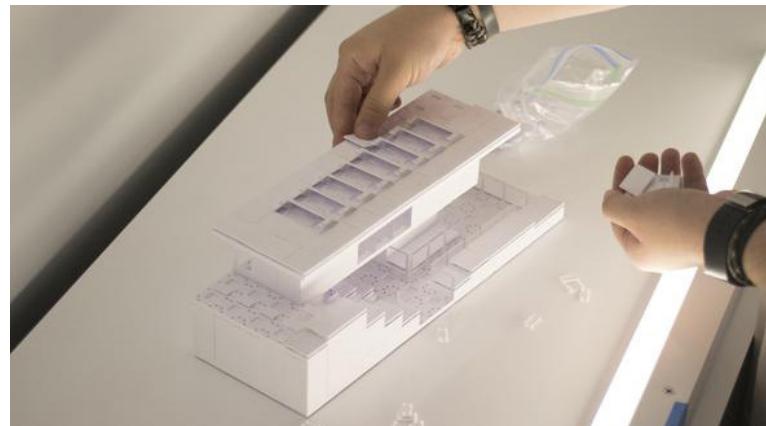
Entretanto, esse sistema de modelagem também apresenta algumas limitações, tais como:

**Escala:** as peças foram criadas dentro de uma escala específica, 1:48. Dessa forma, é complicado criar modelos fora dessa medida.

**Alto custo inicial:** apesar do usuário poder reutilizar os componentes dos kits praticamente infinitas vezes, o investimento inicial para adquirir as peças é razoavelmente alto – os kits variam de € 19,99 (com 40 peças) até € 289,99 (com 610 peças).

**Limite de peças:** a liberdade formal do modelo depende também do número de peças disponíveis para a sua construção. Quanto maior for a quantidade de componentes acessíveis, maiores serão as possibilidades construtivas do modelo. No entanto, se o estoque de peças for muito restrito, pode haver dificuldades em sua concepção.

**Combinações finitas:** apesar da variedade formal das peças, as combinações se restringem aos formatos disponíveis.



**Figuras 83, 84 e 85:** Modelos criados pelo arquiteto Rick Fairhurst para exibição no museu *Blocks to Bricks* no *Woodfield Mall*, em Chicago.

### 3.3 LEGO

#### 3.3.1 HISTÓRIA



**Figura 86:** O LEGO Duck foi um dos primeiros brinquedos produzidos pela LEGO (lançado em 1935). Ele é feito inteiramente de madeira e possui rodas conectadas ao bico do pato, fazendo-o abrir e fechar.

Por volta de 1916, Ole Kirk Christiansen comprou uma loja de artigos de madeira localizada em Billund, na Dinamarca. Ele era carpinteiro e trabalhava com a construção de casas e mobiliário para os fazendeiros da região, com o auxílio de um pequeno grupo de aprendizes. Devido a um incêndio, em 1924, que destruiu toda a sua oficina, Ole Kirk a reconstruiu ainda maior, visando expandir o seu negócio. Com a Grande Depressão, as comunidades buscavam meios de reduzir os custos de



**Figura 87:** Oficina da LEGO onde eram produzidos os brinquedos de madeira.

produção, portanto poucos se animavam a construir novas casas ou a reformar e remobiliar as existentes. Ole começou, então, a produzir versões em miniatura dos seus produtos, as quais até aquele momento eram usadas apenas como modelos. Essas miniaturas o inspiraram a construir brinquedos.

Em 1932, Ole iniciou a manufatura e a comercialização dos seus primeiros brinquedos em madeira. Entre os itens produzidos encontravam-se carrinhos de puxar, cofrinhos de porquinho, carrinhos e caminhões. Apesar do sucesso obtido, as famílias ainda estavam com dificuldades financeiras e frequentemente não conseguiam pagar pelos brinquedos. Dessa forma, além dos brinquedos, Ole continuou produzindo mobiliário real para se manter no mercado. Neste período, o seu filho Godtfred Kirk Christiansen começou a trabalhar na oficina, vindo a ter uma ativa participação nos negócios.

A partir de 1934, então empregando seis funcionários, a empresa de brinquedos adotou o nome LEGO. Trata-se de uma expressão criada a partir da frase em dinamarquês *leg godt*, que significa “brincar bem”. De acordo com a versão do *LEGO Group*, anos mais tarde eles descobriram que a palavra *lego* em latim pode significar “eu ponho junto” ou “eu uno”. A linha de brinquedos de madeira continuou a ser produzida até a década de 1960.

Quando o uso do plástico começou a se difundir, Ole Kirk acompanhou a tendência e começou a produzir brinquedos desse novo material. Um desses primeiros brinquedos produzidos era modular: um caminhão que podia ser desmontado e remontado. Em 1947, Ole Kirk e seu filho Godtfred compraram sua primeira máquina de injeção de plástico. Com ela, eles obtiveram também amostras de objetos produzidos através desse sistema. Dentre essas amostras encontravam-se tijolinhos plásticos que se encaixavam, produzidos pela empresa inglesa *Kiddicraft*. Os chamados *Kiddicraft Self-Locking Building Bricks*, foram projetados e patenteados por Hilary Harry Fisher Page, um cidadão britânico.



Figura 89: Propaganda do *Kiddicraft Interlocking Building Cubes*.

Hilary Page nasceu em 1904 em Sanderstead, Surrey. Desde criança, ele mostrava interesse em fazer brinquedos e inventar seus próprios jogos. Depois de concluir seus estudos, ele, como seu pai, trabalhou no comércio de madeira por vários anos. Em 1932, juntamente com vários parceiros, Page decidiu entrar no negócio de brinquedos. Nesse período em que ele começou a trabalhar em novos designs de brinquedos, iniciou também um sério estudo sobre as brincadeiras da primeira infância. A aplicação da psicologia infantil ao design de brinquedos, embora atualmente seja comum, era revolucionária na época. O resultado foi uma gama de brinquedos concebidos em torno de fases específicas do desenvolvimento infantil, uma filosofia que ele descreveu em seu primeiro livro: *Playtime in the First Five Years*.

Page tornou-se cada vez mais descontente com o uso da madeira como material para brinquedos infantis e sentiu que os plásticos ofereceriam uma alternativa mais segura e higiênica. Durante todo o início e meados da década de 1930, ele experimentou moldar brinquedos de plástico. Em 1937, ele introduziu uma linha de plásticos que chamou de "Sensible Toys" sob o nome Bri-Plax<sup>17</sup>. Muitos desses novos projetos, como os "Building Beakers", "Pyramid Rings", ou "Billie and Seven Barrels", eram baseados nos brinquedos russos que ele havia importado anteriormente. Mas também havia novos designs, como o "Interlocking Building Cube", que receberia uma patente britânica em 1940.



Figura 88: A LEGO foi fundada em 1932.

17 A Bri-Plax foi uma empresa criada para as experiências que Page queria fazer com plástico. Seus parceiros da Kiddicraft achavam que os plásticos eram muito arriscados para a empresa, especialmente naquele momento em que passavam por dificuldades financeiras. Por isso, o convenceram a criar uma nova instituição para os seus experimentos, a British Plastic Toys Ltd (Bri-Plax).

Fonte: <http://brickfetish.com/timeline/1947.html> (acesso em 29/10/2018)

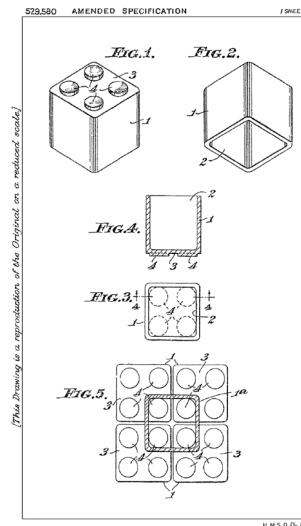


Figura 90: Patente do *Interlocking Building Cube*.

Entre os muitos designs da Kiddicraft, no período do pós-guerra, estava um novo bloco de construção. Os tijolos de construção com travamento automático eram essencialmente versões menores e mais refinadas do *Interlocking Building Cube*, e receberam o nome de *Kiddicraft Self-Locking Building Brick*. Os tijolinhos podiam ser empilhados uns sobre os outros e eram mantidos no lugar pelos pinos do topo. Eles também apresentavam fendas laterais que permitiam a inserção de portas, janelas ou cartões semelhantes a painéis. Page patenteou o design básico, um tijolo cravejado 2x4, em 1947, e em seguida fez as patentes para as fendas laterais (1949) e a placa de base (1952).

Os conjuntos *Kiddicraft Self-Locking Building Brick* foram comercializados pela primeira vez em 1947.

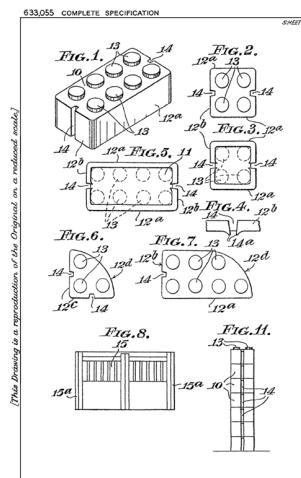


Figura 91: Patente do *Kiddicraft Self-Locking Building Brick*.

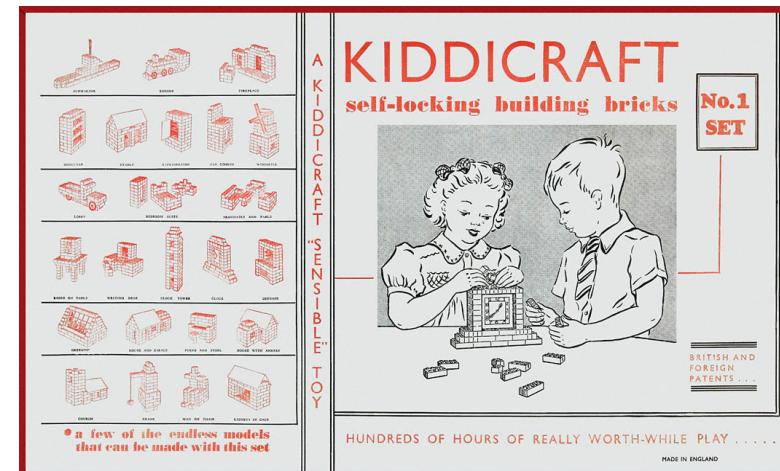


Figura 92: Embalagem do primeiro set do *Kiddicraft Self-Locking Building Brick*.

Como promotor, Page e sua família construíram grandes modelos de exibição para a *Earls Court Toy Fair* (uma feira de brinquedos) daquele ano. Os dois primeiros conjuntos foram logo seguidos por vários conjuntos mais completos e suplementares. Os *Self-Locking Building Brick* foram destinados às crianças mais velhas, pois as peças eram menores do que as do *Interlocking Building Cube*.

No ano seguinte do lançamento do *Kiddicraft Self-Locking Building Brick*, a LEGO começou a produzir e a comercializar tijolinhos praticamente idênticos aos da Kiddicraft, denominando-os como *Automatic Binding Bricks*. Até mesmo as fendas para o encaixe das portas e janelas eram iguais. Os bloquinhos de plástico eram fabricados em acetato de celulose, material termoendurecível que permitiu a conexão de uma peça na outra devido a sua elasticidade. Além disso, o plástico proporcionava leveza e suas cores não desbotavam ou descascavam como nos blocos de madeira.

Os tijolinhos começaram a ser fabricados com a marca da LEGO impressa apenas depois de 1952. Em 1953, os bloquinhos ganharam um novo nome: *LEGO Mursten* (tijolos LEGO). Nessa época, o uso do plástico na manufatura de brinquedos ainda não era muito bem visto pelos comerciantes nem pelos consumidores tradicionais de brinquedos. Muitos dos pedidos feitos à empresa eram devolvidos após vendas insuficientes: parecia que



**Figura 93:** Na fileira de cima os tijolinhos da LEGO; na fileira de baixo os *Kiddicraft Self-Locking Building Brick*. Quando a LEGO começou a fabricar seus bricks, a logomarca não era gravada nem nos pinos nem dentro dos bloquinhos. A Kiddicraft, no entanto, fazia essa gravação.

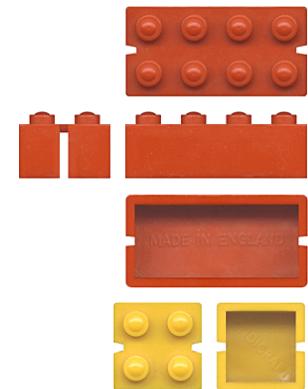
os brinquedos de plástico jamais substituiriam os de madeira. Apesar disso, Ole Kirk continuou a investir no novo material.

Em 1954, Godtfred tornou-se o diretor-administrativo júnior da empresa. Foi a partir desse ano que o sucesso da empresa começou a surgir. Buscando tornar os tijolinhos um sistema construtivo, um tipo de brinquedo universal, que fosse educativo, divertido e atendesse simultaneamente a diversas faixas etárias, a empresa lançou o *LEGO System of Play*, em 1955.

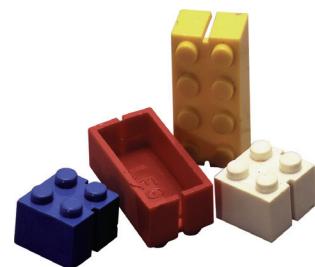
Enquanto a LEGO melhorava o formato e a tecnologia para a produção de seus tijolinhos, Hilary Page enfrentava dificuldades com a Kiddicraft. Apesar do sucesso dos *Self-Locking Building Bricks*, esse não era o principal produto que a empresa vendia. A Kiddicraft tinha uma linha de miniaturas, a *Kiddicraft Miniatures*, que eram pequenas reproduções de alimentos e utensílios

domésticos, como caixas de detergente, latas de sopa, chá e caixas de açúcar, caixas de sorvete, garrafas de cerveja e vinho, até mesmo maços de cigarros. Page prometeu "mais de 300" produtos diferentes e partiu para o que talvez fosse o maior acordo de licenciamento na indústria de brinquedos. A Kiddicraft acabou produzindo mais de 200 dessas miniaturas, mas a empresa simplesmente não conseguiu cumprir todas as promessas e não pôde honrar seus acordos com seus licenciadores.

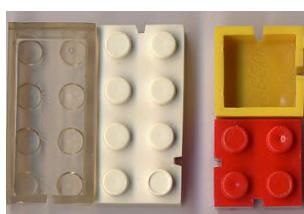
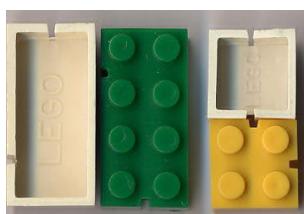
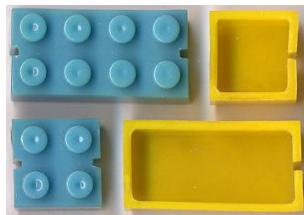
Page ficou profundamente perturbado com essas pressões sobre os negócios e temia um colapso total da empresa. Tragicamente, ele cometeu suicídio em 24 de junho de 1957. Após a morte de Page, David Day, o designer-chefe, tornou-se diretor administrativo e a empresa continuou a produzir brinquedos até ser vendida em 1977.



**Figura 94:** Bricks da Kiddicraft.



**Figura 95:** Bricks da LEGO.



Figuras 96 a 100: Evolução dos Bricks da LEGO.

Quando Page faleceu, em 1957, a LEGO comprou os direitos e patentes do design dos bloquinhos Kiddicraft. Embora tivessem imenso potencial, os tijolinhos ainda apresentavam alguns problemas do ponto de vista técnico: a sua capacidade de se “prender” era limitada e eles não eram muito versáteis, permitindo apenas construir casas, veículos e figuras simples de animais e de pessoas.

Foi apenas em 1958 que o design do tijolo clássico foi desenvolvido: os blocos foram melhorados com tubos vazados em seu interior. Com esta solução, proporcionava-se mais suporte na base, permitindo uma melhor capacidade de encaixe e uma maior versatilidade das peças. Agora os blocos podiam ser mantidos unidos, mas não tão fortemente que não pudesse ser separados. A nova tecnologia e o conceito de um “sistema” de brinquedo, aumentaram rapidamente as vendas. Nesse mesmo ano, quando Ole Kirk faleceu, tendo Godtfred herdado a liderança da empresa, o sistema LEGO já se tinha transformado no brinquedo mais popular da Europa Ocidental.

Em 1959, com um número reduzido de funcionários, foi fundado um novo departamento na empresa responsável pela geração de ideias para novos conjuntos do brinquedo. No ano seguinte, outro incêndio consumiu um depósito da empresa, destruindo a maior parte do estoque de brinquedos de madeira.

Neste momento, a linha de brinquedos de plástico já era forte o bastante para se manter e, desse modo, a empresa decidiu descontinuar a produção da linha em madeira. No final de 1960, a empresa já contava com quatrocentos e cinquenta empregados.

A partir de 1963, o acetato de celulose (a matéria-prima usada na fabricação dos blocos LEGO) foi substituído pelo acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), um plástico mais estável. As vantagens do ABS eram consideráveis: não é tóxico; é menos sujeito a descolorações e deformações; é mais resistente ao calor, ácidos, sais e outros produtos compostos químicos que o seu antecessor. Outro avanço foram os manuais com instruções e sugestões de montagem que passaram a integrar os kits em 1964.

A expansão do grupo foi marcada com a inauguração, do primeiro parque temático LEGOLAND, em Billund, Dinamarca, em 7 de junho de 1968. Nesse ano, a empresa atingiu a marca de mais de um milhão de conjuntos vendidos. No ano seguinte, foi lançada a linha DUPLO, um sistema recém-desenvolvido, voltado para o segmento de crianças menores, com peças maiores, mas compatíveis com os blocos clássicos.

A partir de 1970, a empresa não parou mais de expandir. O crescimento das vendas e da empresa fora de tal ordem, que a principal questão de sua direção era a de

como administrar e controlar o grupo e o seu mercado em expansão. No ano de 1970 o número de empregados era superior a novecentas pessoas. Questões concernentes à fabricação, distribuição e marketing adquiririam maior importância. Ano após ano a LEGO lançou novas linhas, kits, formatos de peças e cores, personagens, e inúmeras inovações.

Em 1980, a *LEGO Group* criou o *Departamento de Produtos Educacionais*, renomeado como *LEGO Dacta* em 1989, com a função de ampliar as possibilidades educacionais dos seus brinquedos. A partir do advento dos computadores, a LEGO criou algumas ferramentas digitais. Em 1998, a empresa lançou a linha *LEGO Mindstorms* (Figura 10), voltada para a educação tecnológica, e em 2004, foi lançado o *LEGO Digital Designer (LDD)*, como ferramenta de montagem de construções virtuais com os tijolinhos (Figura 101).

Hoje a *LEGO Group* é uma empresa transnacional que tem seu produto presente em mais de cento e quarenta países, empregando mais de dez mil pessoas. No Brasil, a LEGO se instalou em 1986, com uma fábrica própria em Manaus e um escritório em São Paulo. Essa fábrica foi fechada em 1998 e, desde então, todos os produtos LEGO brasileiros passaram a ser importados. Como no Brasil a operação direta até 2000 não foi lucrativa, veio uma decisão da matriz de procurar um distribuidor, onde a *Brinquedos Estrela* foi a grande escolhida. Entretanto,

em 2004, a *LEGO Group* decidiu trocar o distribuidor no Brasil, passando a licença para o *Grupo M. Cassab*, que cuidou da marca até 2014, quando a *LEGO Group* voltou a operar com um escritório em São Paulo. Em 2010 foi aberta a primeira loja própria LEGO no Brasil, no Shopping Cidade Jardim em São Paulo. Atualmente existem 8 lojas em funcionamento no Brasil e mais duas em processo de instalação.



**Figura 101:** Conjunto de peças do *LEGO Mindstorms*.

### 3.3.2 CARACTERÍSTICAS

Simplificadamente, LEGO é um sistema composto por peças de plástico ABS que se encaixam permitindo diversas combinações. Atualmente existem mais de 9000 tipos de peças, que podem ser combinadas das mais variadas formas. As peças possuem pinos no topo e reentrâncias na base, de maneira que uma se prenda na outra. Apesar do encaixe permitir que as peças não caiam quando conectadas, admite também que elas sejam separadas quando se desejar.

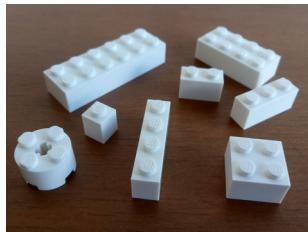


Figura 102: Exemplos de *Bricks*.



Figura 103: Exemplos de *Plates*.



Figura 104: Exemplos de *Tiles*.

Além desses três tipos básicos existem muitos outros como peças em formato de telhas, escadas, diversos objetos, figuras humanas (as chamadas *minifigures*) e de animais, portas, janelas, cercas, rodas e pneus, elementos redondos, cilíndricos, vazados, entre tantos outros. Todas as alturas e larguras derivam das medidas básicas, e todas as peças se encaixam perfeitamente, pois seguem a mesma modulação. Até hoje, as pecinhas já foram produzidas em mais de 180 cores, podendo variar das clássicas primárias e secundárias até elementos transparentes, metálicos e com *glitter*.



Figura 105: Cores em que as peças da LEGO já foram produzidas.

A LEGO possui 36 temas para distinguir seus kits (chamados de *sets*), como por exemplo os temas *Classic*, *Creator*, *City*, *Juniors*, *Harry Potter*, *Technic* e *Architecture*. Os *sets* são compostos por um manual de montagem e com o número exato de peças para a confecção do objeto determinado. Os *sets* da linha *Architecture* possuem o diferencial de virem acompanhados também com informações e imagens da edificação que estão representando.

Além dos *sets*, é possível adquirir as peças da LEGO a granel. Algumas lojas oferecem a facilidade de deixar o usuário escolher os formatos e cores que desejar e pagar por peso. Em outras o usuário paga por um pote com um tamanho padrão, que pode ser preenchido por quaisquer e quantas peças couber dentro dele, independentemente do peso. Alguns lugares também vendem as peças por unidade.

Pensando também no universo virtual, a LEGO Group criou ferramentas digitais como o *LEGO Mindstorms* e o *LEGO Digital Designer (LDD)*. O conjunto *Mindstorms* permite criar robôs simples, passíveis de executar funções básicas pré-programadas. O módulo *RCX (Robotic Command Explorer)* processa comandos pré-programados em um computador, através de softwares específicos, como o *RoboLAB* (na versão educativa) ou o *Robotics Invention System* (na versão comercial), permitindo a interação da estrutura construída

com o ambiente no qual se inscreve. O conjunto é fornecido com uma torre baseada em tecnologia de raios infravermelhos, que pode ser conectada a um computador pessoal através de uma entrada USB ou de uma entrada serial. Em agosto de 2006, a LEGO lançou comercialmente a versão *Mindstorms NXT*, e depois em janeiro de 2013 foi lançada a versão *LEGO Mindstorms EV3*, a mais avançada.



**Figura 106:** Processador EV3 com seus sensores.

O *LEGO Digital Designer* foi lançado em 2004 e trata-se de um software livre de desenho auxiliado por computador. Roda em plataformas *Microsoft Windows* (XP, Vista, 7 e 8) e *OS X*. O programa permite a montagem e visualização de construções virtuais com os tijolinhos



**Figuras 107 a 109:** Construções a partir das peças do *LEGO Mindstorms*.



**Figura 110:** Conjunto de peças do *LEGO Mindstorms*.

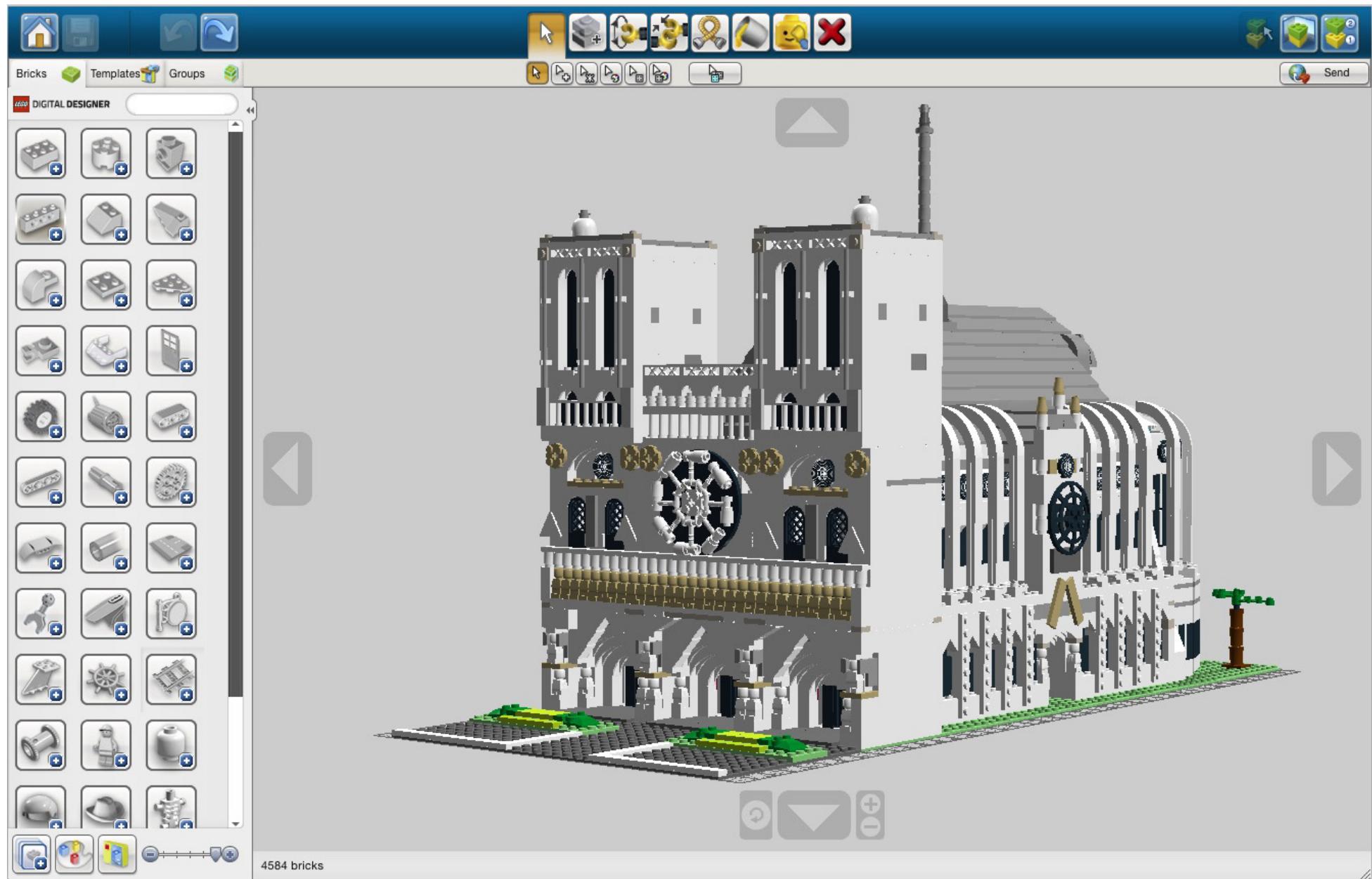


Figura 111: Interface do LEGO Digital Designer.

LEGO através de um computador. A interface é simples, intuitiva, e conta com um número ilimitado de peças, em diversas cores. Oferece projetos predeterminados inacabados, para serem completados pelo usuário, além da opção de gerar os próprios manuais de construção, de modo a disponibilizar automaticamente instruções passo-a-passo de como construir o modelo projetado, inclusive com a opção de salvá-los em formato HTML. O LDD existe até hoje e sua versão atual é a 4.3.11, compreendendo sons e uma interface melhorada, com novas peças e ferramentas.

Em 2012 foi anunciada uma novidade na área de tecnologia da produção das pecinhas. A *LEGO Group* anunciou que os seus tijolinhos começariam a ser fabricados em material sustentável. Sua meta é que todos os bricks sejam produzidos no novo material até 2030. As fábricas da LEGO reciclam quase todos os anos cerca de 1% de seus resíduos plásticos do processo de fabricação. Se o plástico não puder ser reutilizado em peças de Lego, ele é processado e enviado para outro lugar. Com os novos materiais que vem sendo descobertos, espera-se que as peças sejam cada vez mais sustentáveis.



**Figura 112:** Modelo virtual do Big Bang realizado no *LEGO Digital Designer*.



**Figura 113:** Set da linha Architecture do Guggenheim Museum.



**Figura 114:** Set da linha Architecture da cidade de Londres.



**Figura 115:** Set da linha Architecture do Arco do Triunfo.



**Figura 116:** Set da linha Architecture da cidade de Nova York.

### 3.3.3 O PRODUTO NA CONFECÇÃO DE MODELOS FÍSICOS

Os blocos LEGO sempre apresentaram um potencial construtivo que foi percebido por alguns educadores como constituindo uma valiosa ferramenta para auxiliar crianças e jovens a desenvolver a criatividade e a capacidade de resolverem problemas por si próprias. Desde os anos 1970 alguns professores vinham utilizando os bloquinhos em suas salas de aula por uma variedade de razões.

A *LEGO Group* nunca deixou de acompanhar as tendências no aprendizado. Em 1980 já haviam criado o *Departamento de Produtos Educacionais* e em 1998 lançaram a linha *LEGO Mindstorms*, como ferramenta digital voltada para a educação tecnológica. As características que nortearam a sua criação e desenvolvimento tornaram-no popular e até hoje é recomendado por educadores e terapeutas, para serem utilizados não apenas como brinquedo (função lúdica) mas em todos os segmentos do processo ensino-aprendizado, da pré-escola à Universidade, influenciando campos distintos como os da robótica, da arte, da socialização ou mesmo da exploração espacial. Pensando especificamente em modelos físicos que representassem edifícios e cidades reais, a LEGO lançou em 2008 a linha *Architecture*. Os sets desse tema são compostos pelo número exato de peças para a construção do edifício, um manual de montagem e também

informações e imagens sobre o prédio. No entanto, as peças contidas em cada set vêm na quantidade e formatos específicos para a confecção do edifício representado nesse set. Para criar outros edifícios o usuário encontrará dificuldades devido à limitação do número e formato dos tijolinhos.

Para resolver essa questão, foi lançado em 2013, o *set LEGO Architecture Studio* (Figura 117). Diferentemente dos conjuntos da linha *Architecture*, esse set inclui muito mais peças e formatos. Ele é composto por 1210 peças, todas brancas ou transparentes e 76 formatos diferentes, 2 separadores de peças e um guia de inspirações de 272 páginas. Ao contrário de todos os outros sets da LEGO,



**Figura 117:** Set da linha *Architecture Studio*.

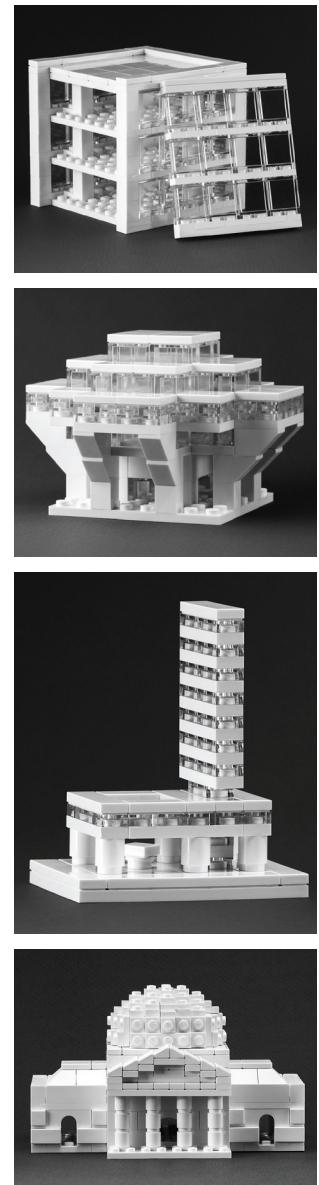
este não tem um manual de montagem. A ideia é que o usuário possa montar de maneira completamente livre as suas edificações.

Apesar dos LEGO *bricks* terem sido criados como um brinquedo, o seu sistema construtivo modular de fácil encaixe e desencaixe permitiu o desenvolvimento do jogo para algo muito mais sério. Atualmente, os conjuntos são utilizados para além da função lúdica, com função didática em instituições de ensino tecnológico abordando a teoria e a prática de conteúdos direcionados para a introdução à robótica, matemática, física, design e arquitetura, permitindo o desenvolvimento de projetos de pequeno e médio porte, estimulando a criatividade e a solução de problemas do cotidiano por parte dos alunos.

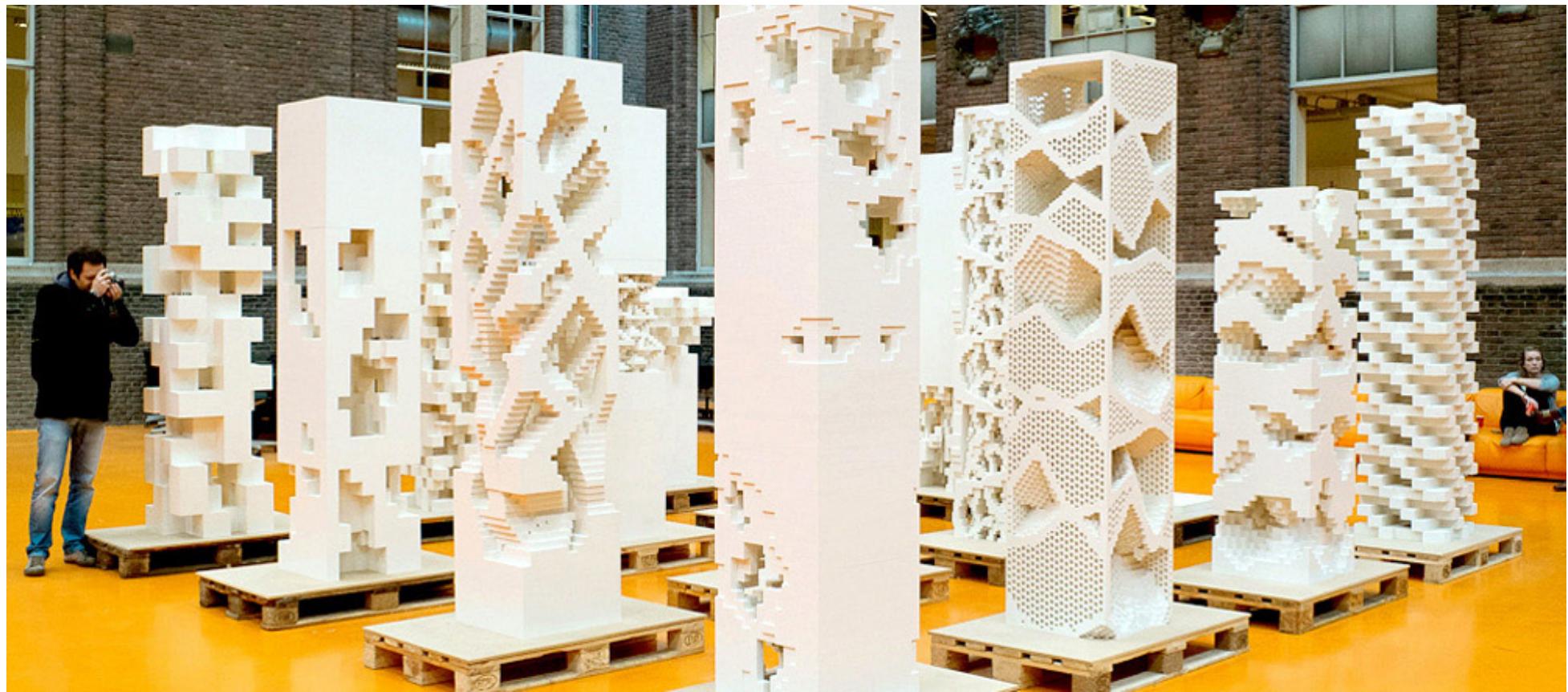
Como ferramenta educacional no ensino de arquitetura e design, os LEGO *bricks* apresentam basicamente as mesmas características do Arckit. São muito vantajosos em relação aos métodos tradicionais de confecção de modelos físicos: os diferentes formatos e tamanhos dos bloquinhos permitem inúmeras combinações, facilitando a modelagem dos objetos em escala reduzida; as peças encaixáveis agilizam o processo construtivo e podem ser reutilizadas para outros modelos, acabando com o desperdício de materiais; como as peças não precisam ser descartadas depois de usadas, não é necessário ficar comprando material toda

vez que um modelo precisa ser feito, basta reutilizar os mesmos *bricks*.

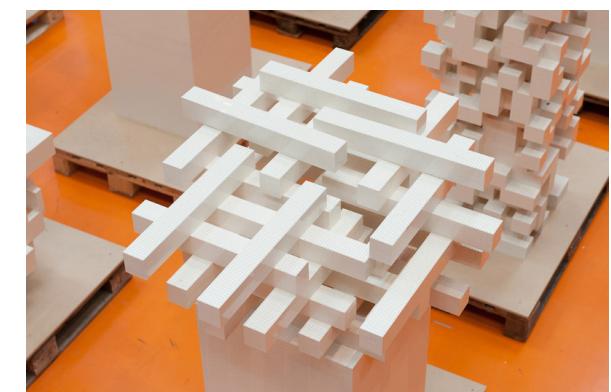
A exploração física dos modelos é praticamente infinita, mas também apresenta algumas limitações. É difícil montar os modelos em escalas específicas. As mais usadas na confecção de modelos com LEGO são 1:48 (escala da *minifigure*), 1:17 (escala da *miniland*) e 1:80 (escala da *microfigure*), todas seguindo o sistema imperial de medidas. Assim como no Arckit, a liberdade formal do modelo depende também do número de peças disponíveis para a sua construção. Quanto maior for a quantidade de componentes acessíveis, maiores serão as possibilidades construtivas do modelo. No entanto, se o estoque de peças for muito restrito, pode haver dificuldades em sua concepção. Além disso, apesar do usuário poder reaproveitar as peças dos sets praticamente infinitas vezes, o investimento inicial para adquirir os *bricks* é razoavelmente alto, pelo menos aqui no Brasil. O set da cidade de Nova York da linha *Architecture*, por exemplo, possui 598 peças e está à venda na loja oficial da LEGO por R\$ 499,99. Já o set *LEGO Architecture Studio* não está à venda nas lojas LEGO do Brasil. Para adquirir esse set o usuário precisa recorrer a lojas que importam esse tipo de produto, podendo variar o preço entre R\$ 2300,00 até R\$ 3000,00.



**Figuras 118 a 121:** Modelos realizados a partir das peças do set LEGO Architecture Studio.



**Figuras 122 a 125:** Modelos de estudo realizados com LEGO pelo estúdio arquitetônico holandês MVRDV. Segundo Winy Maas, líder do estúdio, o objetivo da pesquisa era entender a "porosidade e suas potencialidades" para enfrentar a elevada densidade urbana do território europeu. Atualmente, muitos escritórios de arquitetura vem utilizando os tijolinhos da LEGO para realizar modelos físicos.



### 3.4 CLASSIFICAÇÃO

A partir da análise das características particulares de cada um dos estudos de caso, foram condensadas, em uma tabela classificatória, as informações mais pertinentes relacionadas ao desenvolvimento de um projeto. A tabela de classificação intende facilitar a escolha do projetista sobre o material que irá utilizar no desenvolvimento de seu trabalho. Através dela é possível depreender as principais informações acerca de cada material de maneira rápida, objetiva e direta.

**Tabela de Classificação**

Nome Comercial	Logo	Uso Representativo na Modelagem	Tipologia do Modelo	Nº de Formatos Diferentes das Peças	Versatilidade Construtiva	Material	Tipo de Encaixe	Durabilidade das Peças
<b>Mola</b>		Sistema Estrutural	funcional, volumétrico e de comunicação	30	média	imã, metal, plástico	força magnética e rosqueamento	alta
<b>Arckit</b>		Sistema Arquitetônico	volumétrico, de comunicação e de apresentação	200	média	plástico ABS	Click and Connect	alta
<b>LEGO</b>		Sistema Arquitetônico	volumétrico, de comunicação, de apresentação e funcional	9000	alta	plástico ABS	encaixe por "pinos"	alta

Facilidade de Transporte	Fragilidade do Encaixe no Transporte	Cor	Textura	Peso	Custo (kit com aprox. 120 peças)	Escala	Compatibilidade com Impressão 3D
alta	média	monocromático	pouca	médio	R\$ 350,00	—	somente os componentes de placa, base e alguns conectores
alta	baixa	colorido	média	leve	R\$ 450,00	1/48	sim
alta	baixa	colorido	muita	leve	R\$ 70,00	1/17 1/48 1/80 1/96	sim



# 4. PRÉ-FABRICAÇÃO E FABRICAÇÃO DIGITAL

*– Mas qual é a pedra que sustenta a ponte? –  
pergunta Kublai Khan.*

*– A ponte não é sustentada por esta ou aquela  
pedra – responde Marco –, mas pela curva do arco  
que estas formam.  
Kublai Khan permanece em silêncio, refletindo.*

*Depois acrescenta:*

*– Por que falar das pedras? Só o arco me interessa.  
Polo responde:  
– Sem pedras o arco não existe.*

– Italo Calvino

## 4. PRÉ-FABRICAÇÃO E FABRICAÇÃO DIGITAL

### 4.1 O CONTEXTO HISTÓRICO DA PRÉ-FABRICAÇÃO

A indústria da construção civil evoluiu através de diversas fases, que se caracterizaram por métodos, tecnologias e arquiteturas particulares. Atualmente é possível identificar uma organização significativa em alguns subsetores, em que podem ser encontrados modernos sistemas construtivos e avançados processos de gestão industrial. Dentre estes sistemas, destacam-se os pré-fabricados.

Primeiramente, os sistemas pré-fabricados se conciliam com a história da industrialização, que por sua vez está associada com o período histórico da mecanização, isto é, com o desenvolvimento das ferramentas e maquinários para a produção de bens. As atividades exercidas pelo homem com o auxílio de dispositivos foram gradativamente sendo substituídas por aparelhos mecânicos e/ou eletrônicos, em outras palavras, por automatismos.

Segundo BRUNA (1976), essa evolução da mecanização pode ser dividida em três grandes fases. A primeira é a do nascimento das máquinas genéricas e polivalentes, e assinala o início da era industrial. Estas primeiras máquinas, por poderem ser reguladas

livremente, reproduziam as mesmas ações artesanais anteriormente executadas, destacando-se destas apenas pelo fato de serem movidas por uma energia que não aquela muscular ou natural localizada.

Na segunda fase, os mecanismos são transformados para se ajustarem à execução de determinadas tarefas. O homem é substituído pela máquina “motorizada e regulada” na capacidade de repetir um ciclo sempre igual. Durante este período, o trabalho manual foi dividido em atividades unitárias mais simples, desta forma, o operador da máquina repete continuamente determinadas operações físicas, limitando sua sensibilidade e seu raciocínio, antes essenciais na verificação de sua regulagem. O operário é então treinado para repetir determinados movimentos (estudo do método) no menor tempo possível (estudo do tempo) com o objetivo de obter os melhores resultados econômicos e qualitativos. A “qualidade”, que antes era um fundamento do trabalho manual e também caracterizada por ele, agora é produzida de forma automática pelo mecanismo que se incorporou na máquina. A partir daí, surge o princípio de organização entendido como um fato sistêmico, em oposição à ação empírica como realizada no passado. Dessa maneira, germina-se o conceito da indústria como uma organização baseada na repetição ou na interação de atividades.

A terceira e última fase tem início nos anos 1950. Nessa etapa, as atividades que o homem exercia sobre e com a máquina vão gradualmente sendo substituídas por automatismos. O homem pode liberar-se através dos automatismos da rigidez de série, entendida como repetição de objetos sempre iguais, para a série entendida como fluxo de informações, a qual permite, dentro da versatilidade própria dos equipamentos, produzirem novamente séries continuamente diversas, independentemente de seu número; disto resulta uma possibilidade extremamente interessante no que se refere à industrialização da construção, pois permite adequar a produção às exigências de cada obra, permanecendo em condições de máxima eficácia operativa.

Os automatismos passam a substituir paulatinamente as faculdades humanas. Assim, uma primeira ordem de automatismos corresponde às máquinas “auto acionadas”, as quais, em vez de repetir identicamente um ciclo, uma vez acionadas, operam por conta própria repetindo uma série de ciclos até que sejam paralisadas. O controle continua humano, mas o esforço foi substituído por mecanismos. O passo seguinte é constituído pelas máquinas nas quais o controle já foi substituído por automatismos, e assim sucessivamente. Uma ordem superior seria a constituída pelas máquinas que leem programas operativos, isto é, executam programas pré-fixados. Um exemplo deste tipo de mecanismo, de grande interesse para a construção civil, é

o das centrais automáticas que produzem concretos, mas com diversas combinações de agregados, água, aditivos, etc., obtendo-se diferentes dosagens e resistências (BRUNA, 1976).

Em relação à pré-fabricação, é difícil estabelecer uma data para o seu surgimento. Segundo VASCONCELLOS (2002), não se pode precisar esta data. O próprio nascimento do concreto armado ocorreu com a pré-moldagem de elementos, fora do local de seu uso. Desta forma, pode-se afirmar que a pré-moldagem começou com a invenção do concreto armado.

Segundo REVEL (1973), o termo pré-fabricado no campo da construção civil significa a “*fabricação de certo elemento antes do seu posicionamento final na obra*”. A pré-fabricação em seu sentido mais geral se aplica a toda fabricação de elementos de construção civil em indústrias, a partir de matérias primas e semi-produtos cuidadosamente escolhidos e utilizados, sendo em seguida estes elementos transportados à obra onde ocorre a montagem da edificação.

A norma NBR 9062 - Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado (ABNT, 2017) define *elemento pré-fabricado* como elemento pré-moldado executado industrialmente, mesmo em instalações temporárias em canteiros de obra, ou em instalações permanentes de empresa destinada para este



Figuras 126: Escada pré-fabricada.



Figuras 127: Peças de laje pré-fabricadas.



Figuras 128: Vigas pré-fabricadas.



Figuras 129 a 131: Acidente do edifício Ronan Point de 22 andares, em Canning Town, Newham, na Inglaterra (1968).

fim que atende aos requisitos mínimos de mão-de-obra qualificada; a matéria-prima dos elementos pré-fabricados deve ser ensaiada e testada quando no recebimento pela empresa e previamente à sua utilização.

Tanto a pré-fabricação como manifestação mais significativa da industrialização na construção quanto a utilização intensiva do pré-fabricado em concreto, tiveram início, verdadeiramente, no período pós Segunda Guerra Mundial, em função da necessidade de se construir em grande escala (ORDÓÑEZ, 1974).

SALAS (1988) por sua vez, divide a utilização dos pré-fabricados em três etapas:

**De 1950 a 1970:** período em que a guerra devastou muitas edificações, criando a necessidade de se construir diversos edifícios, dos mais variados programas, como habitacionais, escolares, hospitais e industriais. Os prédios construídos nessa época eram compostos de elementos pré-fabricados, cujos componentes eram procedentes do mesmo fornecedor, constituindo o que se convencionou de chamar de *ciclo fechado de produção*. Segundo FERREIRA (2003), utilizando uma filosofia baseada nos sistemas fechados, as realizações ocorridas no período do pós-guerra europeu na área de habitação criaram um estigma associando a construção pré-fabricada durante muitos anos à uniformidade, monotonia e rigidez na arquitetura, com flexibilidade

“zero”, onde a pré-fabricação com elementos “pesados” marcou o período. Além destas questões, as construções massivas, sem uma avaliação prévia de desempenho dos sistemas construtivos, ocasionaram o surgimento de muitas patologias.

**De 1970 a 1980:** durante este período ocorreram acidentes com alguns edifícios construídos com grandes painéis pré-fabricados. Esses acidentes provocaram, além de uma rejeição social a esse tipo de edifício, uma profunda revisão no conceito de utilização nos processos construtivos em grandes elementos pré-fabricados. Neste contexto teve o início do declínio dos sistemas pré-fabricados de ciclo fechado de produção.

**Pós 1980:** esta etapa caracterizou-se, em primeiro lugar, pela demolição de grandes conjuntos habitacionais, justificada dentro de um quadro crítico, especialmente de rejeição social e deterioração funcional. Em segundo lugar, pela consolidação de uma pré-fabricação de *ciclo aberto*, à base de componentes compatíveis, de origens diversas. Segundo BRUNA (1976), “a industrialização de componentes destinados ao mercado e não, exclusivamente, às necessidades de uma só empresa é conhecida como *ciclo aberto*”. Conforme FERREIRA (2003), os sistemas pré-fabricados de “ciclos abertos” surgiram na Europa com a proposta para uma pré-fabricação de componentes padronizados, os quais poderiam ser associados com produtos de outros

fabricantes, onde a modulação e a padronização de componentes fornecem a base para a compatibilidade entre os elementos e subsistemas.

Alguns autores como ELLIOT (2002) adicionam ainda, uma terceira geração de sistemas pré-fabricados para edificações. Esta geração é dotada de alto grau de especificação e vem tomando forma nos últimos 20 anos na Europa, pois muitos projetistas europeus estão percebendo cada vez mais as possibilidades dos acabamentos de alta qualidade nos elementos pré-moldados. Entretanto, ainda é necessária uma mudança na forma tradicional de concepção e de projeto dos sistemas pré-moldados de concreto dentro desta nova realidade tecnológica.

Neste contexto, a indústria da construção é chamada para o projeto multifuncional, onde o uso otimizado de todos os componentes que formam o edifício deve ser maximizado. Assim, esta terceira geração de pré-fabricação está sendo chamada, em caráter “preliminar”, de *sistemas de ciclos “flexibilizados”*, por entender que não apenas os componentes são “abertos”, mas todo o sistema o é e, portanto, o projeto também passa a ser necessariamente aberto e flexibilizado para se adequar a qualquer tipologia arquitetônica.

Desta forma, o sistema de ciclo flexibilizado possui características tanto do sistema fechado como

também do ciclo aberto. FERREIRA (2003), adiciona que o conceito de sistemas flexibilizados na produção vai além da fábrica, com a possibilidade da produção de componentes no canteiro, dentro de um sistema com alto grau de controle e qualidade e de organização da produção, como pode vir a ser o caso dos sistemas tipo “*tilt-up*”. O sistema “*tilt-up*” consiste na execução de paredes moldadas in loco sobre um piso de concreto. Estas paredes são moldadas na horizontal, permitindo que sejam introduzidas portas, janelas, acabamentos de fachada, revestimentos e texturas diferenciadas durante a fabricação das mesmas. Após atingirem a resistência necessária para içamento, as paredes são levantadas por guindastes e posicionadas sobre blocos de fundações previamente executados.



**Figuras 132 a 134:** O sistema construtivo “*tilt-up*” consiste em executar as paredes na horizontal, erguendo-as depois de pronta.

Em termos de desenvolvimento tecnológico e cumprimento da expectativa do cliente, pode-se argumentar que a construção está décadas atrás de outras indústrias, como aeroespacial, automotiva e de construção naval. Os princípios fundamentais da construção não mudaram por centenas de anos; os romanos inventaram o concreto em torno de 100 aC e 2200 anos depois ainda o estamos usando como o principal material de construção e, de certa maneira, controlando sua colocação com a mão humana. Segundo BUSWELL (2007), as tecnologias de construção estão limitando a imaginação e, portanto, sufocando a inovação. Novos métodos de produção e montagem frequentemente resultam em afastar os “ofícios manuais” do canteiro de obras, em vez de desenvolver novos processos radicais. Muitas vezes, os requisitos legais e de aquisição que permitem a construção funcionam como um desincentivo para tentar abordagens diferentes.

A competição por projetos concentra-se na questão de o lance mais barato vencer e existe pouco tempo, dinheiro ou energia para investir em inovação. A indústria também é conservadora e qualquer inovação só gera mais mudanças incrementais. Onde mudanças e melhorias são feitas, a natureza transitória do trabalho e da força de trabalho muitas vezes significa que essas melhorias não são adotadas em novos projetos como em um ambiente de fabricação mais “estático”. Além disso, a indústria provavelmente enfrentará crescentes

pressões decorrentes do desenvolvimento de questões ambientais. À medida que a atividade humana avança ainda mais, a construção precisará responder a desafios únicos em ambientes cada vez mais agressivos. Esta resposta às questões ambientais será menos penosa com novos materiais e novas soluções para os edifícios.

A mecanização e a robótica investigaram amplamente a automação dos processos, e mostraram que assim, oferecem um grande afastamento dos métodos convencionais de construção. A criação de ambientes de ‘fábricas in loco’ em larga escala foi demonstrada por várias construções, como por exemplo, a do edifício da Corporação Shimizu (BUSWELL et al., 2007).

## 4.2 FABRICAÇÃO DIGITAL

Fabricação Rápida (*Rapid Manufacturing*), Prototipagem Rápida (*Rapid Prototyping*), Fabricação de Forma livre Sólida (*Solid Freeform Fabrication*), Tecnologias de Manufatura Aditiva (*Additive Manufacturing Technologies*), todas referem-se à mesma família de processos. Em termos gerais, todos esses processos produzem componentes adicionando ou construindo material para formar um objeto. O processo

é, portanto, aditivo. Esses processos contrastam com os métodos tradicionais, que são: subtrativos, começando com um bloco e usinando o material que não é necessário; ou formativo, modelando ou moldando o material em um molde.

Esses métodos foram desenvolvidos originalmente para produzir rapidamente modelos de protótipos. O nome *Rapid Prototyping* (Prototipagem Rápida) descreve a economia de tempo associada à negação do modelo construído manualmente. *Rapid Manufacturing* (Manufatura Rápida) é o termo aplicado quando as máquinas de Prototipagem Rápida são usadas para produzir peças de uso final diretamente. Nos EUA, *Solid Freeform Fabrication* é o termo preferido para Prototipagem Rápida ou Fabricação Rápida.

Todos esses processos funcionam com princípios semelhantes. Um modelo 3D sólido do componente desejado é criado em algum *software* de desenho tridimensional. O modelo é então traduzido em “*STL*”, um formato de dados padrão que pode ser usado pela maioria das máquinas de *Rapid Manufacturing*. Isso “fragmenta” a superfície do objeto que pode ser “fatiado” em *layers* para que a peça possa ser construída sequencialmente. Toda essa sequência de informações numéricas é então enviada para a máquina, a qual controla a localização de uma cabeça de impressão. A máquina esquenta o material a ser extrudado (como filamento termoplástico,

por exemplo) e controla a cabeça da impressora, que deposita aos poucos o material em finas camadas para formar os *layers* 2D. A máquina reconstrói o objeto 3D unindo sequencialmente essas camadas de material 2D. Um ponto importante a ser notado é que, ao contrário do nome, a *Rapid Manufacturing* não está preocupada com a aceleração do processo de fabricação. Esse processo simplesmente elimina a necessidade de ferramentas e reduz o tempo de fabricação. Além disso, uma das principais vantagens dessa abordagem é também a liberdade geométrica quase ilimitada, o que permite a customização e/ou personalização do produto sem nenhum custo extra. Atualmente esse processo vem sendo utilizado até mesmo na medicina, como por exemplo na fabricação de moldes plásticos para a correção e alinhamento de dentes (BUSWELL et al., 2007). O produto se utiliza da estereolitografia para produzir os formatos dos alinhadores de plástico. Cada alinhador é único e os processos de Fabricação Rápida são a única maneira em que esse nível de personalização é viável.

No setor de manufatura, o uso de robôs industriais e máquinas de controle numérico direto na automação se deu na década de 1960. O desenvolvimento de microprocessadores permitiu o controle numérico computadorizado nos anos 1970 e a revolução dos computadores nos anos 1980 trouxe um software de projeto assistido por computador, oferecendo ao projetista o poder de manipular a geometria. Os desenvolvimentos

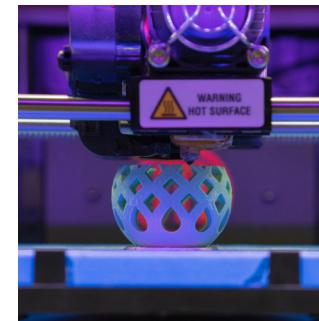


Figura 135: Máquina de impressão 3D (processo aditivo).



Figura 136: Máquina de fresagem CNC (processo subtrativo).



Figura 137: Máquina de corte a jato de água (processo subtrativo).

### Impressão SLA

A primeira impressora 3D comercial foi baseada em uma técnica denominada estereolitografia, criada por Charles Hull em 1986, também conhecida por SLA (Stereo Lithography Apparatus - aparato para estereolitografia em tradução livre).

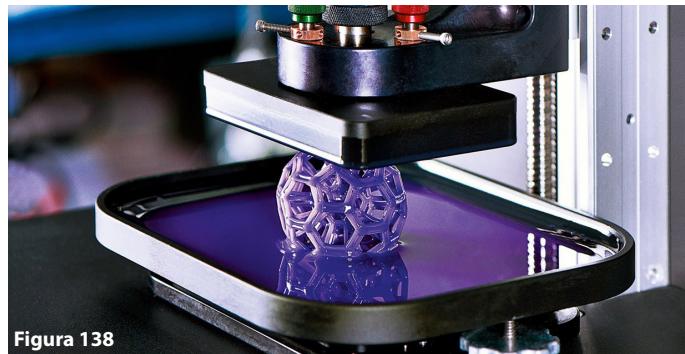


Figura 138

### Impressão SLS

Já a tecnologia de SLS (Sinterização Seletiva a Laser) foi desenvolvida e patenteada pelos Dr. Carl Deckard e Dr. Joe Beaman (Universidade do Texas, 1980) com patrocínio da DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency).



Figura 139

### Impressão FDM

A tecnologia FDM (Fused Deposition Modeling) foi desenvolvida por Scott Crump no final dos anos 1980 e começou a ser comercializada nos anos 1990 pela empresa Stratasys.

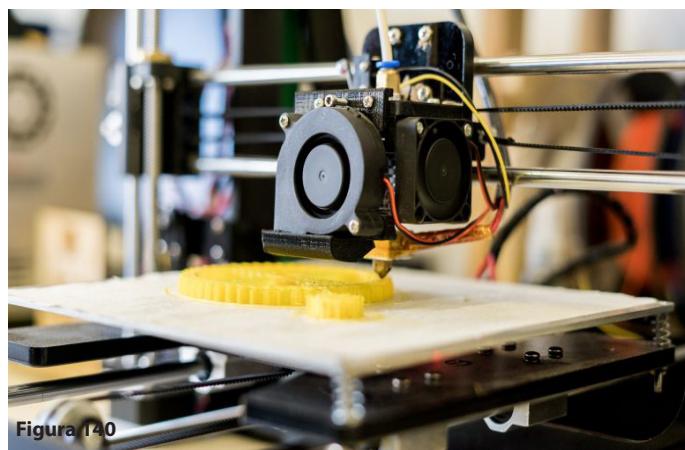


Figura 140

Nesse processo de impressão, sucessivas camadas de resina fotopolimerizável são solidificadas (curadas) através da utilização de raios ultravioleta (UV) ou lasers. Após cada camada curada, a cama de impressão é levemente rebaixada e outra camada é desenhada e solidificada pela fonte de luz UV/laser. Este processo é repetido várias vezes até que o objeto esteja completo.

Esta tecnologia é amplamente utilizada na indústria de joalheria devido ao seu alto grau de precisão e acabamento superficial, sendo uma das tecnologias mais caras atualmente. Objetos impressos não podem ser utilizados diretamente uma vez que necessitam de pós-cura para reforçar sua estrutura.

Nessa tecnologia, um computador controla pulsos de laser que são direcionados para uma plataforma posicionada abaixo do mesmo. Este laser desenha a seção transversal da peça a ser impressa em micropartículas de plástico, cerâmica ou vidro que estão acima da plataforma. O laser aquece o pó até a temperatura pouco abaixo/acima do seu ponto de fusão, fazendo com que as partículas se solidifiquem numa forma sólida. A plataforma é então rebaixada e um rolete repõe o pó para que a próxima camada seja sinterizada. O processo é então repetido até que a peça seja formada.

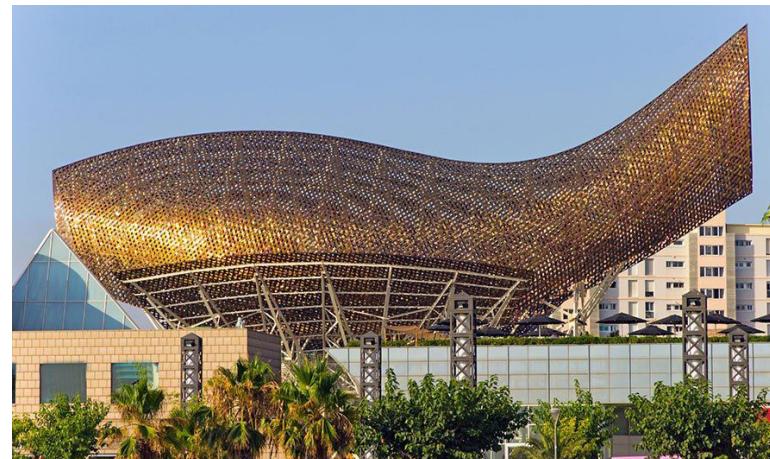
Peças produzidas com a tecnologia SLS são amplamente utilizadas em partes que necessitam de encaixes rápidos. Essas máquinas não podem ser utilizadas em ambiente de escritório e devem ser instaladas em ambiente especial.

Neste processo, o objeto 3D é criado a partir de um filamento termoplástico que é aquecido e extrudado por um bico que se move por uma plataforma nas direções X e Y, desenhando a seção transversal da peça sobre a plataforma. Quando esta fina camada de plástico resfria e endurece, ela imediatamente adere à camada abaixo. Quando uma camada é finalizada, a plataforma é levemente abaixada, habilitando o caminho para a próxima camada de plástico.

Esta é a tecnologia de impressão 3D mais utilizada e acessível. Como utiliza de termoplásticos com um grau de engenharia, as peças impressas são mais fortes, duráveis e amplamente utilizadas em aplicações de teste funcionais. Pode-se imprimir objetos com materiais como ABS, polycarbonato, nylon e muitos outros. Devido a sua simplicidade de uso, estas máquinas são amigáveis para uso em escritórios, podendo ser instaladas em escritório de design.<sup>18</sup>

em CAD (*Computer Aided Design* ou Desenho Assistido por Computador) e CNC (Controle Numérico Computadorizado) também forneceram um processo comercial de *Rapid Manufacturing* (Estereolitografia) em 1987. Na década de 1990, a modelagem paramétrica avançada foi introduzida e a indústria desfrutou do desenvolvimento da integração de ferramentas de projeto e análise e controle de máquinas, além dos avanços em processos e materiais de Fabricação Rápida.

Estas revoluções do setor aeroespacial e automotivo são agora uma característica crescente da indústria de construção atual. Talvez um dos desenvolvimentos mais marcantes seja a introdução da Fabricação Digital juntamente com a aplicação de técnicas CAD (*Computer Aided Design* ou Desenho Assistido por Computador)/CAM (*Computer Aided Manufacturing* ou Manufatura Assistida por Computador) de grande escala para a criação de componentes estruturais e fachadas de edifícios. Um dos primeiros exemplos foi a Vila Olímpica em Barcelona, Espanha, construída entre 1989-1992. O projeto escultural foi feito por Frank Gehry (Gehry Partners, Los Angeles, EUA) e construído por Permasteelisa (Vittorio Veneto, Itália) foi projetado no CATIA, um software de modelagem sólida desenvolvido inicialmente para a indústria aeroespacial. O CATIA é um programa que baseia a modelagem na curva de Bézier, o que permite a planificação de superfícies curvas com precisão. Dessa forma, a fabricação das peças metálicas



**Figura 141:** Projeto escultural em forma de peixe de Frank Gehry.

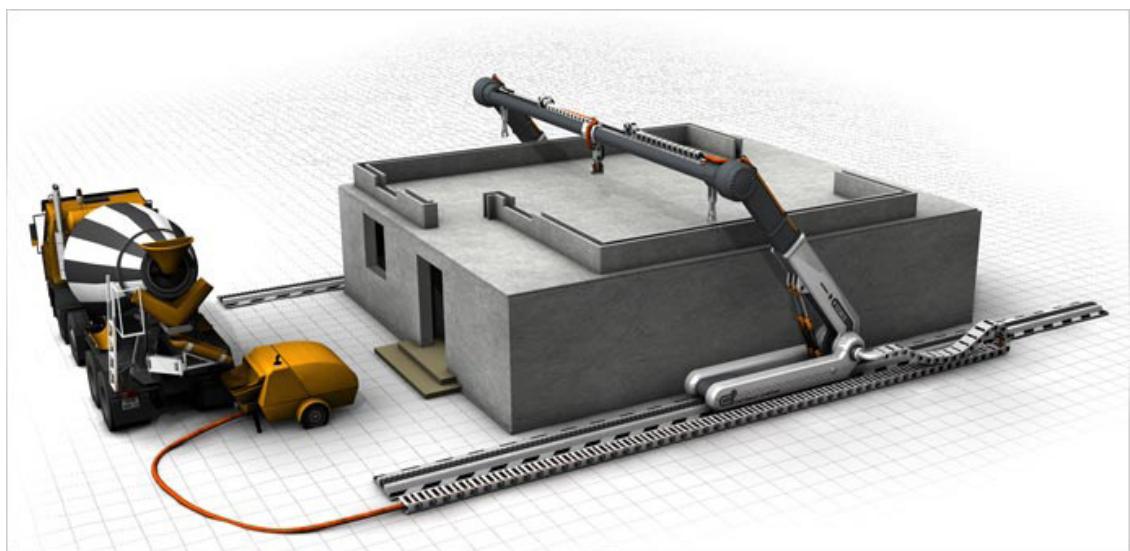
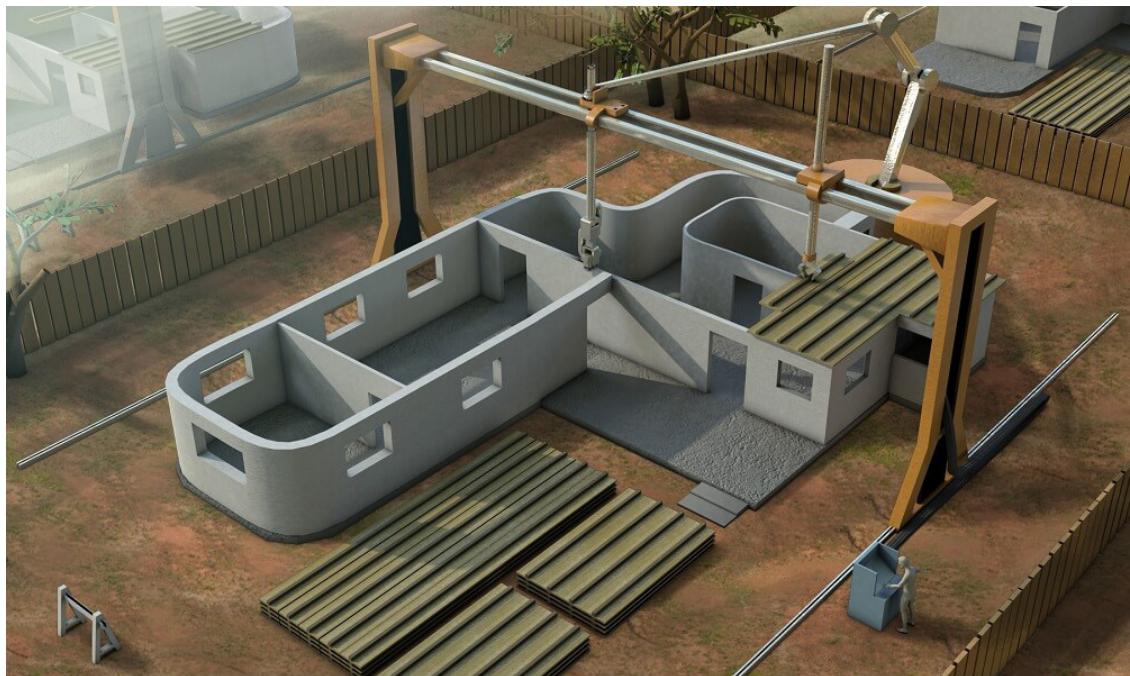
da escultura de Gehry foi realizada a partir dos desenhos do modelo tridimensional digital, que do computador saiam diretamente para a linha de produção. Esta parceria produziu muitos outros projetos, como o Museu Guggenheim em Bilbao, Espanha (1997).

Uma das aplicações mais comuns da fabricação CNC em construção são os processos de corte usados para formar peças de aço estrutural, bem como os processos de usinagem empregados para criar grandes moldes a partir de poliestireno para moldagem de concreto ou de vidro. Frank Gehry se utilizou desse processo para fazer as Zollhoff Towers, em Dusseldorf na Alemanha. Atualmente, a construção civil está usando CAD/CAM para explorar cada vez mais as possibilidades arquitetônicas e todas as indicações são de que uma nova era do projeto digital está chegando. O emprego

**18** As informações do quadro *Tipos de Impressão 3D* foram extraídas de <https://www.astroscience3d.com/single-post/2017/05/07/SLA-vs-SLS-vs-FDM> (acesso em 05/05/2019).



**Figura 142:** Zollhoff Towers de Frank Gehry, em Dusseldorf, na Alemanha.



Figuras 143 e 144: Ilustrações do Sistema Construtivo “Contour Crafting” baseado na extrusão de material cimentício.

dos robôs vem crescendo no setor da construção civil há quase dez anos. Isso se deve principalmente ao desenvolvimento de novas tecnologias computacionais, que juntamente com sistemas de inteligência artificial, permitem a utilização destes equipamentos de forma cada vez mais integrada e segura.

Recentemente, vêm se estudando a utilização de máquinas de Fabricação Rápida para a impressão em escala real de partes da obra. Existem muitas pesquisas a respeito da manufatura aditiva utilizando materiais cimentícios, dentre elas destacam-se duas: a *Contour Crafting*, realizada pela *Univerty of Southern California*; e a *Freeform Construction*, estudada pela *Loughborough University*, no Reino Unido. A primeira pesquisa consiste no estudo de uma tecnologia de fabricação aditiva que utiliza o controle computadorizado para criar superfícies de forma livre. A construção da estrutura ou até da edificação de maneira integral, é viabilizada por um pórtico automatizado que se conecta a um equipamento de extrusão de material cimentício. Segundo BUSWELL et al. (2007):

Mais recentemente, o *Contour Crafting* demonstrou produzir estruturas grandes (maiores que 1m). Em essência, o processo gera um substituto para a parede estrutural de blocos de concreto [...]. O processo expulsa a “pele” interna e externa da parede para formar um obturador permanente que é então preenchido com um composto a granel semelhante ao concreto. Utilizando materiais

tixotrópicos com propriedades de cura rápida e características de baixo encolhimento, as camadas consecutivas da parede podem ser rapidamente construídas. O processo de deposição de material de parede é uma operação de dois estágios. Para melhorar o acabamento das superfícies visíveis, o material do obturador é moldado por um manipulador secundário, ou espátula, quando é extrudado. A combinação de processos resulta em um sistema que pode depositar (relativamente) grandes quantidades de material, mantendo um acabamento superficial de alta qualidade. Esta tecnologia está atualmente liderando o campo em termos de uma nova abordagem demonstrada para automatizar o processo de construção.<sup>19</sup>

No entanto, o pesquisador líder (KHOSHNEVIS, 2006) explica que, embora a sua técnica seja comprovadamente plausível, hoje é inimaginável pensar na viabilidade desse sistema construtivo, pois ele requer um avanço no desenvolvimento e integração da indústria da construção e de todos os seus atores.

A segunda pesquisa, intitulada *Freeform Construction*, também investiga a Fabricação Digital através de um pórtico mecânico computadorizado para a deposição das camadas de matriz cimentícia. A *Freeform Construction* conta com o apoio do escritório de arquitetura *Foster & Partners* e também com o escritório especializado em projetos estruturais de alta complexidade *Buro Happold*. Em 2014, foi firmado um acordo de cooperação entre a *Loughborough University*

e um consórcio de empresas, liderado pela empresa *Skanska*. O objetivo da parceria é desenvolver o uso da impressão 3D em concreto, bem como o primeiro robô comercial do mundo com essa finalidade. Segundo CAMPOS; LOPES (2017):

A principal diferença entre as duas pesquisas (“*Contour Crafting*” e “*Freeform Construction*”) é o fato de os ingleses partirem do princípio do uso da técnica para a execução de componentes construtivos, e não da edificação inteira, o que parece ser bem mais razoável.

Essa abordagem, ao que tudo indica, oferece algumas vantagens importantes a serem consideradas, pois permite a integração dos componentes a que dá origem com os demais sistemas construtivos já existentes no mercado, sem a necessidade de grandes adaptações na cadeia produtiva da construção civil, particularmente a pré-fabricação em concreto. Além disso, permite ao projetista uma liberdade quase que irrestrita na criação de formas complexas, uma vez que o sistema também prescinde da utilização de moldes para a execução dos elementos pré-fabricados, possibilitando a concepção de um sistema construtivo aberto, passível de integração com os demais existentes.<sup>20</sup>

Um projeto que se utilizou da Fabricação Digital dessa maneira foi o desenvolvido pela empresa chinesa *WinSun*. Trata-se de um conjunto de casas que foram construídas a partir da impressão em concreto de grandes painéis portantes pré-fabricados, que, ao mesmo tempo,

**19** BUSWELL, R.A. ... et al, 2007. *Freeform construction: mega-scale rapid manufacturing for construction*. *Automation in construction*, 16 (2), pp. 224-231.

**20** FONSECA DE CAMPOS, P.E.; LOPES, E. *A fabricação digital aplicada à construção industrializada: estado da arte e perspectivas de desenvolvimento*. *Concreto & Construção*, v. 85, p. 22-29, 2017. Disponível em: [https://issuu.com/pirajua0/docs/revista\\_concreto\\_85](https://issuu.com/pirajua0/docs/revista_concreto_85) (acesso em 10/04/2019)

funcionam como estrutura e vedação. Dessa maneira, com a produção em uma instalação fabril e a montagem posterior no local da obra, a impressão 3D foi utilizada para fabricar componentes construtivos e partes menores da edificação, possibilitando uma grande flexibilização de dimensões e formatos das peças.



**Figuras 145, 146 e 147:** Edifício executado com tecnologia de impressão 3D em concreto pela WinSun, Parque Industrial de Suzhou, na China. Esse é o edifício mais alto do mundo construído através dessa tecnologia.

### 4.3 DO REAL À ESCALA REDUZIDA

Trazendo a definição de pré-fabricado de REVEL (1973), que significa “*fabricação de certo elemento antes do seu posicionamento final na obra*”, para o universo dos modelos em escala reduzida, pode-se fazer um paralelo com os estudos de caso deste trabalho mencionados anteriormente no capítulo 3. Assim como os elementos pré-fabricados para a construção civil, as peças dos sistemas Mola, Arckit e LEGO também são componentes fabricados antes do seu posicionamento final no modelo.

Inicialmente, os sistemas Mola e Arckit podem ser considerados Sistemas de Ciclo Fechado, pois atualmente não existem outros produtos semelhantes e compatíveis no mercado. O LEGO, no entanto, por ter uma história mais longa e, portanto, mais anos de estudos e desenvolvimento, fez surgir outras marcas no mercado com a mesma modulação, encaixe e formato de peças. Alguns dos nomes mais famosos que possuem sistemas compatíveis com os bloquinhos LEGO são as marcas *Mega Bloks* da *Mega Brands*, *Fan Fun*, *Mega Construx*, *Bee Blocks*, *DM Blocks*, *Cogo*, *Inblox*, *ClickIt* da *Play Cis*, *Ausini*, *Banbao*, além de muitas outras. Os tijolinhos dessas marcas são completamente compatíveis com o sistema LEGO, diferenciando-se deste somente pela qualidade dos componentes.<sup>21</sup> Desta forma, o sistema LEGO pode ser considerado um Sistema de Ciclo Aberto.

Da mesma maneira que os elementos pré-fabricados, pode-se fazer também uma correlação da escala real com a escala reduzida na questão da Fabricação Digital. Apesar da prototipagem rápida ter surgido para a confecção do modelo como um todo, é possível, – assim como na pesquisa da *Loughborough University, Freeform Construction* – utilizá-la apenas para a produção de partes específicas do modelo. Se os sistemas pré-fabricados – neste caso os feitos para escala reduzida – forem utilizados na construção da maior parte do modelo e a impressão 3D for utilizada apenas como complemento das partes específicas, além de estar trabalhando com um Sistema Flexibilizado, o projeto evitará desperdícios.

**21** Muitas vezes ao usar os *bricks* de outra marca com os tijolinhos da LEGO ocorre de as peças não se fixarem tão bem quanto as peças do próprio sistema. Apesar desse problema de fixação, os componentes de todos os sistemas mencionados são encaixáveis entre si.

**22** As informações do quadro *A não exclusividade da LEGO* foram extraídas de <http://ribeiro-dasilva.pro.br/blogdobigus-digusprimus2008novembro14.html> (acesso em 08/05/2019).

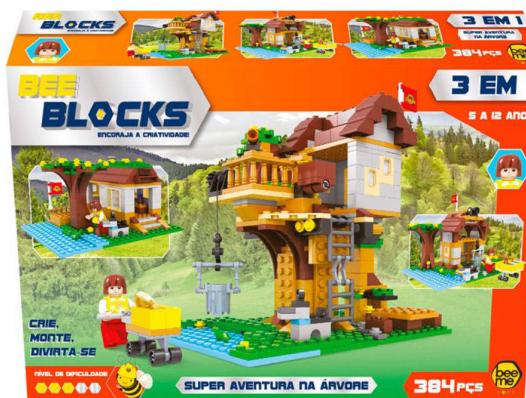
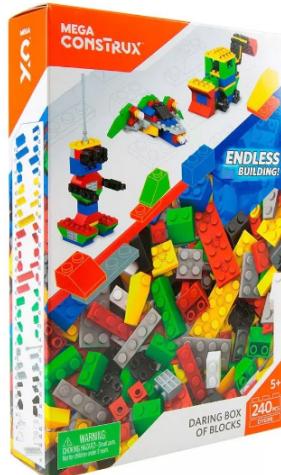


Figura 148: Kit de componentes da marca Bee Blocks.



Figura 149: Kit de componentes da marca DM Blocks.



**Figura 150:** Kit de componentes da marca *Mega Construx*.



**Figuras 151 e 152:** Kits de componentes da marca *Mega Bloks*, da empresa canadense *Mega Brands*.



**Figura 153:** Kit de componentes da marca *Tand*.



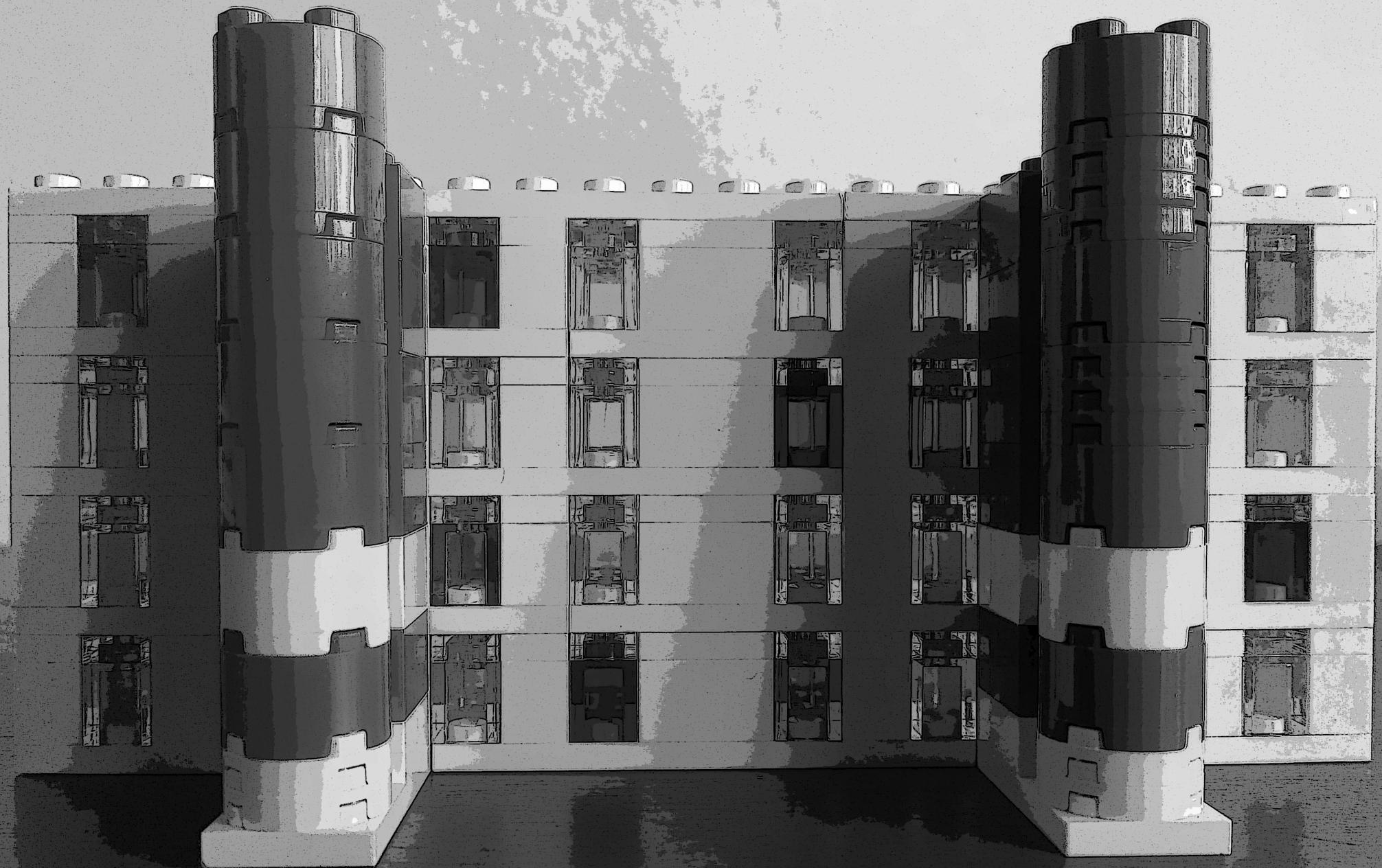
**Figura 154:** Kit de componentes da marca *Fan Fun*. Esta marca até ressalta a compatibilidade de suas peças com os blocos de outras marcas.

## A NÃO EXCLUSIVIDADE DA LEGO

Em 1999 a LEGO tentou registrar o formato de seu bloco como marca na Europa, e dois dias depois, a *Mega Brands* apresentou objeções. Em 2004, a OHIM, que é a agência oficial da União Européia para o registro de marcas com validade em todos os 27 países da União, negou o registro. A LEGO apelou de tal decisão, cujo fundamento residiu no argumento de que não poderia ser concedida a proteção como marca para um formato que exercesse funções técnicas, justamente porque isso decorreria em monopólio sobre tal função. A LEGO alegou ainda, que só deveria ser vedado o registro como marca no caso em que fosse criado um monopólio sobre uma solução técnica. A Corte (*Court of First Instance - CFI - of the European Communities*), contudo, discordou, aduzindo que o formato poderia ter o registro vedado como marca, ainda que a função referida pudesse ser exercida por outros meios, e com a utilização de outras formas.

Formatos podem, sim, receber registro como marca (*trade mark*). Todavia, é preciso estar atento para o fato de que a marca deve consistir em um sinal distintivo, e não em um formato necessário para o funcionamento do produto. Neste último caso, se o formato é que determina o funcionamento, eventual proteção deverá ocorrer através de patente (de invenção, de modelo de utilidade), e não de registro de marca. Até mesmo porque os prazos de vigência dos direitos de exploração exclusiva das patentes são relativamente curtos, enquanto a proteção de uma qualidade funcional através da marca poderia resultar em um “perpétuo” monopólio.

Atualmente existem muitas marcas no mercado com componentes de formatos idênticos aos *bricks* da LEGO, e inclusive compatíveis com os tijolinhos. A única característica que diferencia os componentes da LEGO das outras marcas é a qualidade muito superior de sua fabricação, material e encaixes.<sup>22</sup>



# 5. EXPERIMENTO PROJETUAL

*Acredito que as coisas podem ser feitas de  
outra maneira e que vale a pena tentar.*

– Zaha Hadid

## 5. EXPERIMENTO PROJETUAL

Para exemplificar as ideias e teorias propostas neste trabalho, optou-se pela realização de um *Experimento Projetal*. O principal objetivo é testar se os conjuntos de peças pré-fabricadas em escala reduzida facilitam a construção do modelo físico, economizam tempo e reduzem o desperdício de materiais. Além disso, através do experimento, é possível analisar as dificuldades e problemas encontrados ao longo do processo de criação do modelo.

Como já mencionado anteriormente ao longo deste trabalho, a proposta é investigar os modelos físicos de estudo, ou seja, aqueles desenvolvidos para auxiliar o projetista no início do projeto. Portanto, o experimento refere-se à análise do plano de massas, de volumetrias, de espaços cheios e vazios, e do conceito do projeto. O experimento foi realizado em 3 etapas:

**1<sup>a</sup> Etapa:** Escolha do projeto a ser representado em escala reduzida. Foi adotado como referência um projeto de habitação social para o programa Minha Casa Minha Vida, do arquiteto João Filgueiras Lima (Lelé).

**2<sup>a</sup> Etapa:** Escolha do sistema construtivo a ser utilizado na confecção do modelo. Optou-se pelo uso de um dos estudos de caso deste TFG, o LEGO.

**3<sup>a</sup> Etapa:** Complemento de partes específicas do modelo com o uso da Fabricação Digital. Os componentes singulares foram modelados no software *Fusion* da Autodesk, e impressos em máquinas de impressão 3D particulares e de *FabLabs*.

### 5.1 PROJETOS PERNAMBUÉS E CAJAZEIRAS

Em 2011, João Filgueiras Lima, popularmente conhecido como Lelé, desenvolveu para o programa de habitação social Minha Casa Minha Vida, o projeto para os bairros de Pernambués e Cajazeiras localizados em regiões pobres de Salvador, Bahia. Juntamente com a sua equipe do IBTH (Instituto Brasileiro de Tecnologia do Habitat)<sup>23</sup>, o arquiteto trabalhou a partir de suas experiências anteriores com foco nas questões de interesse social e no desenvolvimento de estruturas pré-fabricadas em argamassa armada.

Com um programa simples, mas muito versátil, Lelé conseguiu superar as implantações nos terrenos das mais variadas topografias. Na encosta de Pernambués, por exemplo, as precárias construções existentes em palafitas, surgiram como modelo para a própria solução do projeto. Se aproveitando da boa estabilidade das

<sup>23</sup> Instituição sem fins lucrativos criada por Lelé em Salvador, em 2009, cujo principal objetivo é a construção de obras públicas através da pré-fabricação.

Fonte: SILVA, E. L. T. A. *Minha Casa Minha Vida por Lelé. Descompasso entre teoria e prática*. Dissertação (Mestrado da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. Orientadora: Anália Maria Marinho de Carvalho Amorim. São Paulo, 2017. 158f.

encostas de Salvador, fez-se uso da topografia existente, não precisando cortar ou aterrinar o terreno. Convencido de que para responder à altura dos desafios propostos, somente conviria um processo industrializado de qualidade, o arquiteto preferiu seguir na direção da pré-fabricação, onde a montagem manual proposta seria realizada pelos próprios moradores.

Contudo, mesmo atendendo, dentre tantas outras, as exigências de baixo custo através da industrialização, valor estético, facilidade de execução e transferência de tecnologia, “o projeto não teve o repasse de verba necessário para o instituto pois a Caixa Econômica Federal é impossibilitada de fazer tal transferência para instituições sem fins lucrativos” (SILVA, 2017, p.19).

Os dois projetos, tanto o de Cajazeiras quanto o de Pernambués, seguem a mesma modulação e características construtivas, totalmente pré-fabricados em argamassa com estrutura metálica, a serem implantados em locais já urbanizados. Por serem muito semelhantes, adotou-se, neste TFG, o estudo concentrado apenas no projeto de Pernambués, o qual tem o diferencial de possuir um pouco mais de complexidade devido ao maior número de variedades topográficas.

Lelé apresenta dois modelos de unidade para o projeto: edifícios de 4 pavimentos em formato de lâmina (Figura 157) para os locais planos, na cumeada, e casas



Figura 155: Implantação do projeto Cajazeiras.



Figura 156: Implantação do projeto Pernambués.



Figura 157: Tipologia de prédio em lâmina.



Figura 158: Tipologia de casas geminadas.

geminadas de 1 a 4 pavimentos sobre palafitas (Figura 158), para as encostas. O local alto se integra com as partes baixas através de escadarias e bondinhos. Além das unidades habitacionais, a proposta contemplava ainda creche, escola, área de lazer e até a instalação de uma pequena fábrica de argamassa armada, que poderia ser desmontada e transportada para outro local.

Para a montagem dessas unidades geminadas nas encostas, a unidade móvel de produção de argamassa se instalaria no cume do terreno, juntamente com as escadas drenantes e o plano inclinado para a circulação da plataforma elevatória. Através da plataforma os operários conseguiriam se transportar verticalmente durante a montagem das unidades habitacionais.

O modelo da unidade habitacional da casa geminada foi pensado para abrigar quarto, cozinha, área sanitária e área de serviço, podendo-se expandir a unidade até 4 pavimentos, para obter mais quartos, dependendo do tamanho da família. Em uma apresentação feita por Lelé na Escola da Cidade<sup>24</sup>, no dia 24 de maio de 2011, foi exposta também uma opção de planta das casas geminadas em formato trapezoidal. Essa configuração foi criada para que as casas pudessem ser implantadas em posições sinuosas, para poderem se adequar às necessidades topográficas do terreno. Contudo, além das imagens de perspectiva digital (Figuras 159 e 160), não foram publicadas, até agora, essas plantas trapezoidais.



Figuras 159 e 160: Opção de planta das casas geminadas em formato trapezoidal. Essa configuração facilita a implantação em posições sinuosas, onde é necessário se adequar à topografia do terreno.

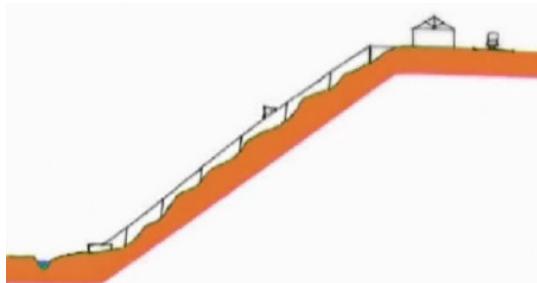
Apesar dos projetos terem sido pensados para duas regiões de favelas em Salvador, a proposta tem uma característica flexível tão forte que possibilita sua implantação em qualquer lugar. O caso de Pernambués permite a percepção dessa possibilidade de implantação em qualquer sítio.

Em Pernambués, o projeto previa 240 apartamentos, divididos em 8 lâminas, e 94 unidades residenciais, com uma população prevista de mais de 1600 habitantes (SILVA, 2017). Apesar das planas serem distintas, tanto o edifício de apartamentos quanto as casas geminadas possuem o mesmo conceito construtivo. Todo o processo de montagem é manual, pois os terrenos não comportam o uso de equipamentos pesados, como gruas, guindastes ou bate-estacas. Dessa forma, as peças são leves (o componente mais pesado não ultrapassa 90 kg) e

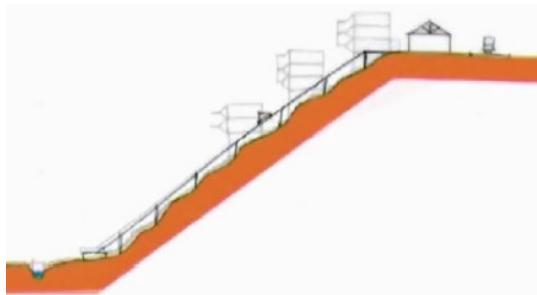
processo de montagem é fácil, podendo ser reproduzido em qualquer tipo de terreno.

A montagem inicia-se com a instalação manual das estruturas metálicas, e nas encostas com o estaqueamento dos pilares de aço para a fundação das casas geminadas. Em seguida tem-se a estrutura mista, de aço e argamassa armada, em que a última se divide em duas fases: a primeira diz respeito à produção das peças de argamassa (painéis de vedação e lajes pré-fabricadas); a segunda é a concretagem que se dá acima dos painéis de laje apoiados no vigamento metálico, unindo as estruturas. Assim como os demais sistemas, o projeto da estrutura metálica foi pensado para se obter a máxima economia. Uma vez que a estrutura está instalada, inicia-se a montagem dos painéis de fechamento e divisórias de argamassa armada.

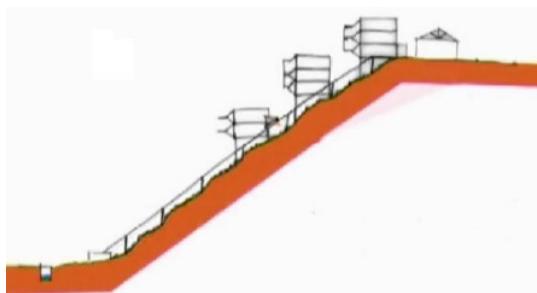
24 Apresentação disponível em: <http://escoladacidade.org/bau/lele-experiencias-na-pre-fabricacao/>



**Figura 161:** Primeira Etapa: instalação da fábrica ou unidade móvel de produção.



**Figura 162:** Segunda Etapa: montagem da estrutura metálica. Desde sua fundação, que se dá pelo estaqueamento dos pilares metálicos e seus contraventamentos. Não há cortes ou qualquer movimentação de terra nessa fase para não desestabilizar a estrutura natural do terreno. A ideia de apoio em palafitas é a mesma utilizadas em construções informais nas encostas.



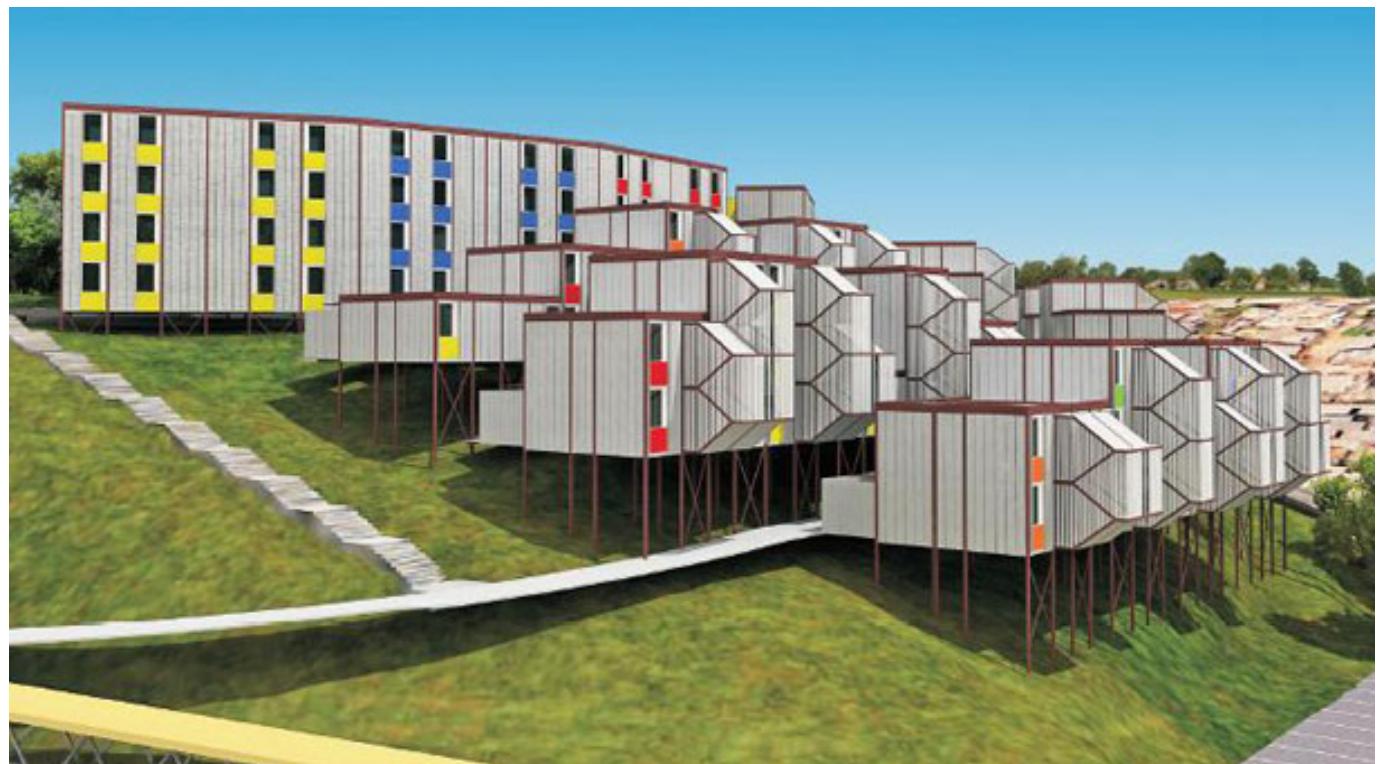
**Figura 163:** Terceira Etapa: finalização da montagem. Há a instalação dos fechamentos das habitações pelo posicionamento junto à estrutura dos painéis de argamassa armada.



**Figura 164:** Perspectiva eletrônica com o bondinho.



**Figura 165:** Perspectiva eletrônica com vista para a cumeada.



**Figura 166:** Perspectiva eletrônica do conjunto construído de casas geminadas da encosta.

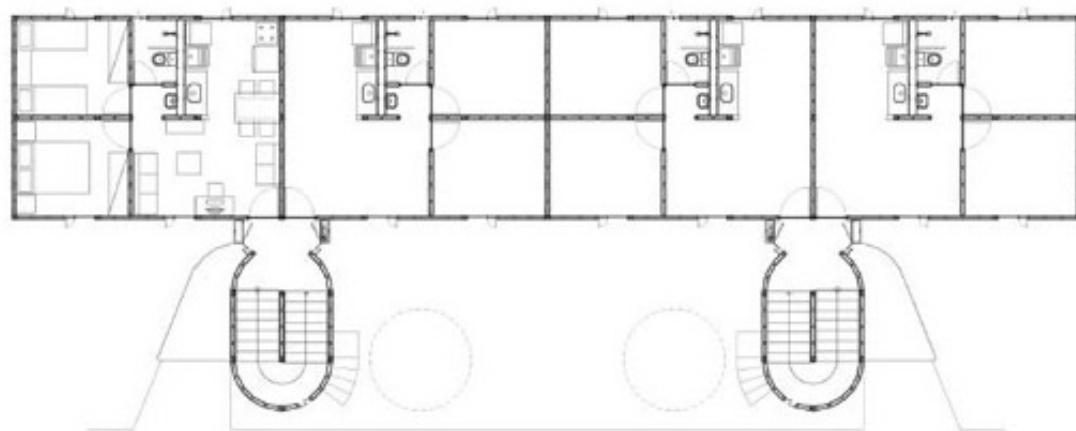


Figura 167: Planta tipo do prédio de apartamentos em lâmina.

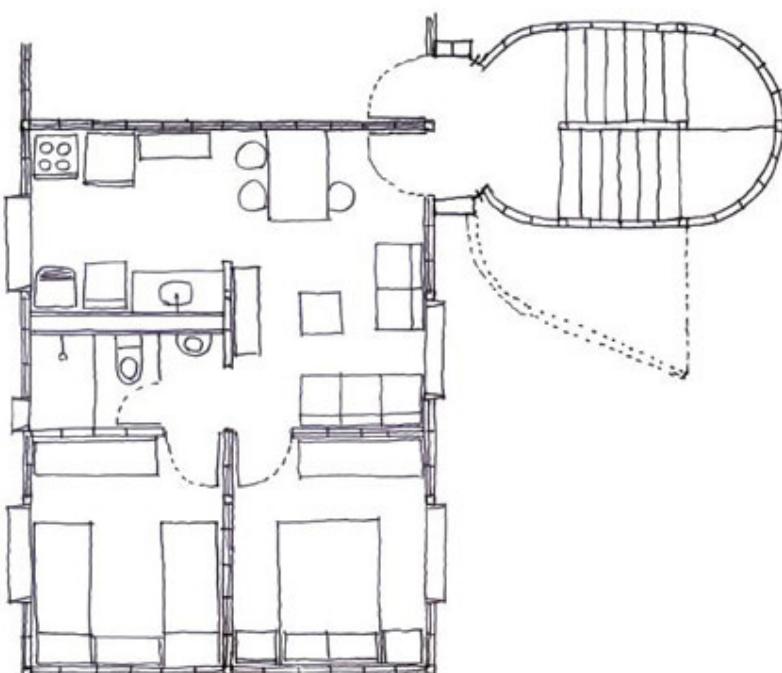


Figura 168: Apartamento: unidade típica - 39,60 m<sup>2</sup>.

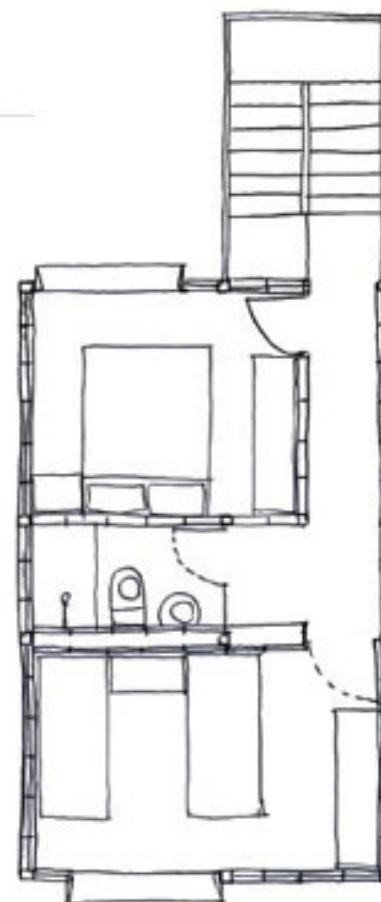
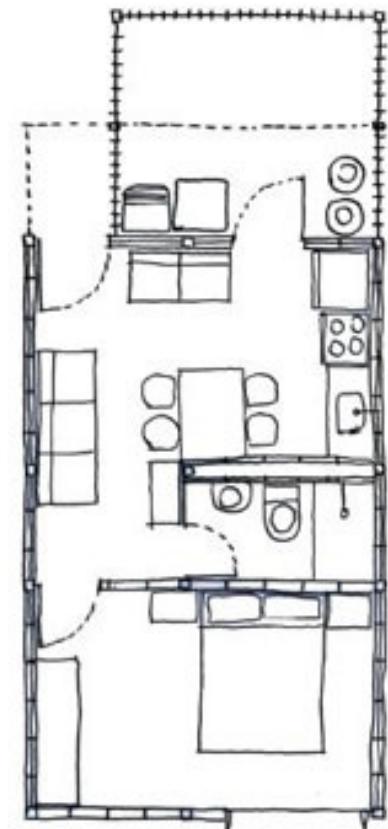


Figura 169: Habitação geminda (esquerda): módulo superior com escada - 34,40 m<sup>2</sup>. Habitação geminda (direita): módulo mínimo com área de serviço - 32,80 m<sup>2</sup>.



<sup>25</sup> Todas as informações contidas no tópico 5.1.1 *Descrição Anteprojeto Pernambués* deste trabalho foram extraídas de SILVA (2017, p. 121).

### 5.1.1 DESCRIÇÃO ANTEPROJETO PERNAMBUÉS<sup>25</sup>

**Descrição Anteprojeto:** Ocupação mista de apartamentos e casas geminadas.

**Apartamentos:** A solução para os apartamentos está baseada no programa funcional estabelecido pela Caixa Econômica Federal com prédios de 4 pavimentos sem elevador e apartamentos econômicos com a área útil de 39,60m<sup>2</sup> (Figuras 167 e 168).

**Habitações Geminadas:** Alternativa inspirada na própria cultura de ocupação existente nas favelas da cidade em que cada unidade se amplia verticalmente para se ajustar a eventuais mudanças do respectivo programa familiar (Figura 169).

#### Características Principais:

- Extensibilidade vertical até 4 pavimentos a partir do módulo mínimo térreo de 32,80m<sup>2</sup> de área de construção (incluindo área de serviço);
- Flexibilidade interna respeitando a posição da parede de instalações;
- Flexibilidade de implantação de acordo com a topografia local;
- Implantação nas encostas através de patamares sucessivos interligados por escadarias drenantes e elevador específico em plano inclinado integrado aos transportes urbanos; módulo de escada de cada unidade em construção independente.

#### Características Gerais da Proposta:

- Área total da urbanização – aproximadamente



Figura 170: Perspectiva eletrônica panorâmica do projeto Pernambués.

3 hectares

- Apartamentos – 240 unidades ( $39,60m^2$  de área útil por unidade)
  - Residências – 94 unidades
  - Módulo mínimo –  $32,80m^2$  (incluindo área de serviço)
  - Módulo superior com escada –  $27,75m^2 + 6,65m^2 = 34,40m^2$
  - Ocupação média adotada – térreo + 1 pavimento =  $67,20m^2$ 
    - Ocupação máxima prevista – térreo + 3 pavimentos =  $136,00m^2$
    - População prevista – 1644 habitantes (548 habitantes por hectare).



**Figura 171:** Perspectiva eletrônica do projeto Pernambués.

### 5.1.2 PERNAMBUÉS NO EXPERIMENTO

Para a representação do projeto de Pernambués através de um modelo físico em escala reduzida, foram selecionadas as duas tipologias propostas por Lelé: a do edifício de apartamentos em lâmina na parte plana do terreno e a das casas geminadas na encosta. Contudo, fragmentou-se a parte dos edifícios de apartamentos em dois segmentos: o linear retilíneo e o segmento trapezoidal.

Portanto, como resultado do experimento houveram os seguintes produtos: um modelo da unidade laminar retilínea de 4 pavimentos, um modelo da unidade laminar trapezoidal de 4 pavimentos e um modelo de um conjunto de unidades das casas geminadas com alturas variando de 1 a 4 pavimentos.



Figuras 172 e 173: Plate 1x1 (esquerda) e brick 1x1 (direita).



Figura 174: 3 plates = 1 brick.

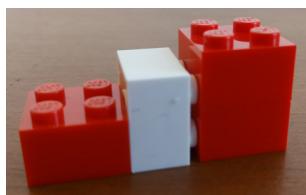


Figura 175: 1 brick vertical  $\neq$  1 brick horizontal  $\neq$  2 bricks vertical.



Figura 176: 1 brick vertical + 2 plates vertical = 1 brick horizontal.

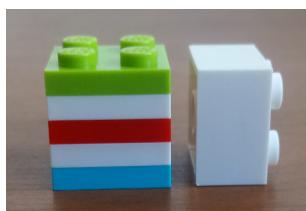


Figura 177: 5 plates vertical = 1 brick horizontal.

## 5.2 SISTEMA CONSTRUTIVO LEGO

O sistema construtivo para confeccionar o modelo físico do experimento projetual proposto foi escolhido dentre os estudos de caso apresentados nesse TFG, e segundo alguns critérios:

- **Econômico:** dentre os 3 estudos de caso, o LEGO é o sistema com o preço mais baixo;
- **Acesso:** o Mola só é vendido por encomenda e o Arckit não é vendido no Brasil, teria que ser importado. Os kits da LEGO podem ser encontrados em qualquer loja de brinquedos ou colecionáveis;
- **Variedade:** além de ter o maior número de formatos diferentes (por volta de 9000), o LEGO é compatível com outras marcas do mercado, podendo ser substituído se necessário. Por enquanto o Mola e o Arckit não oferecem essa possibilidade;
- **Estoque/facilidade:** a autora do trabalho já possuía uma quantidade razoável de peças do sistema LEGO, bem como seus amigos e familiares.

Devido a todos esses critérios, o sistema escolhido para a confecção do modelo foi o LEGO.

### 5.2.1 FACILIDADES E PROBLEMAS

Apesar de muito versátil e flexível, esse sistema apresenta algumas complicações no momento da modelagem. A principal delas talvez seja a escala. Para entender melhor o funcionamento do módulo LEGO, pode-se começar com a unidade. O *brick 1x1* (Figura 172) e o *plate 1x1* (Figura 173) podem ser consideradas as menores unidades base. A principal dificuldade da escala se dá na relação entre a escala vertical e horizontal, as quais são diferentes.

Na escala vertical 1 *brick* de altura equivale à 3 *plates* de altura (Figura 174). Entretanto, o mesmo não se pode dizer da escala horizontal (Figura 175). Para que a escala horizontal se iguale à vertical, a correspondência entre as duas deve ser de 1 *brick* horizontal = 1 *brick* vertical + 2 *plates* vertical (Figura 176) (ou 1 *brick* horizontal = 5 *plates* vertical (Figura 177)).

Entretanto, ao mesmo tempo que essas diferenças de escala podem ser um obstáculo, podem também ser uma vantagem. Como existe equivalência exata entre uma e outra, mesmo que a partir do submódulo, o sistema se torna ainda mais flexível. Então, apesar da construção do modelo ser mais complicada, as possibilidades construtivas aumentam.

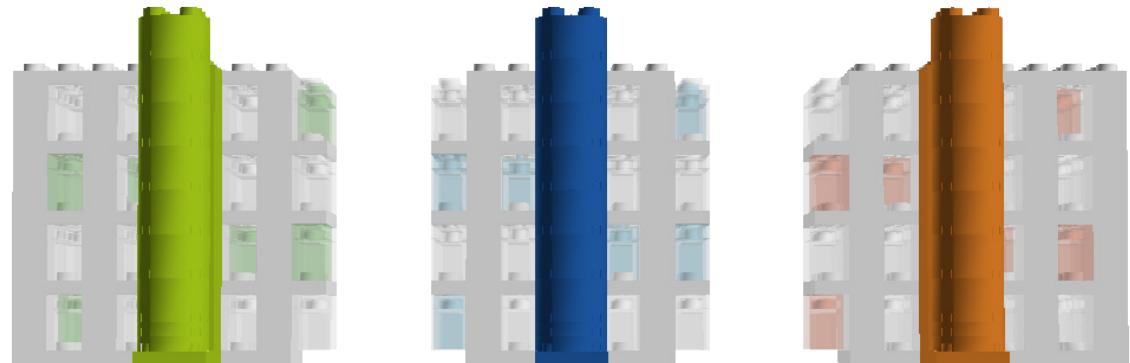
Outra dificuldade – esta comum a todos os estudos de caso – é o limite de peças e formatos disponíveis no estoque pessoal. O número de peças e a disponibilidade dos formatos determinam o tamanho e os detalhes do modelo. Para a realização do modelo do experimento foram necessárias um total de **X** peças, a maior parte pertencente à autora, mas outra foi emprestada de *kits* de amigos.

A despeito dessas questões, a construção com LEGO é muito rápida e fácil. Com o seu simples sistema de encaixe, as peças podem ser conectadas e desencaixadas muito celeremente, permitindo alterações instantâneas.

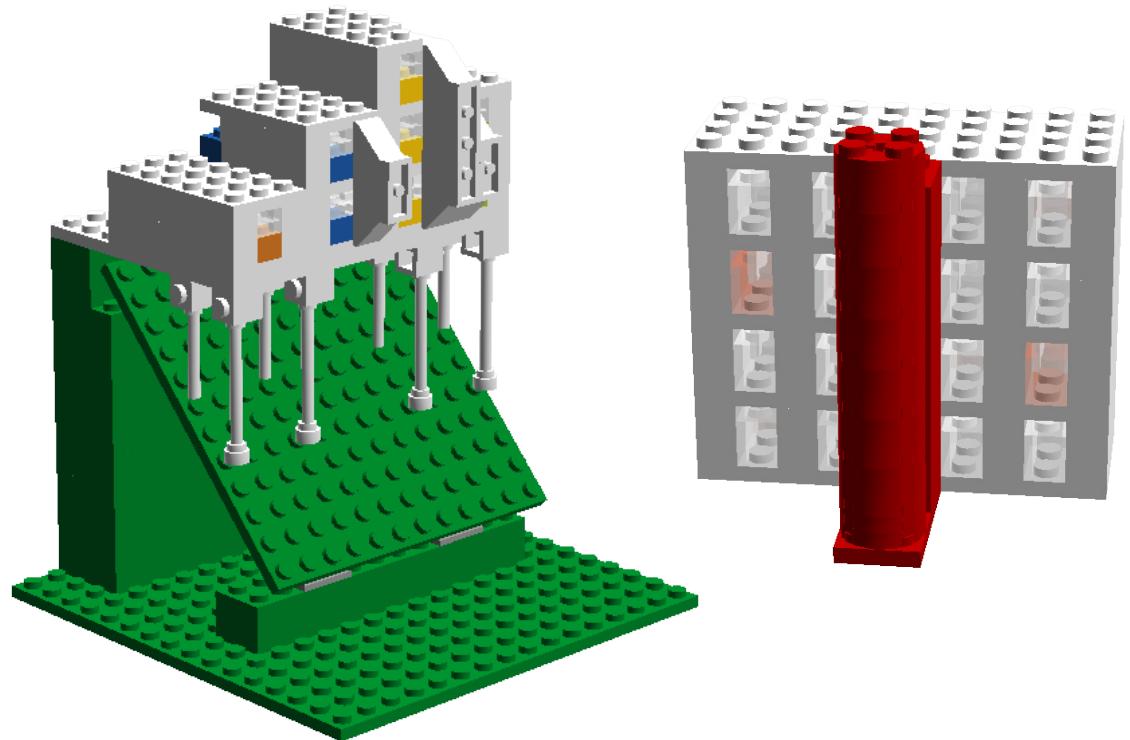
### 5.2.2 A MODELAGEM

A construção do modelo se iniciou com a verificação dos formatos de peças disponíveis, bem como com a escolha da escala. Averiguou-se que, com base nas quantidades e formatos disponíveis, seria possível construir o modelo em uma escala de aproximadamente 1:96. A partir da proporção foi calculada, em unidades (de *brick*), a dimensão da base e da altura dos edifícios.

As Figuras 178, 179 e 180 foram feitas a partir do software *LEGO Digital Designer* (LDD) para exemplificar



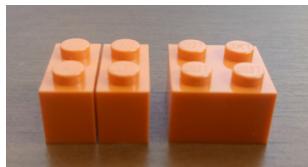
**Figura 178:** Modelo eletrônico dos prédios de apartamento laminares trapezoidais.



**Figuras 179 e 180:** Modelo digital de conjunto de unidades de casas geminadas na encosta (à esquerda). Modelo digital de prédio de apartamentos laminar retilíneo (à direita).



**Figura 181:** 2 bricks 2x1 = 1 brick 1x4.



**Figura 182:** 2 bricks 2x1 = 1 brick 2x2.



**Figura 183:** 3 plates redondos 2x2 = 1 brick redondo 2x2.



**Figura 184:** plates transparentes 3x1 substituindo plates 2x1.



**Figura 185:** na fachada do modelo, não é possível identificar se o plate utilizado é 1x1 ou 2x1.

como os modelos ficariam se houvessem as quantidades e cores de peças necessárias para a montagem do modelo. Como o estoque de peças é limitado, a construção dos modelos se deu com algumas diferenças:

- **Formatos:** em alguns casos onde peças maiores eram necessárias, acabaram sendo trocadas por 2 menores equivalentes, ou por 3 se a diferença era na altura. Nessas situações a modulação do sistema é de grande ajuda.

- **Situação 1:** alguns *bricks* 1x4 e 2x2 foram substituídos por 2 *bricks* 2x1 (Figuras 181 e 182).

- **Situação 2:** alguns *bricks* redondos 2x2 precisaram ser substituídos por 3 *plates* redondos 2x2, pois haviam acabado os *bricks* redondos 2x2 naquela cor (Figura 183).

- **Situação 3:** alguns *plates* 2x1 foram trocados por *plates* 1x1 nas fachadas, pois não haviam mais formatos 2x1 disponíveis (Figuras 184 e 185). Isso só foi viável porque o modelo não necessitava do formato 2x1 para se estruturar. Nesse caso, não é possível notar a diferença esteticamente entre os formatos 2x1 e 1x1, mas para quem constrói o modelo faz toda a diferença.

- **Cores:** certas peças tinham o formato, mas não a cor de que o modelo necessitava.

- **Situação 1:** a parte que representa a torre de circulação vertical nos edifícios laminares precisava de *bricks* redondos e quadrados 2x2 coloridos. Na falta



**Figura 186:** bricks e plates redondos brancos substituíram bricks e plates redondos coloridos.



**Figura 187:** bricks e plates quadrados brancos substituíram bricks e plates quadrados coloridos.



**Figuras 188 e 189:** bricks e plates brancos substituíram bricks e plates verdes.



**Figura 190:** bricks 2x1 coloridos opacos substituíram bricks 1x1 coloridos transparentes.

desses componentes coloridos foram utilizadas peças de mesmo formato, mas na cor branca (Figuras 186 e 187).

- **Situação 2:** o modelo da encosta também precisou se utilizar de peças brancas em sua estrutura, pois não haviam peças verdes disponíveis (Figuras 188 e 189).

- **Situação 3:** um dos modelos que representam o edifício em lâmina, mais especificamente o laranja, não possuía peças coloridas transparentes suficientes para compor as janelas da fachada. Por isso tiveram que ser substituídas por *bricks* de mesmo formato, mas com cor opaca (Figura 190). O mesmo ocorreu na torre de circulação vertical desse modelo, mas de forma

inversa: não haviam *bricks* coloridos opacos, então foram trocados por coloridos transparentes.

Dessa forma, a quantidade de peças utilizada em cada modelo ficou ligeiramente diferente do que o idealizado. As Figuras 196 a 207 assinalam as distinções de formatos, cores e quantidades dos modelos idealizados e dos modelos confeccionados. No total – sem contar com as peças produzidas através da fabricação digital – foram utilizadas 721 peças para a confecção do experimento projetual inteiro, sendo 583 pertencente à autora e 138 emprestadas de amigos. Desse total, 211 peças foram utilizadas para o modelo das casas geminadas; 131 peças para o modelo laminar retilíneo; e 379 peças para os modelos laminares trapezoidais (modelo azul = 133; modelo verde = 117; e modelo laranja = 129).



Figura 191: Modelo de conjunto de unidades de casas geminadas na encosta.



Figura 192: Vista frontal das casas geminadas.



Figura 193: Detalhe das peças articulas que permitiram construir o plano inclinado da encosta.



Figura 194: Modelos de segmentos trapezoidais da tipologia do edifício de apartamentos em lâmina.

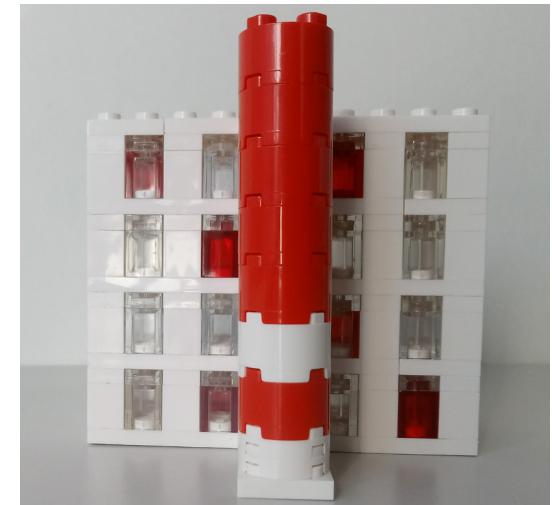
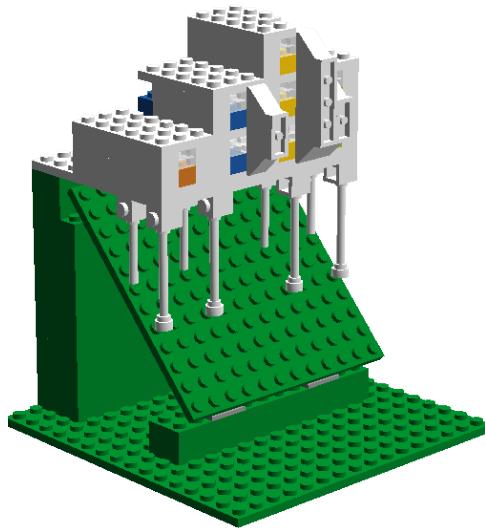


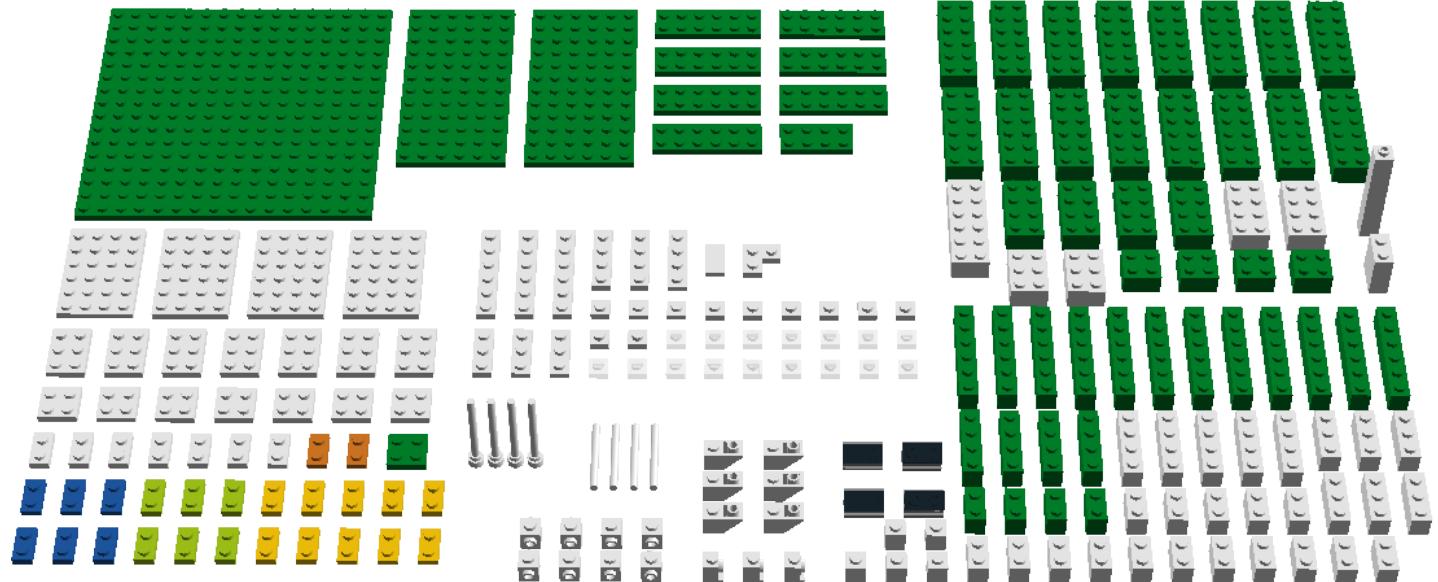
Figura 195: Modelo de segmento retilíneo da tipologia do edifício de apartamentos em lâmina.



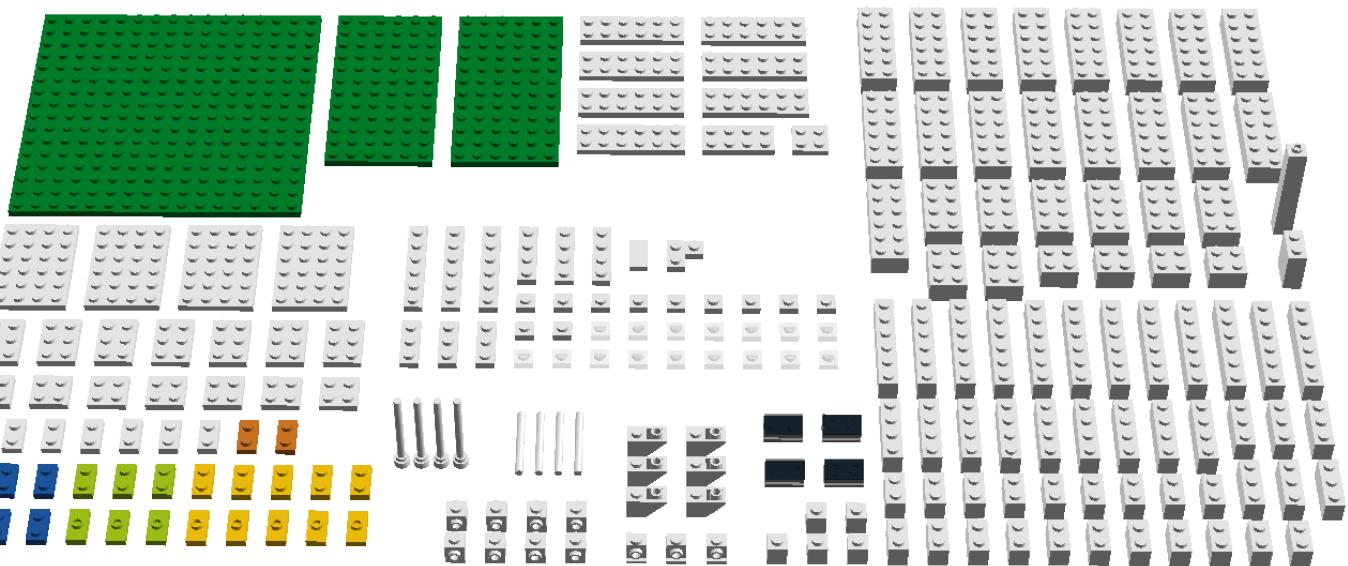
**Figura 196:** Modelo digital idealizado de conjunto de unidades de casas geminadas na encosta.



**Figura 198:** Modelo construído de conjunto de unidades de casas geminadas na encosta.



**Figura 197:** Peças utilizadas para construir o modelo digital idealizado de conjunto de unidades de casas geminadas na encosta.



**Figura 199:** Peças utilizadas para construir o modelo de conjunto de unidades de casas geminadas na encosta.



Figura 200: Modelo digital idealizado de segmentos trapezoidais da tipologia do edifício de apartamentos em lâmina.

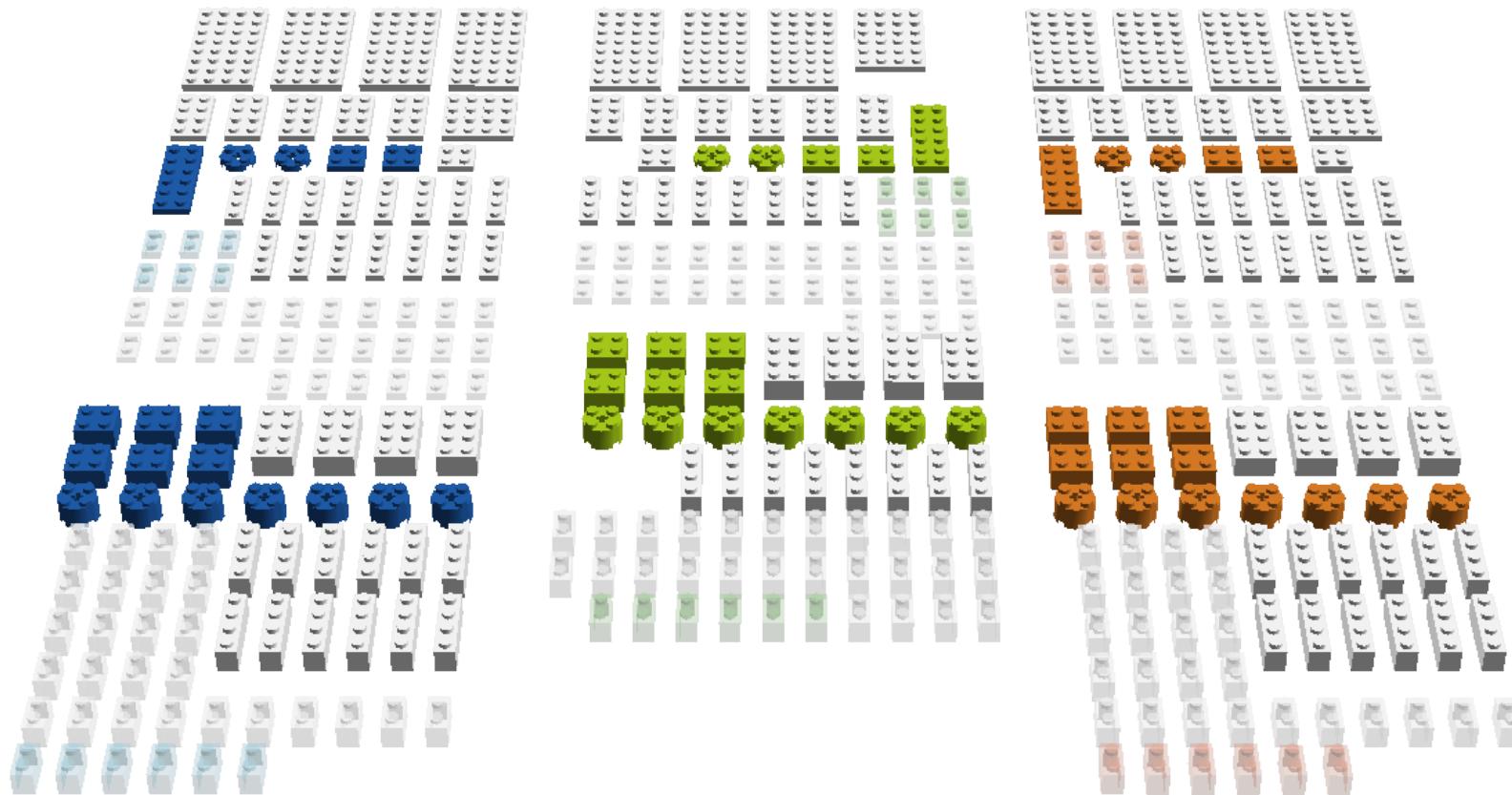
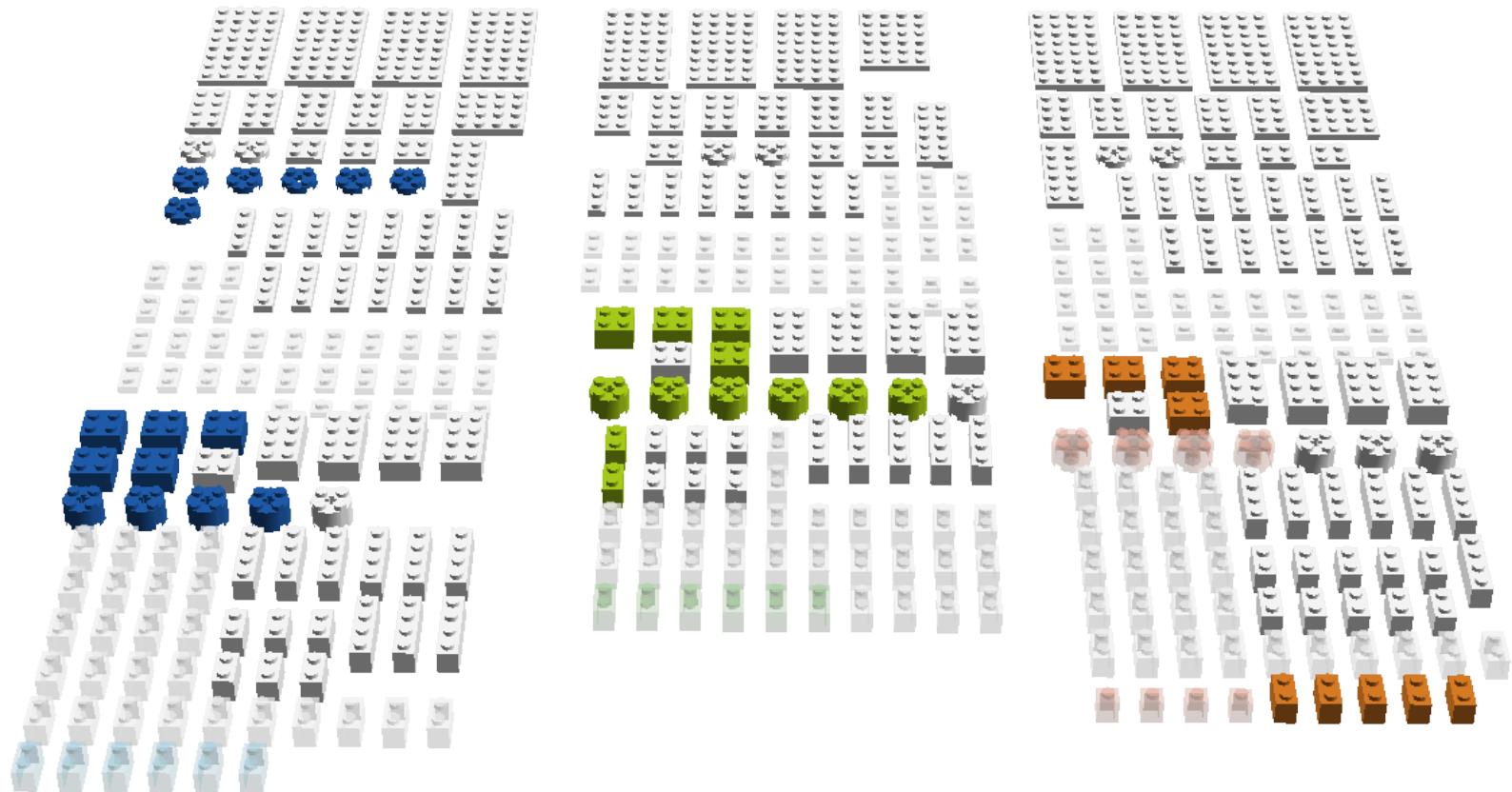


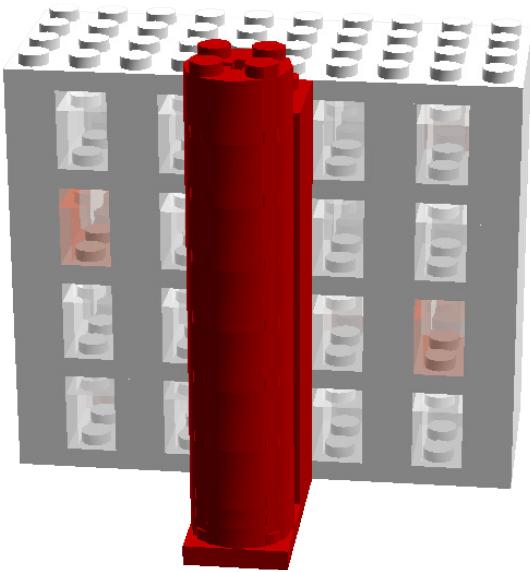
Figura 201: Peças utilizadas para construir o modelo digital idealizado de segmentos trapezoidais da tipologia do edifício de apartamentos em lâmina.



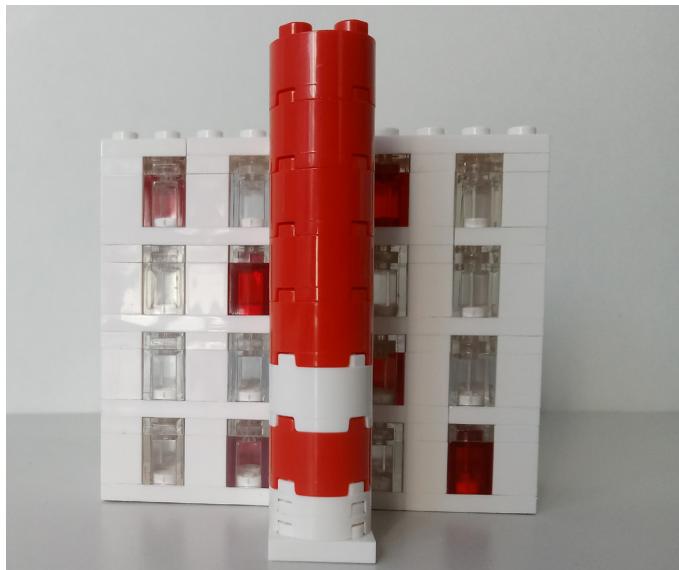
**Figura 202:** Modelo construído de segmentos trapezoidais da tipologia do edifício de apartamentos em lâmina.



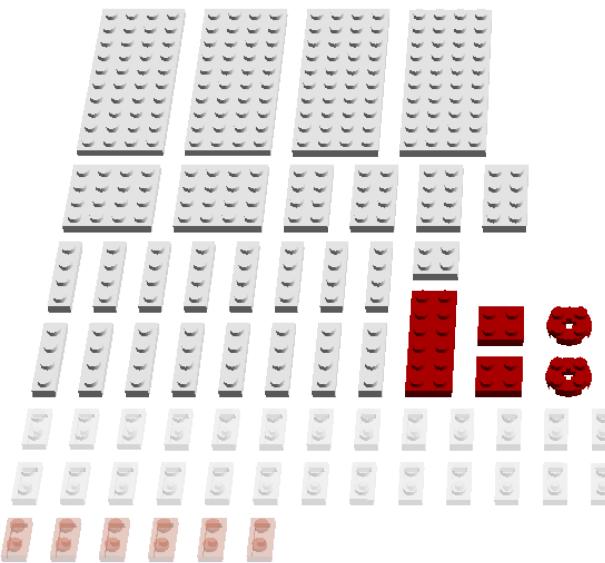
**Figura 203:** Peças utilizadas para construir os modelos de segmentos trapezoidais da tipologia do edifício de apartamentos em lâmina.



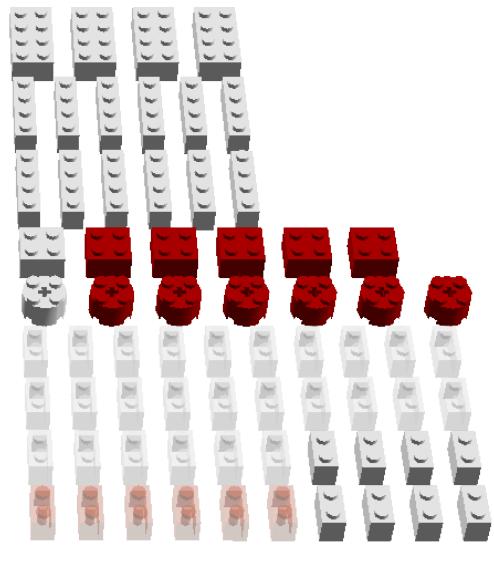
**Figura 204:** Modelo digital idealizado de segmento retilíneo da tipologia do edifício de apartamentos em lâmina.



**Figura 206:** Modelo construído de segmento retilíneo da tipologia do edifício de apartamentos em lâmina.



**Figura 205:** Peças utilizadas para construir o modelo digital idealizado de segmento retilíneo da tipologia do edifício de apartamentos em lâmina.



**Figura 207:** Peças utilizadas para construir o modelo de segmento retilíneo da tipologia do edifício de apartamentos em lâmina.



AUTODESK®  
FUSION 360™

Figura 208: Logo do software Fusion 360, da Autodesk.

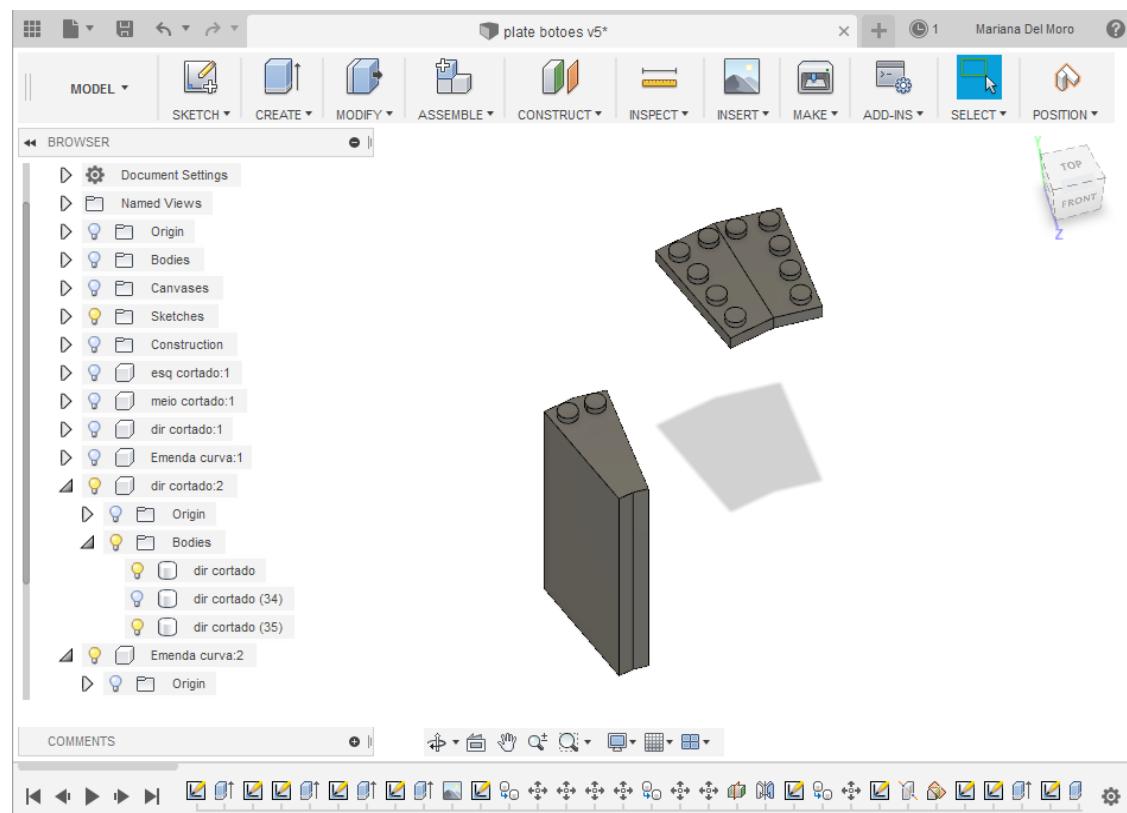


Figura 209: Interface do software Fusion 360, utilizado para modelar as peças que foram produzidas através da impressão 3D.

### 5.3 FABRICAÇÃO DIGITAL

Apesar de muito versátil e completo, o sistema LEGO – bem como qualquer outro sistema construtivo, seja ele para escala real ou para escala reduzida – não consegue suprir integralmente todos os formatos de peças necessários para a construção de todos os tipos de modelos. Mais especificamente, peças com curvas e ângulos singulares são os elementos de maior falta.

Nesse caso, a Fabricação Digital pode ser vista como uma solução viável. Utilizando-a racionalmente – como na pesquisa *Freeform Construction* da *Loughborough University* anteriormente mencionada – apenas essas partes específicas do modelo, que o sistema LEGO não atende, foram projetadas parametricamente para serem produzidas digitalmente. No contexto desse experimento, julgou-se necessária a impressão 3D das partes que conectam os prédios de apartamentos em lâmina trapezoidal.

As peças foram modeladas no software *Fusion* da *Autodesk* e exportadas no formato *STL* para que pudessem ser impressas em uma máquina de *Rapid Manufacturing*. Com a colaboração do *FabLab Olido Cibernarium* e de impressoras 3D particulares, foi possível imprimir as peças. Foram realizados vários testes até se chegar no formato final, pois para que os componentes fossem compatíveis com o sistema LEGO, foram necessários diversos ajustes, devido principalmente à retração do plástico *ABS* e às configurações das impressoras, fatores que alteravam as medidas finais dos elementos.

O *Fab Lab Livre* é uma rede de laboratórios públicos através dos quais é possível aprender sobre e utilizar ferramentas de fabricação digital para projetos em todas as escalas. Os laboratórios são equipados com impressoras 3D, cortadoras a laser, plotter de recorte, fresadoras CNC, computadores com software

de desenho digital CAD, equipamentos de eletrônica e robótica, e ferramentas de marcenaria e mecânica. Os laboratórios contam ainda com monitores que oferecem cursos, oficinas e palestras, e também auxiliam no desenvolvimento de projetos pessoais. Segundo o site oficial, os *Fab Labs Livre SP* são:

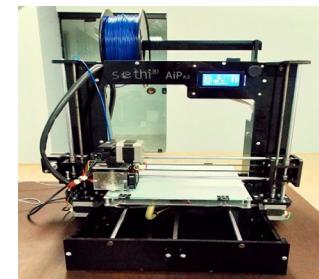
Fruto de uma parceria entre a Secretaria Municipal de Inovação e Tecnologia da Prefeitura Municipal de São Paulo e o Instituto de Tecnologia Social – ITS Brasil. Os laboratórios são abertos e acessíveis a todas as pessoas que tenham interesse em aprender, desenvolver e construir projetos coletivos ou pessoais, envolvendo tecnologia de fabricação digital, eletrônica, técnicas tradicionais e práticas artísticas.<sup>26</sup>

Ao todo a rede conta com 12 laboratórios espalhados por todas as regiões do Município de São Paulo. Para usar os equipamentos é necessário primeiro cadastrar o projeto no site e depois realizar o agendamento, este possível somente através de e-mail. É necessário também levar o material que será utilizado na fabricação do projeto, no caso da impressão 3D é preciso o arquivo no formato STL e o filamento plástico compatível com a impressora. Apesar da iniciativa de expandir o acesso de máquinas de fabricação digital para a população ser extremamente admirável, o programa se mostrou não muito eficiente para a realização deste trabalho.

Ao longo de 3 meses só foi possível agendar 3 horários para imprimir as peças. A primeira tentativa foi no *Fab Lab Olido Cibernarium*, que possui 4 impressoras 3D. No dia agendado, 3 das 4 máquinas estavam quebradas, esperando por peças de reposição, apenas uma estava em funcionamento. Ao longo da impressão percebeu-se que havia algo errado, então o processo foi interrompido. O monitor encarregado foi averiguar o problema (trabalho que levou algumas horas) e atestou que o bico de impressão estava entupido e não daria mais para imprimir naquele dia. As peças saíram com muitas falhas (Figura 211) e não foi possível aproveitá-las nem de parâmetro para futuros ajustes. O monitor aconselhou procurar outro laboratório, pois não havia previsão de conserto para as máquinas.

Foram enviados vários e-mails para tentar agendar em outros 3 laboratórios, mas não houveram respostas. Devido à aproximação do término do prazo para a entrega do trabalho, recorreu-se a impressoras particulares para realizar os testes de tamanho das peças (Figuras 214, 216 a 221). O *Fab Lab Olido Cibernarium*, onde parte das peças finais foram impressas, foi o único a agendar e responder prontamente os e-mails. Após os ajustes necessários, chegou-se nos formatos finais, compatíveis com o sistema LEGO.

A Fabricação Digital por meio da impressão 3D ainda apresenta falhas. As mais comuns, e inclusive



**Figura 210:** Os *Fab Labs Livre SP* são equipados com impressoras 3D do modelo *Shethi Ex* da fabricante *Sethi3D*, e aceitam filamento plástico ABS ou PLA.

**26** <http://fablablivresp.art.br/o-que-e>

**27** As informações do quadro *Filamento ABS e PLA* foram extraídas de <https://blog.escoladeimpressao3d.com.br/qual-e-a-diferenca-entre-abs-e-pla+227315> (acesso em 26/05/2019).



**Figura 211:** Resultado da impressão com a máquina de bico extrusor entupido. As peças não foram preenchidas corretamente.

## FILAMENTO ABS E PLA

O principal ingrediente da impressora 3D, que compõe o objeto final, é chamado de filamento. Sua definição formal é *monofilamento plástico* e o mesmo é fornecido normalmente em carretéis de 1kg, podendo ser encontrado também em porções menores de 0,5 e 250 g.

Atualmente no universo das impressoras 3D, existem vários tipos de materiais, em grande maioria para funções específicas, mas os mais utilizados são o ABS e o PLA.<sup>27</sup>



Figura 212: Objeto impresso a partir de filamento ABS.



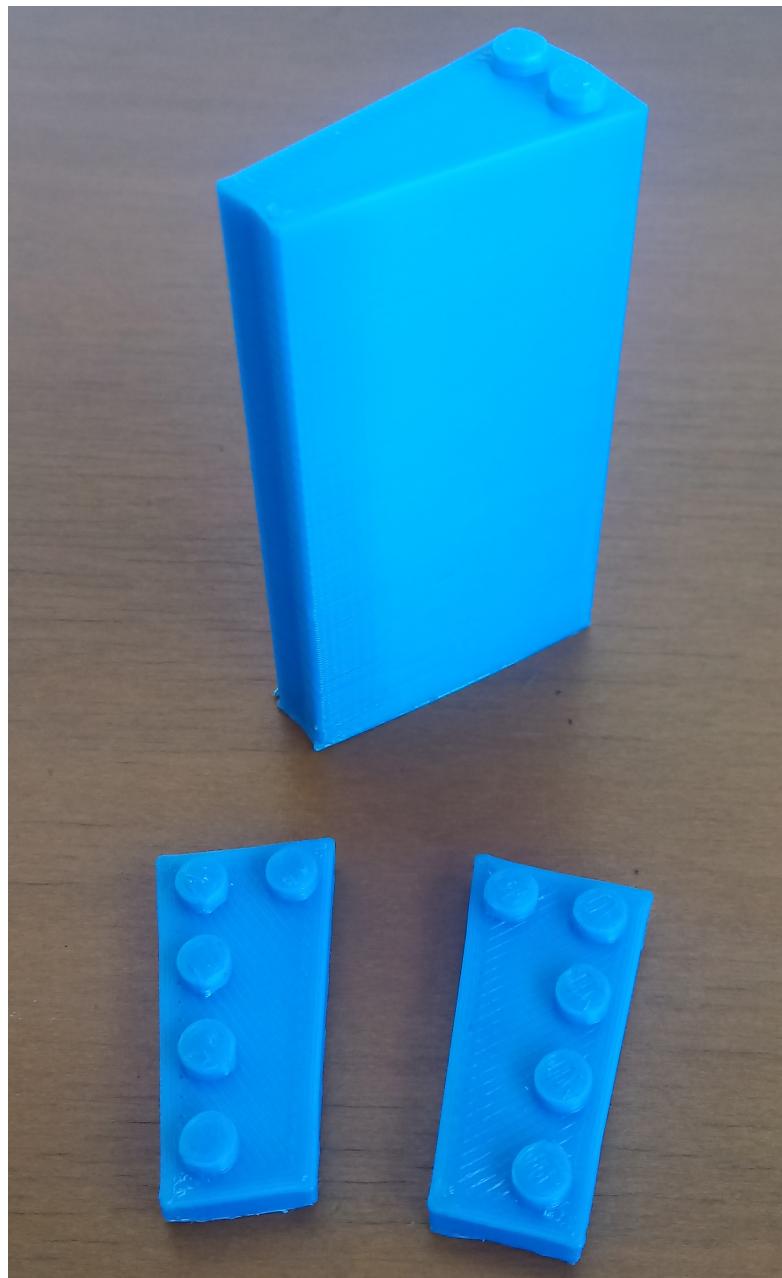
Figura 213: Objeto impresso a partir de filamento PLA.

### ABS

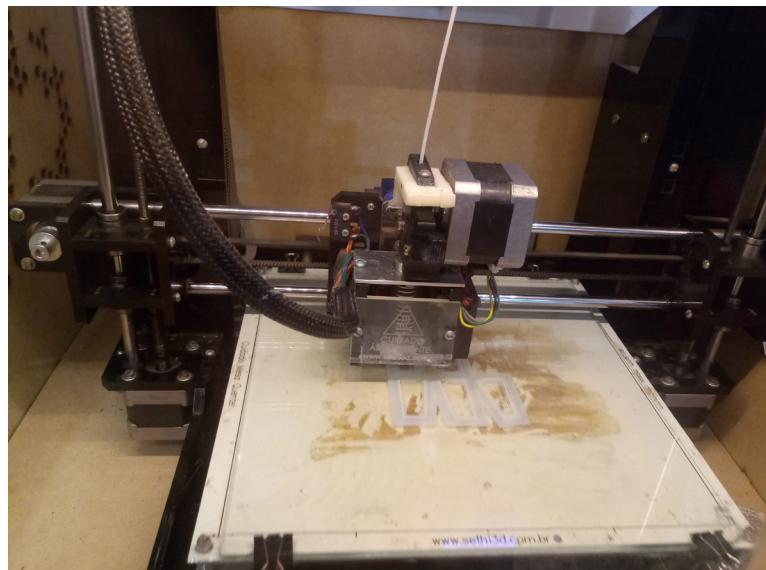
Um dos filamentos mais utilizados em impressão 3D é a *acrilonitrila butadieno estireno*, ou simplesmente **ABS**. Sua utilização depende de uma máquina com mesa bem aquecida e de um pouquinho de conhecimento, principalmente para domar o “warp” (processo de encolhimento do material) o qual causa descolamento de camadas e também da mesa. O ABS é definitivamente o mais barato dos dois (em média R\$ 120,00/kg), e é mais adequado para usuários avançados, devido a alguns ajustes extras que se fazem necessários na impressora para obter as definições corretas. O fato de ser menos frágil do que o PLA significa que as peças terão uma vida útil maior, sem preocupações futuras. É fácil de lixar, colar e pode ser polido com acetona após a impressão. Outra vantagem do ABS, é que ele pode ser reciclado e transformado em filamento novamente, evitando desperdícios. Entretanto, é mais suscetível à imperfeições no momento da impressão do que o PLA, libera fumaça com cheiro forte e demanda mais cuidados nas configurações da impressora e dos arquivos.

### PLA

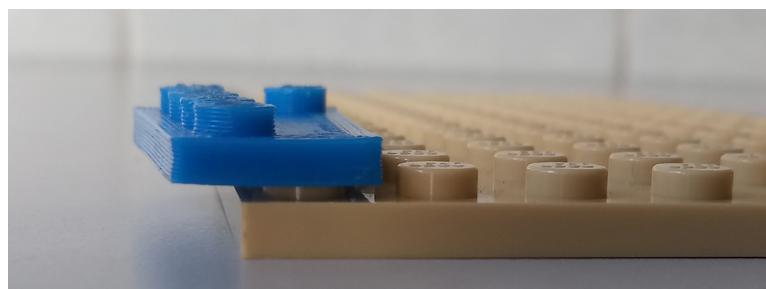
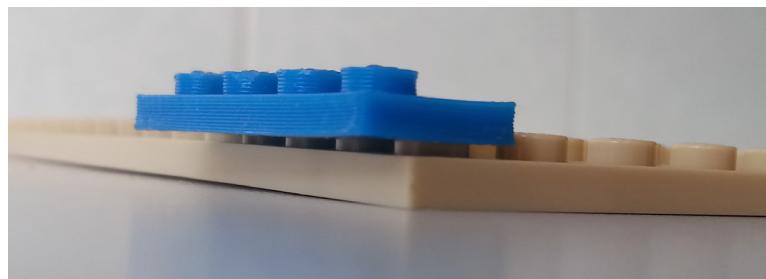
Outro material muito usado em impressão 3D é o **PLA**, ou *ácido polilático*. Derivado do milho e outros amidos renováveis, este material biodegradável é ambientalmente amigável e tem cheiro levemente adocicado. Ele também é mais rígido e “pegajoso” do que ABS, por isso é menos propenso a deformação. O PLA não necessariamente precisa de uma mesa aquecida, porém para a garantia de uma melhor qualidade de impressão e possível descolamento, recomenda-se o uso da mesa aquecida em temperaturas de 50-60 ° C. É um ótimo material tanto para uso doméstico como industrial, tem aparência lustrosa, grande variedade de cores incluindo opções de diferentes transparências. Consegue ser impresso em menos tempo do que o ABS e suas camadas saem mais suaves. Contudo, é mais caro que o ABS (em média R\$ 150,00/kg) e suas peças são menos resistentes, por isso não é recomendável imprimir objetos de uso contínuo.



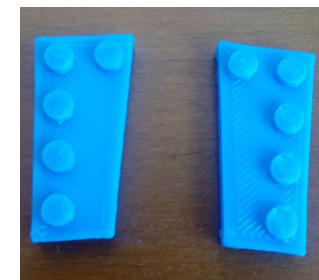
**Figura 214:** Peças teste para verificar os ajustes necessários das dimensões finais.



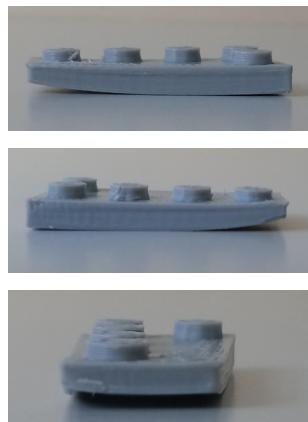
**Figura 215:** Impressora do Fab Lab utilizada para imprimir as peças teste da Figura 213.



**Figuras 216 e 217:** A peça beje é um *plate* da LEGO e a peça azul é um *plate* impresso. Um dos ajustes foi em relação à altura do *plate*. Nas imagens é possível perceber que as peças não encaixam como deveriam.



**Figuras 218 a 221:** Através das peças teste foi verificada a necessidade de pequenos ajustes na altura e na espessura das paredes da base.



**Figuras 222 a 224:** Peça em ABS com deformação curva devido ao descolamento precoce da mesa.



**Figura 225:** Peça em ABS com deformações (furinhos) na superfície lateral devido à falha na fixação das camadas.

verificadas ao longo do experimento, são aquelas relacionadas à retração do material. A maioria das peças deste experimento foram impressas em plástico ABS, sendo as únicas exceções duas peças impressas em plástico PLA. As Figuras 222 a 224 mostram a extremidade de uma peça que foi descolada precocemente da mesa de base, resultando em uma deformação curva. Já na Figura 224 é possível perceber irregularidades na superfície da peça, devido à falhas na fixação entre as camadas depositadas.

Outro problema foi a remoção de material estrutural da base das peças. Como o fundo é “oco”, constituído apenas pelas paredes laterais, é preciso programar a impressora para construir junto à peça, uma estrutura, que tem por função dar apoio para receber o material que formará o topo da mesma. A maior parte das vezes essa estrutura é fácil de destacar do restante da peça, contudo, em alguns casos o plástico fica muito



**Figura 226:** Peças em ABS marcadas pela estrutura de apoio da impressão.



**Figura 227:** Peça em PLA danificada pela remoção da estrutura de apoio da impressão.

junto às paredes laterais. Mesmo com cuidado, isso acaba marcando (Figura 226) e danificando o objeto final (Figura 227).

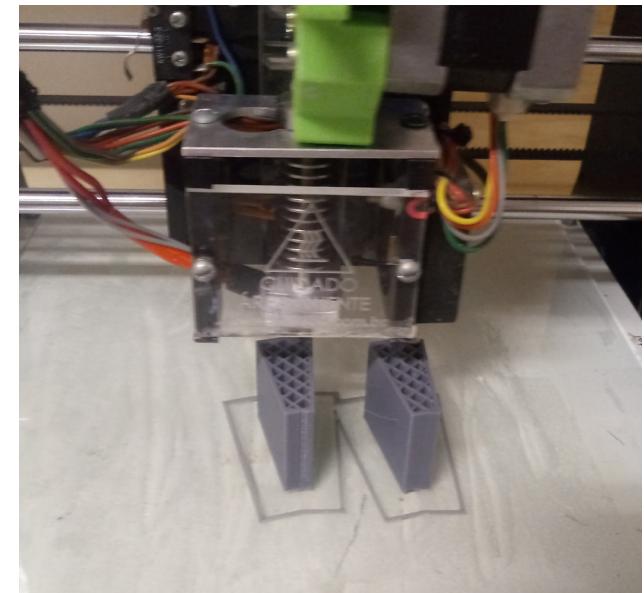
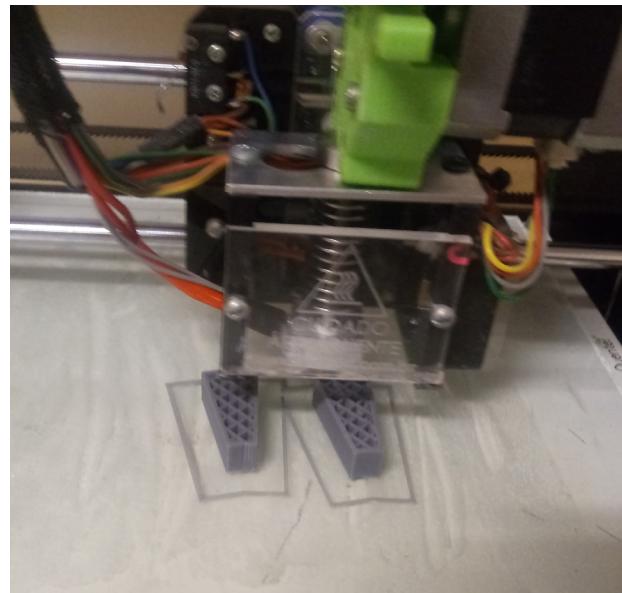
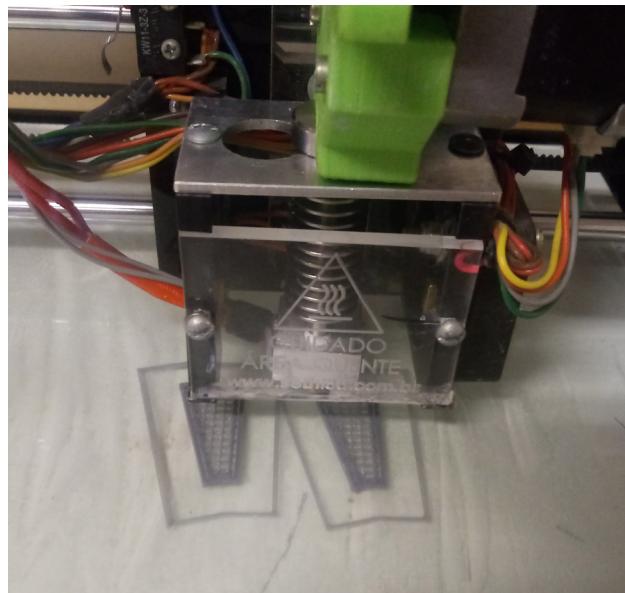
Como produto final, foram fabricados 3 tipos de peças: a torre de conexão, o *plate* de conexão esquerdo e o *plate* de conexão direito (Figuras 228 e 229). Esses 3 formatos de componentes foram suficientes para completar as partes faltantes do modelo. E, apesar de serem elementos muito específicos desse caso particular, como são compatíveis com os *bricks* LEGO, podem ser utilizados para a confecção de outros modelos.



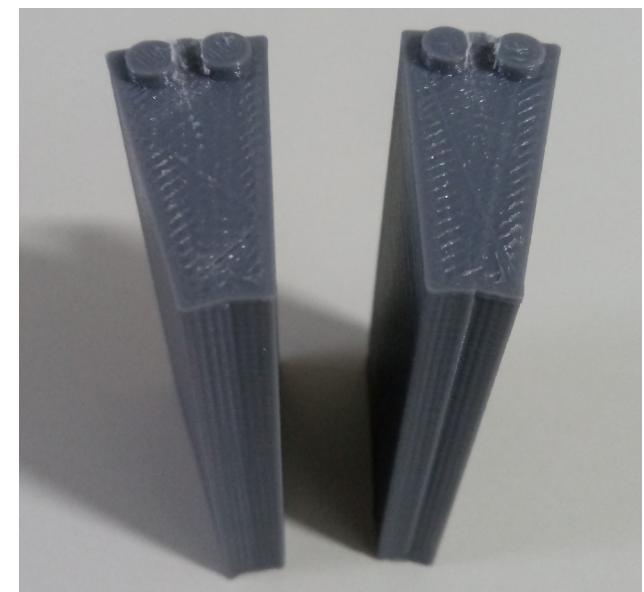
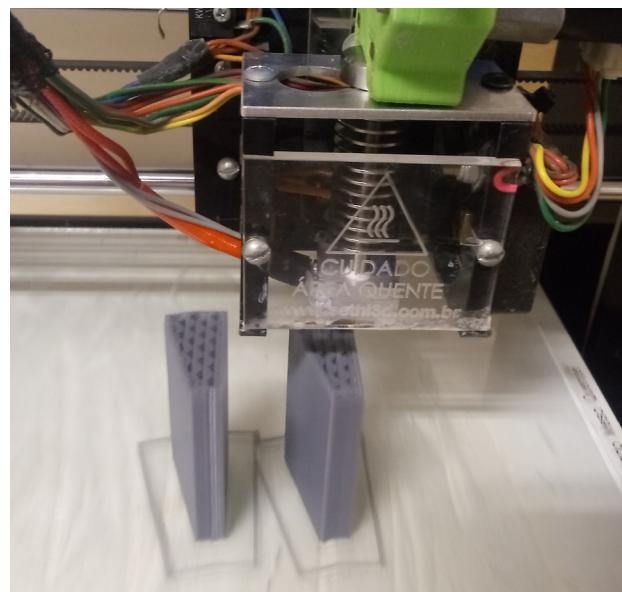
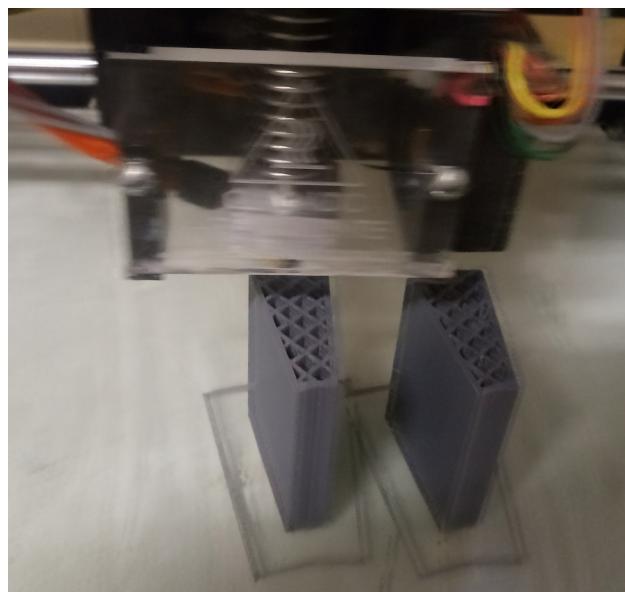
**Figura 228:** Torre de conexão, *plate* de conexão esquerdo e *plate* de conexão direito, vistos por cima.

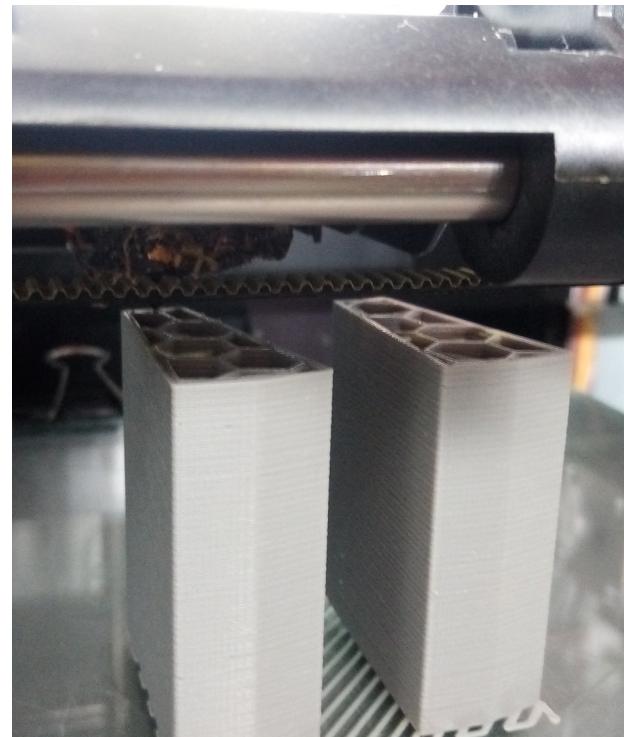
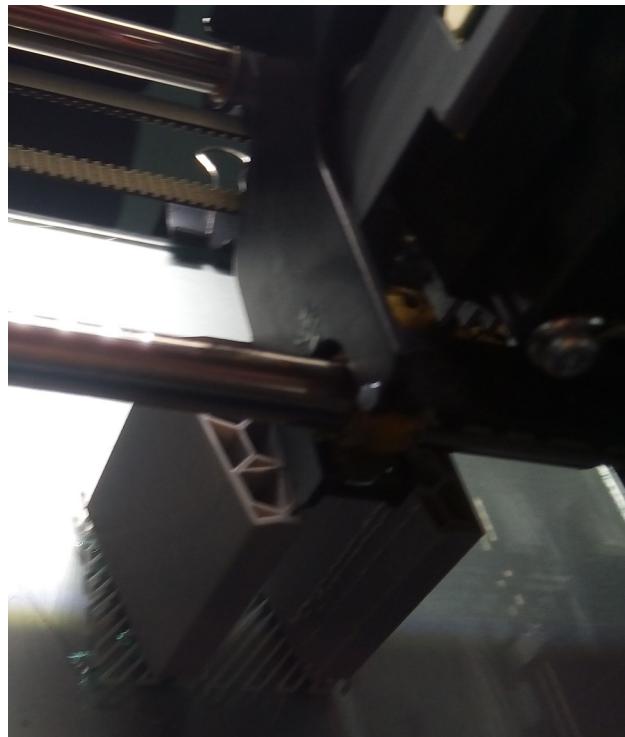


**Figura 229:** Torre de conexão, *plate* de conexão esquerdo e *plate* de conexão direito, vistos por baixo.

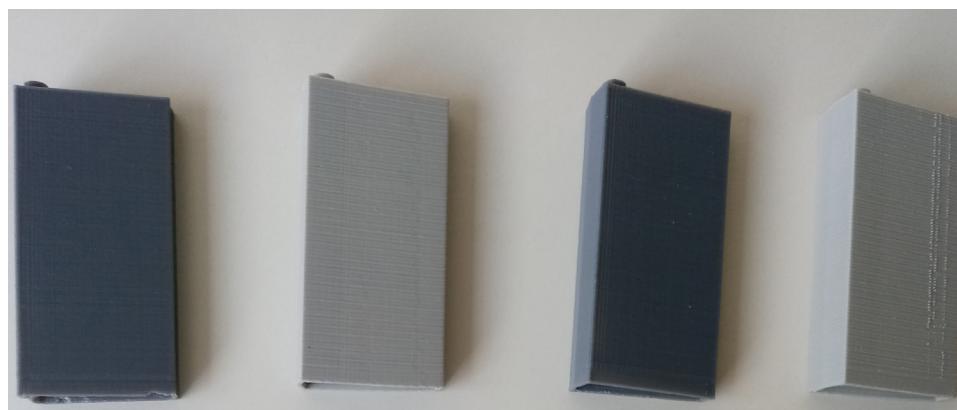


**Figuras 230 a 235:** Impressão da torre de conexão em PLA, através de impressora do Fab Lab. Na primeira imagem é possível observar a impressão da estrutura de apoio para o teto da base. A partir da segunda imagem, o gradil diagonal construído serve para deixar a peça mais rígida, evitando que as paredes da peça deformem ou quebrem. A última imagem mostra as peças prontas. O PLA tem um acabamento mais brilhante que o ABS.





**Figuras 236 a 238:** Impressão da torre de conexão em ABS, através de impressora particular. A estrutura de preenchimento e reforço das paredes foi feita em hexágonos nessa máquina. O resultado final é bem parecido com as peças impressas em PLA.



**Figuras 239 e 240:** No total, foram impressas 4 torres de conexão, sendo 2 em ABS (cinza claro) e 2 em PLA (cinza escuro); 8 plates de conexão esquerdo e 8 plates de conexão direito, todos em ABS.

## 5.4 RESULTADOS E POSSIBILIDADES

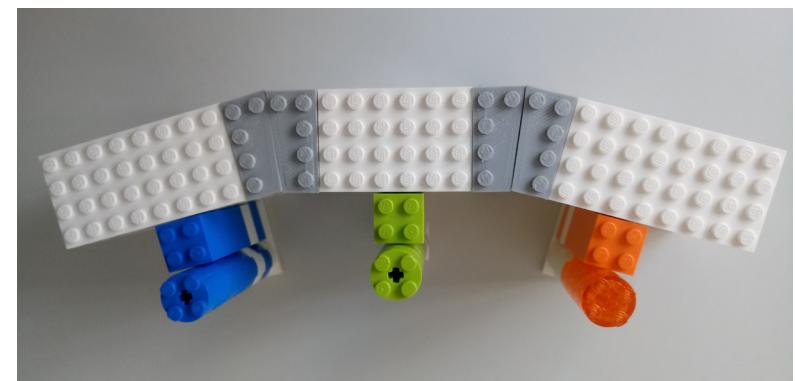
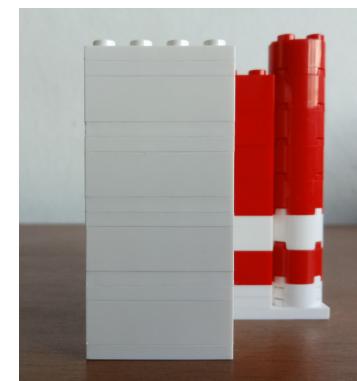
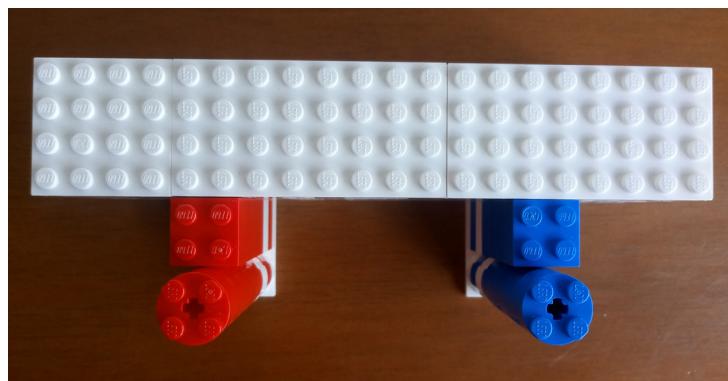
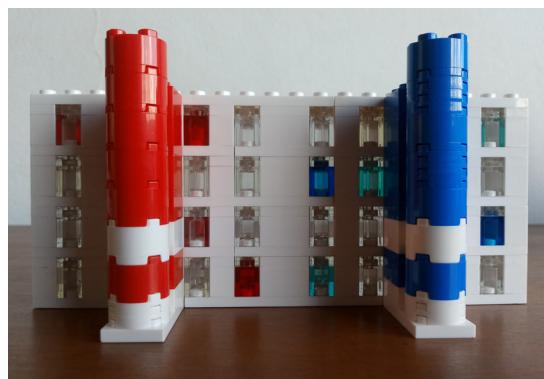
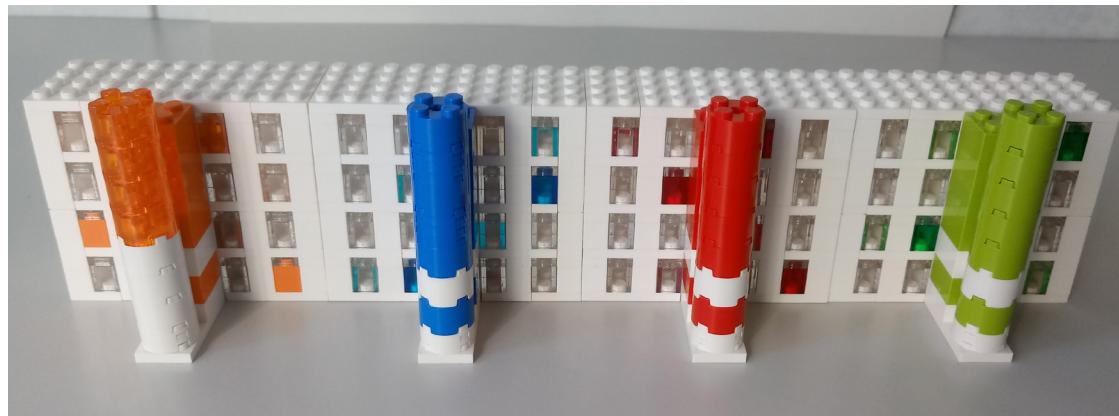
Como resultado do Experimento Projetual, foram gerados dois modelos: um somente com os *bricks* da LEGO, que representa um trecho do conjunto de casas geminadas na encosta (Figuras 241 a 244); e outro utilizando tanto as peças de LEGO quanto as impressas por meio da fabricação digital, representando a tipologia dos prédios de apartamentos (Figuras 245 a 256).

A modelagem com as peças pré-fabricadas do sistema LEGO é muito eficiente, pois a construção do modelo se torna muito rápida e fácil através da conexão das peças. Apesar das dificuldades em obter todas as cores e formatos necessários para a montagem, a modulação do sistema ajuda a substituir peças equivalentes. A impressão 3D, por sua vez, foi fundamental para que o modelo ficasse completo. Mesmo com os vários contratempos de agendamento e funcionamento das impressoras, o produto final compensou as dificuldades.

De modo geral, a confecção de modelos se mostrou mais prática, rápida e ecológica através da combinação de sistemas de peças pré-fabricadas em escala reduzida, juntamente com a fabricação digital, do que com as formas tradicionais de construção de modelos de recorte e cola. Além disso, testar soluções para o projeto se torna uma tarefa mais acessível e descomplicada, uma vez que só é necessário desencaixar e posicionar as peças



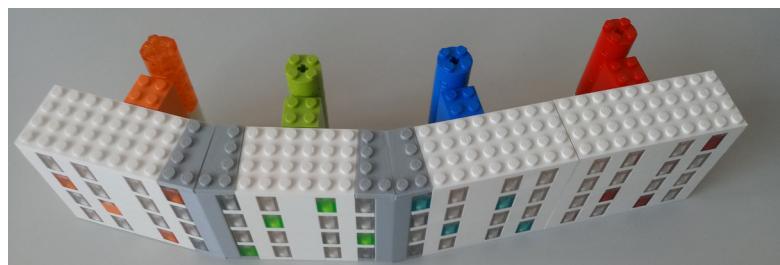
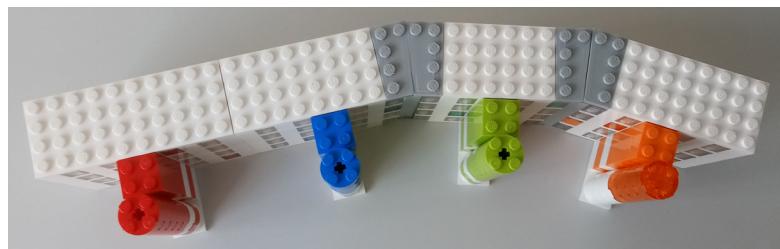
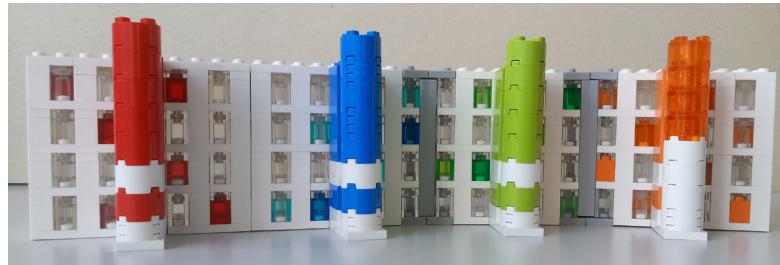
**Figuras 241 a 244:** Vistas do modelo de conjunto de casas geminadas na encosta.



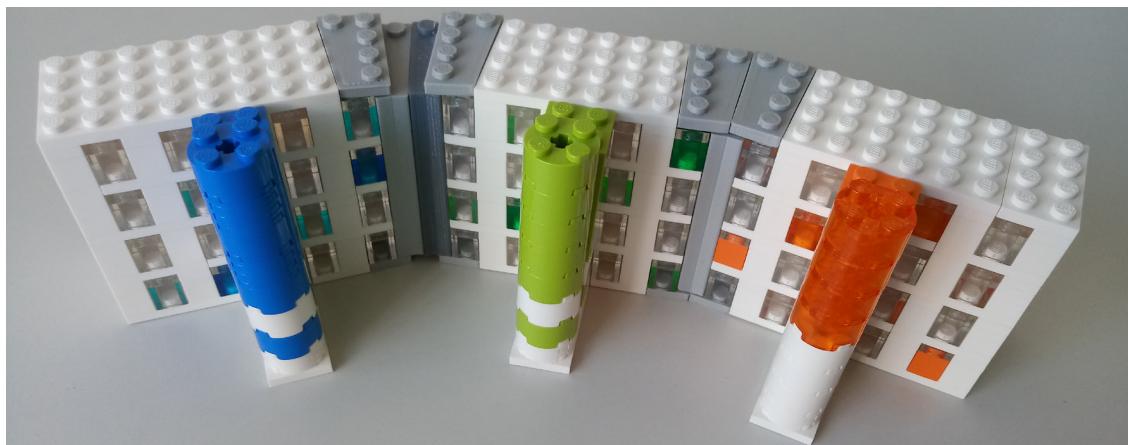
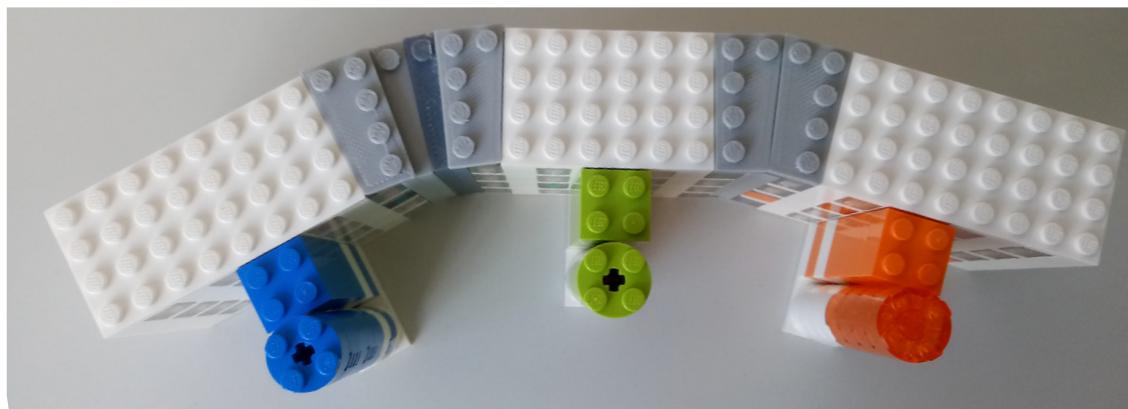
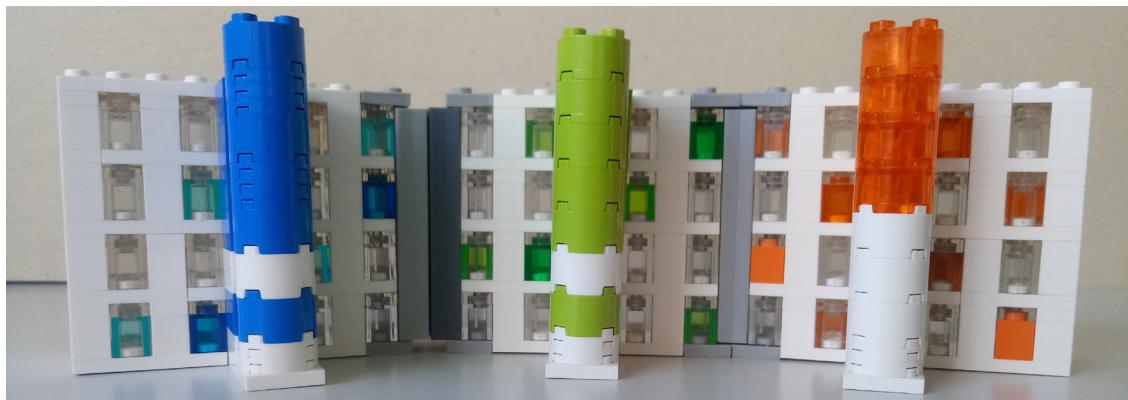
**Figuras 245 a 249:** Vistas do modelo de apartamentos em lâmina retilíneo.

**Figuras 250 a 252:** Vistas do modelo de apartamentos em lâmina trapezoidal.

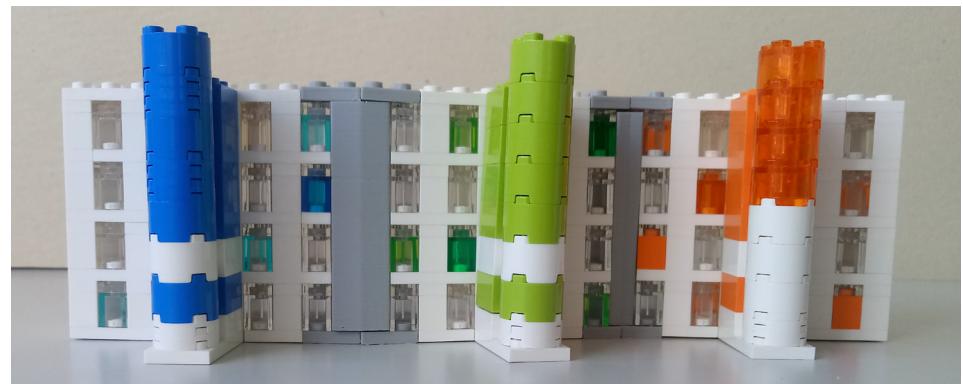
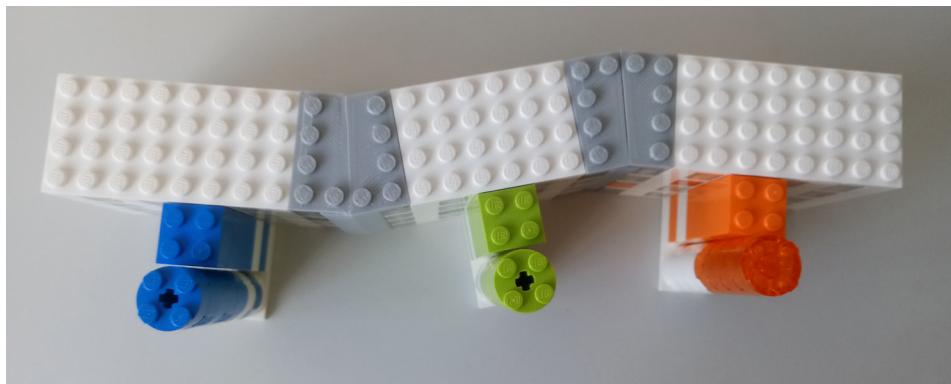
de maneiras diferentes. Como exemplo, foram criadas outras configurações de disposição dos prédios de apartamentos a partir da modulação sugerida no projeto do Lelé (Figuras 257 a 268).



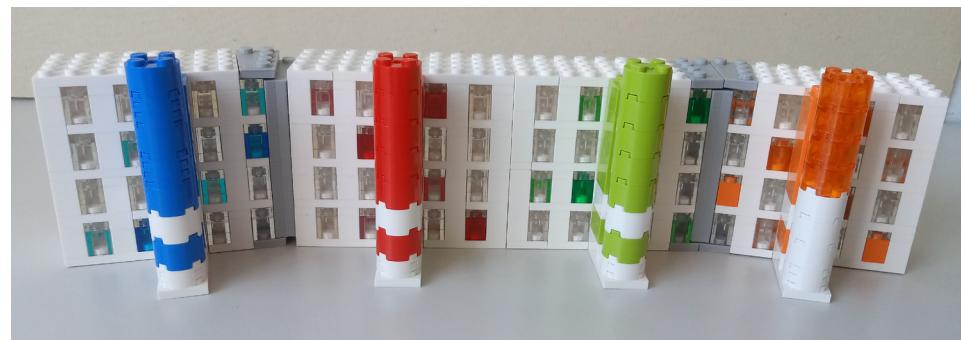
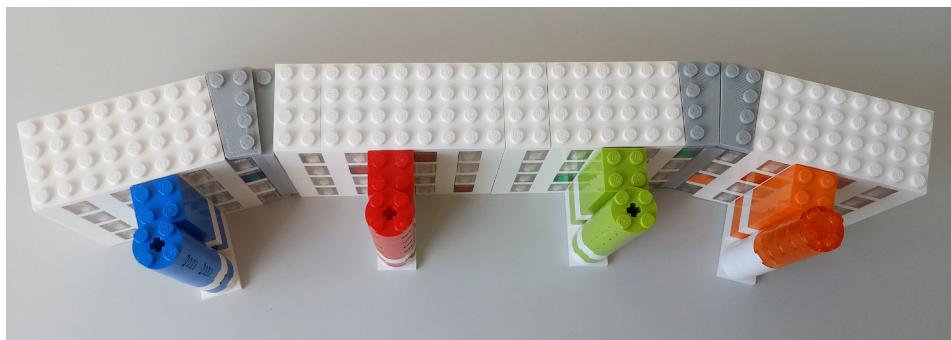
**Figuras 253 a 256:** Vistas do modelo de apartamentos em lâmina retilíneo e trapezoidal.



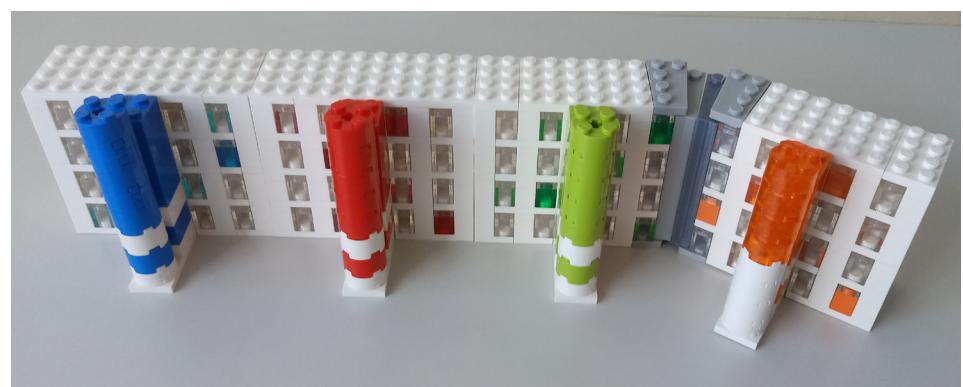
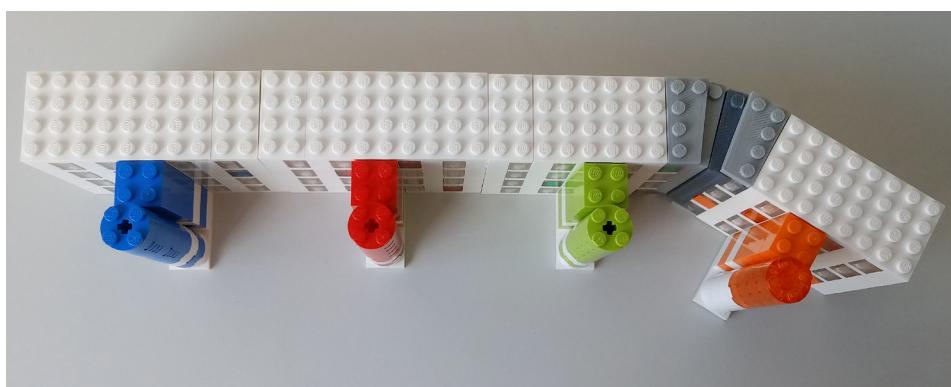
**Figuras 257 a 259:** Configuração com curva mais acentuada entre os prédios azul e verde.



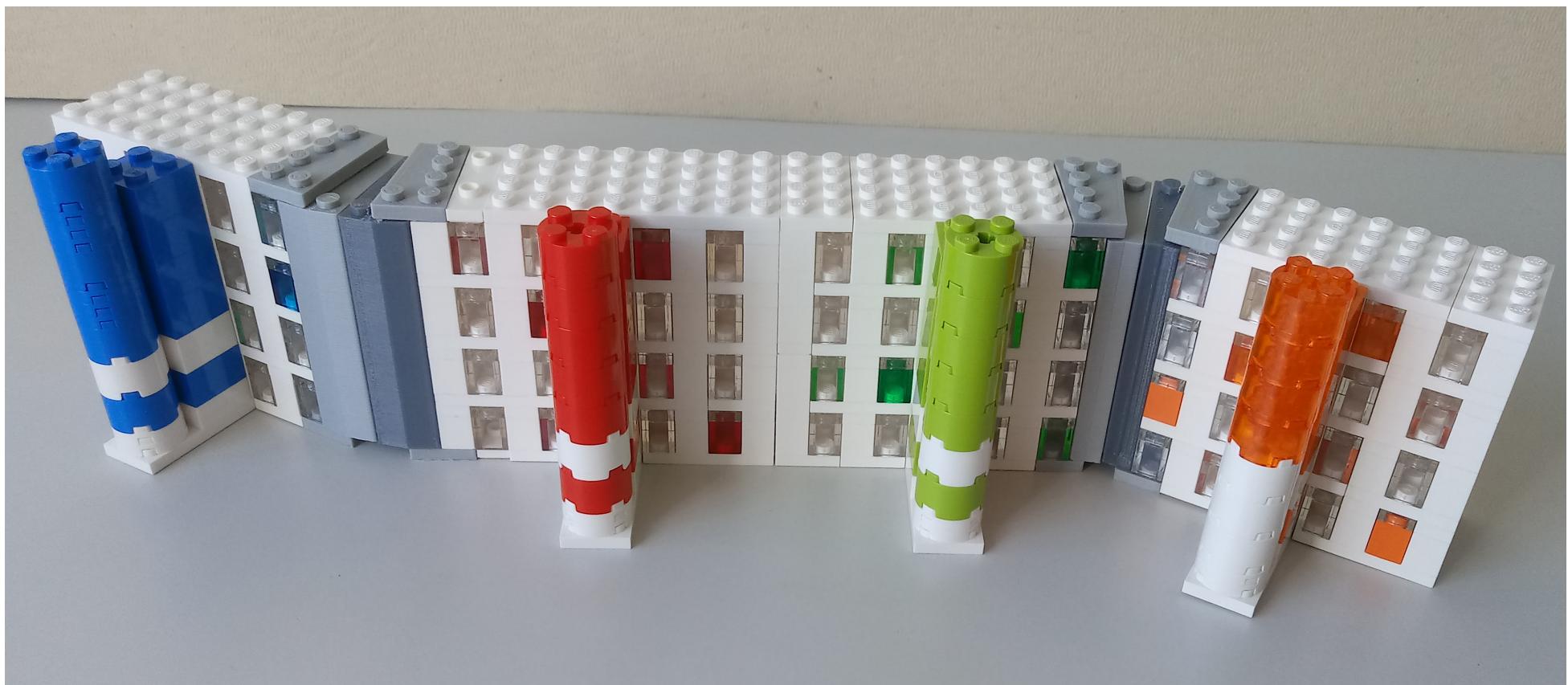
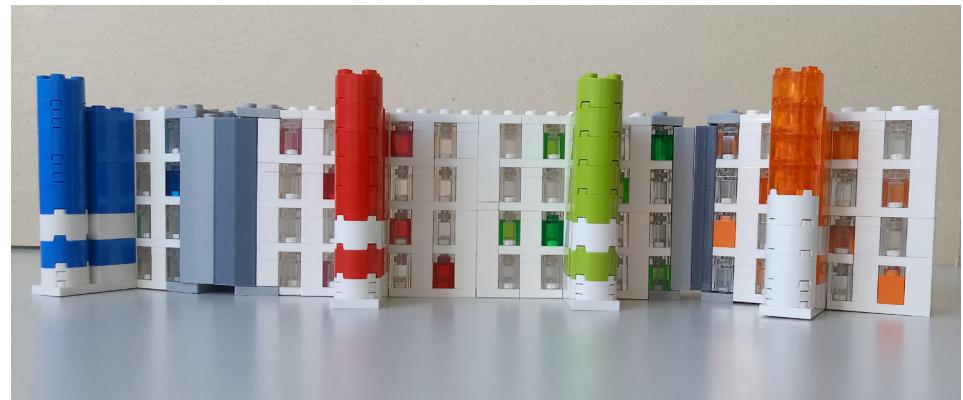
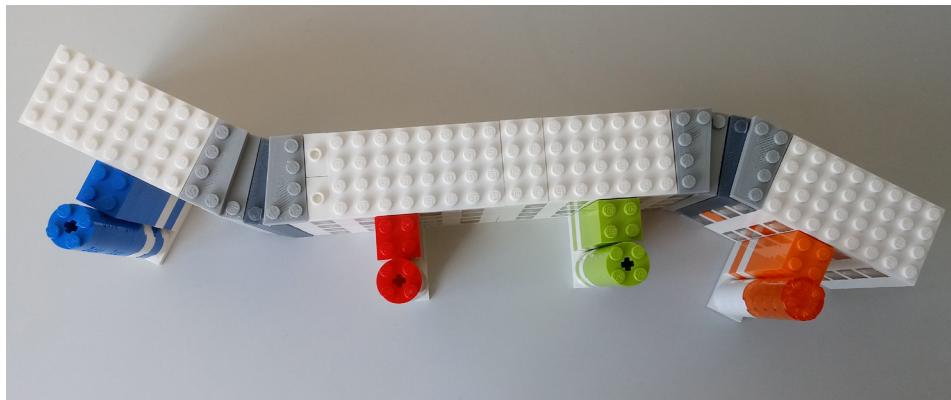
**Figuras 260 e 261:** Apenas invertendo o sentido da torre de conexão, foi possível criar uma nova configuração com os segmentos da tipologia dos prédios em lâmina, com curvas em duas direções.



**Figuras 262 e 263:** Configuração com segmentos retilíneos formando um trecho maior na região central e segmentos trapezoidais formando curvas nas extremidades.



**Figuras 264 e 265:** Configuração com segmentos retilíneos prolongados e segmento trapezoidal formando uma curva acentuada (através da justaposição de duas torres de conexão) em uma das extremidades.



**Figuras 266 a 268:** Configuração com segmentos retilíneos formando um trecho maior na região central e segmentos trapezoidais formando curvas acentuadas em direções opostas nas extremidades.





# 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

*Que todos os nossos esforços  
estejam sempre focados no desafio  
à impossibilidade. Todas as grandes  
conquistas humanas vieram daquilo que  
parecia impossível.*

– Charles Chaplin

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo da história, os modelos físicos vêm sendo utilizados com diversas finalidades, desde objetos votivos e ritualísticos até como representação fiel do edifício real que ainda será construído. Atualmente, um dos usos mais importantes do modelo é como ferramenta no processo do projetar arquitetônico. A possibilidade que os modelos – em especial os modelos físicos – oferecem de observar a forma e o espaço físico tridimensional concretamente, concede ao projetista uma interação direta e proporciona respostas imediatas.

Quando analisados pelo aspecto operativo da representação tridimensional, os modelos físicos revelam ser importantes validadores de soluções, permitindo a investigação de outras possibilidades na construção de volumes, formas e espaços. De maneira rápida e clara, os modelos físicos conseguem comunicar as intenções do projeto, seja para um cliente, para um construtor ou entre próprios colegas projetistas. Além da ágil e descomplicada transmissão de informações, os modelos, sobretudo quando usados como ferramenta projetual, ajudam ainda na composição de ideias e na visualização do produto final.

No ensino de Arquitetura e Urbanismo, os modelos físicos se constituem como forma de comunicação

e linguagem arquitetônica atrelada ao pensamento projetual, por isso podem ser considerados potentes recursos didáticos. A construção dos modelos pode ser feita de várias maneiras, e tradicionalmente é realizada a partir da medição, desenho, recorte e colagem de papéis, madeiras e derivados. Contudo, esse se mostra um método demorado e ineficiente ecologicamente.

Muitos pedagogos defendem o uso de jogos no processo de aprendizagem. Decroly, em especial, acreditava que o ensino deveria se apropriar dos jogos como instrumentos facilitadores e auxiliares no processo de aprendizagem. Nesse sentido, os blocos de montar podem ser considerados potentes instrumentos que facilitam a exploração espacial e volumétrica e a investigação formal através da combinação de elementos pré-definidos. Além disso, pertencem também à esfera lúdica, o que contribui para a retenção do conhecimento de forma agradável e dinâmica. São objetos que permitem um caminho direto entre a cognição e a materialização das ideias, auxiliando no entendimento dos processos de representação bidimensional, através de projeções ortogonais dos volumes construídos.

Recentemente os blocos de montar têm sido utilizados com certa frequência no ensino acadêmico de Arquitetura e Urbanismo, bem como por projetistas no campo profissional. Os bloquinhos ajudam a transformar as ideias em volumes, estabelecendo vínculos entre

abstrações e o mundo real, permitindo a investigação arquitetônica de maneira prática, experimental e lúdica.

Os três exemplos de blocos de montar apresentados nesse TFG como estudos de caso, abarcam essas características cada um à sua maneira. Do ponto de vista representativo, o sistema Mola é mais eficiente para modelos analógicos de desempenho estrutural. Ao contrário dos outros dois sistemas, esse trabalha com uma proposta de modelagem de teste estrutural, deixando margem arquitetonicamente apenas para uma representação do esqueleto construtivo.

Os sistemas Arckit e LEGO por sua vez, oferecem uma proposta mais plástica espacial do que analógica construtiva. São ferramentas que permitem o estudo e a exploração tridimensional das formas e volumes de maneira mais rápida e direta e, nesse sentido, são ideais para a construção de modelos físicos de estudo. Os modelos de estudo estão em constante transformação, pois não representam o projeto finalizado, mas sim todo o conjunto de ideias das propostas do projeto. Esse tipo de modelo têm o papel fundamental de testar soluções para o projeto, uma vez que a verificação tridimensional consegue validar ou colocar em crise as soluções propostas. Dessa forma, tanto o Arckit quanto o LEGO, através do fácil sistema de encaixe e desencaixe das peças, permitem a imediata correção e/ou modificação do modelo.

De modo geral, os blocos de montar se mostram muito vantajosos quando comparados aos métodos tradicionais (de recorte e colagem) de confecção de modelos físicos: os diferentes formatos e tamanhos dos bloquinhos permitem inúmeras combinações, facilitando a modelagem dos objetos em escala reduzida; as peças encaixáveis agilizam o processo construtivo, poupando muito tempo na confecção do modelo, e podem ser reutilizadas para outros trabalhos, acabando com o desperdício de materiais; como as peças não precisam ser descartadas depois de usadas, não é necessário ficar comprando material toda vez que um modelo precisa ser feito, basta reutilizar as mesmas peças.

Algumas desvantagens desse tipo de sistema, como por exemplo a limitação formal das peças, podem ser superadas através da fabricação digital. Como demonstrado no experimento projetual deste trabalho, é possível a conciliação entre vários tipos de sistemas para se chegar na modelagem final. A fabricação rápida de peças específicas, inexistentes no sistema LEGO, se mostrou muito eficiente para complementar as partes singulares do modelo. Apesar dos testes para se chegar no formato final das peças, o desperdício de material foi ínfimo em comparação com a impressão total do modelo ou com os métodos tradicionais de modelagem física.

Apesar da fabricação digital no Brasil até então estar engatinhando quando comparada com as pesquisas

e avanços estrangeiros, ainda assim oferece oportunidades de expandir as fronteiras projetuais. Os FAB LABs Livres são uma iniciativa extremamente interessante, que possibilita à todas as camadas da sociedade o acesso ao conhecimento e utilização de ferramentas de fabricação digital. Contudo, enquanto não houver interesse por parte dos órgãos governamentais em aumentar o repasse de verbas para esse tipo de programa e fazer uma manutenção adequada nos equipamentos dos laboratórios, as dificuldades da população em utilizá-las se agravarão cada vez mais.

Em última análise, a aliança entre a fabricação digital e elementos pré-fabricados resulta em possibilidades construtivas tanto no nível da obra real como também no nível do modelo, permitindo a exploração de potencialidades que só são possíveis com a combinação de sistemas. Todo sistema é um conjunto de regras e, por mais versátil que seja, é delimitado por elas. O uso do LEGO no experimento projetual teve como objetivo alcançar a maior versatilidade construtiva possível, uma vez que era o sistema (entre os estudos de caso) com o maior número de peças de formatos diferentes. Entretanto, consciente de que nenhum sistema, por mais flexível e multifuncional que seja, possui combinações ilimitadas, buscou-se na fabricação digital um complemento para essas lacunas.

Espera-se que cada vez mais os sistemas construtivos possam ser compatíveis e complementares entre si, aumentando as possibilidades formais, plásticas e projetuais em escala real e reduzida. Assim como no campo digital existem softwares proprietários, como por exemplo o *Rhinoceros*, mas que são alimentados também por *plug-ins* criados colaborativamente por um conjunto de pessoas, como o *Grasshopper*, no campo da modelagem física poderia ocorrer um auxílio semelhante. Imaginando o LEGO como software proprietário, o sistema de impressão 3D faria o papel de um *plug-in* colaborativo. Pode não ser a melhor solução do ponto de vista técnico, contudo é uma alternativa viável para expandir e flexibilizar as possibilidades construtivas. O arquiteto vendo o modelo a partir dos blocos de montar, transforma o que primariamente é tido como brinquedo em uma poderosa ferramenta de trabalho, a qual, aliada à fabricação digital, gera uma profusão de novas possibilidades.



# 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARGAN, Giulio Carlo. *Projeto e Destino*. São Paulo: Editora Ática, 2000.
- ARNHEIM, R. *Arte e Percepção Visual: uma psicologia da visão criadora*. São Paulo: Thomson Learning Edições Ltda, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 9062; *Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-moldado*. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- BAHIA, D. M. *O uso de modelos tridimensionais no ensino da criação arquitetônica*. Cadernos de Arquitetura e Urbanismo. Belo Horizonte, v. 6, n. 6, pp. 85-90, dez, 1998.
- BARROS, G. G. DE. *ActionSketch: técnica de esboços elaborada para o design de interação*. Tese (Doutorado em Design). 139 f. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2013.
- BUENO, B. P. *Desenho e Desígnio: o Brasil dos engenheiros militares (1500-1822)*. Tese (Doutorado). 456 f. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2001 (versão revisada de 2003).
- BRAIDA, F. et al. *A exploração do mundo projetual dos blocos de montar por meio do jogo digital interativo Minecraft*. In: SIGraDi, 2015. Anais... São Paulo: Blucher, 2015. p.371-377.
- BROADBENT, G. *Design in architecture: architecture and the human sciences*. London: Fulton, 1988.
- BRUNA, P. *Arquitetura, industrialização e desenvolvimento*. São Paulo: EDUSP/ Perspectiva, 1976. Coleção Debates, n. 135.
- BUSWELL, R.A. ... et al, 2007. *Freeform construction: mega-scale rapid manufacturing for construction*. Automation in construction, 16 (2), pp. 224-231.
- CAMPOS BAEZA, A. *Pensar com las manos*. Buenos Aires: Nobuko, 2007.
- CONSALEZ, Lorenzo. *Maquetes: A representação do espaço no projeto arquitetônico*. Barcelona: Gustavo Gilli, 2001.
- CORNELL, E. Tradução de Franck Suensson. *Confecção de Modelos Reduzidos Quando do Ensino de Arquitetura*. Suécia: Instituto Chalmers de

Gotemburgo, 1972.

ELLIOT, R. S. *Precast Frame Concepts, Economics and Architectural Requirements. In workshop on Design & Construction of Precast Concrete Structures.* Construction Industry Training Institute. Singapura, 2002.

FERREIRA, M. A. *A importância dos sistemas flexibilizados.* 2003. 8p. (Apostila UFSCar).

FONSECA, G. A. *A modelagem tridimensional como agente no ensino/aprendizagem nas disciplinas introdutórias de projeto de arquitetura.* 2013. 313 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

FONSECA DE CAMPOS, P. E.; LOPES, E. *A fabricação digital aplicada à construção industrializada: estado da arte e perspectivas de desenvolvimento.* Concreto & Construção, v. 85, p. 22-29, 2017.

GUTIERREZ, Rodrigo Luiz Minot. *Desenho, Riscos e Modelos Tridimensionais: Estudo sobre as representações e o processo de produção.* São Paulo: FAUUSP, 2015.

HIROKI, Juliana Eiko. *Uma revisão metodológica do*

*processo de projeto de Oscar Niemeyer: o papel de modelagem tridimensional.* São Paulo: FAUUSP, 2016.

HUIZINGA J. *Homo Ludens: O Jogo como elemento da Cultura.* São Paulo: Perspectiva, 2018.

KNOLL, Wolfgang; HECHINGER, Martin. *Maquetes Arquitetônicas.* São Paulo: Martins Fontes, 2003.

MILLS, Criss B. *Projetando com Maquetes: Um guia para a construção e o uso de maquetes como ferramenta de projeto.* Porto Alegre: Bookman, 2007.

MORAES, D. *Metaprojeto: O Design do Design.* São Paulo: Bluscher, 2010.

NASCIMENTO, A. Z. S. *A criança e o arquiteto: quem aprende com quem?* Dissertação (Mestrado em Arquitetura). 262 f. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2009.

ORDÓÑEZ, J. A. F. *Pre-fabricacion – teoría y práctica.* v.1. Barcelona: Editores Técnicos, 1974.

OTERO, Cristina Carballeira. *Jogos de construção: limites e possibilidades na educação infantil.* Tese

- (Doutorado em Educação). 175 f. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Educação, 2003.
- POLLIO, V. *Tratado de Arquitetura*. Tradução, introdução e notas de M. Justino Maciel. São Paulo: Martins, 2007, Coleção Todas as Artes.
- REVEL, M. *La prefabricacion em la construcion*. Bilbao: Urmo, 1973 [1.ed].
- RIGHETTO, A. V. D. *Do Desenho ao Modelo: A apresentação do projeto arquitetônico*. Tese (Doutorado em Arquitetura). 199 f. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2005.
- ROSSO, Teodoro. *Pré-fabricação, a coordenação modular: teoria e prática*. São Paulo: Instituto de Engenharia, 1966.
- \_\_\_\_\_. *Teoria e prática da coordenação modular*. São Paulo: FAU, 1976.
- \_\_\_\_\_. *Racionalização da construção*. São Paulo: FAU/USP, 1980.
- ROZESTRATEN, Artur Simões. *Estudo sobre a História dos Modelos Arquitetônicos na Antiguidade: origens e características das primeiras maquetes de arquiteto*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). 285 f. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2003.
- SALAS, S. J. *Construção Industrializada: Pré-fabricação*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo, 1988.
- SEIXAS, Regina Lúcia. *Desenho Industrial e processo criativo: da ideia à forma*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). 124 f. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2002.
- SILVA, E. L. T. A. *Minha Casa Minha Vida por Lelé. Descompasso entre teoria e prática*. Dissertação (Mestrado em arquitetura). 158 f. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2017.
- SIQUEIRA, Lorran. *Reflexões imagéticas: investigações no campo da representação*. São Paulo: FAUUSP, 2015.
- TAKAMOTO, Raquel Yumi. *Apreensão sensível da materialidade da arquitetura*. São Paulo: FAUUSP, 2015.

TEIXEIRA, Sirlândia Reis de Oliveira. *Jogos, Brinquedos, Brincadeiras e Brinquedoteca: Implicações no processo de aprendizagem e desenvolvimento*. Rio de Janeiro: Wak, 2012 [2 ed].

UEMURA, Eico. *O brinquedo e a administração no contexto escolar*. Tese (Doutorado em Educação). 172 f. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação, 1999.

VASCONCELOS, A. C. *O Concreto no Brasil - pré-fabricação, monumentos, fundações*. Volume III. São Paulo: Studio Nobel, 2002.

VEIGA, C. X. A. M. *Imagens sociais e culturais em brincadeiras de construção na educação infantil*. Dissertação (Mestrado em Educação). 173 f. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Educação, 2000.

## 7.1 REFERÊNCIAS ELETRÔNICAS

<http://www.caurs.gov.br/mola-lego-para-arquitetos/>  
(acesso em 20/10/2018)

<https://www.catarse.me/mola>  
(acesso em 20/10/2018)

<http://brickfetish.com/timeline/1947.html>  
(acesso em 29/10/2018)

<https://www.astroscience3d.com/single-post/2017/05/07/SLA-vs-SLS-vs-FDM>  
(acesso em 05/05/2019).

[https://issuu.com/pirajuaol/docs/revista\\_concreto\\_85](https://issuu.com/pirajuaol/docs/revista_concreto_85)  
(acesso em 10/04/2019)

<http://ribeirodasilva.pro.br/blogdobigusdigusprimus2008nove mbro14.html>  
(acesso em 08/05/2019).

<http://escoladacidade.org/bau/lele-experiencias-na-pre-fabricacao/>  
(acesso em 22/10/2019)

<http://fablablivresp.art.br/o-que-e>  
(acesso em 03/02/2019)

## 7.2 REFERÊNCIAS DAS FIGURAS

**Capa e contracapa:** Fotografias da autora.

**p. 6 - Figura de abertura do cap. 1** – modificada pela autora – Fonte: <http://44arquitetura.com.br/wp-content/uploads/constru%C3%A7%C3%A3o-de-maquetes01.jpg> (acesso em 05/03/2019).

**p. 9 - Figura 1:** Modelo físico arquitetônico. Fonte: <https://www.papodearquiteto.com.br/maquetes-arquitetonicas-parte-1/maquetes-arquitetonicas-parte-01/> (acesso em 05/03/2018).

**p. 12 - Figura 2:** Modelo feito com peças do LEGO Architecture Studio. Fonte: <https://nouvo.com/wp-content/uploads/2016/05/a-1.jpg> (acesso em 05/03/2018).

**p. 12 - Figura 3:** Modelo feito com peças do Arckit. Fonte: <https://www.pcmarket.com.au/assets/full/ARCKIT-GOPLUS.png> (acesso em 05/03/2018).

**p. 12 - Figura 4:** Modelo feito com peças do Kit Estrutural Mola. Fonte: <https://www.arcoweb.com.br/noticias/tecnologia/em-sua-2-edicao-kit-estrutural-mola-entra-em-crowdfunding> (acesso em 23/02/2019).

**p. 14 - Figura de abertura do cap. 2** – modificada pela autora – Fonte: <https://maquetesvolumetricas.files.wordpress.com/2008/10/detalhada6.jpg> (acesso em 05/03/2019).

**p. 17 - Figuras 5 e 6:** Modelo de Krannon (cima) e Modelo de Myrrini (baixo). Ambos encontrados na Grécia e datados do Sexto Milênio. Os objetos são feitos de terracota polida com restos de pigmentação vermelha e branca. Fonte: ROZESTRATEN, 2003, p. 23.

**p. 17 - Figura 7:** Modelo de Mari, Iraque, Terceiro Milênio, 2900 - 2460 a.C. Confeccionado em argila seca. Fonte: ROZESTRATEN, 2003, p. 46.

**p. 18 - Figura 8:** Modelo de torre do “Senhor dos Leões”, Norte da Síria, início do Segundo Milênio (c. 2000 a.C.). Material: terracota. Fonte: ROZESTRATEN, 2003, p. 71.

**p. 18 - Figura 9:** Modelo de torre fortificada, Azerbaijão, Idade do Ferro (séc. VIII a.C.). Material: terracota. Fonte: ROZESTRATEN, 2003, p. 74.

**p.18 - Figura 10:** Bandeja de oferendas com bordas salientes e representação de uma edificação com cobertura plana. Império Médio, XII Dinastia (c. 1900 a.C.). Fonte: ROZESTRATEN, 2003, p. 96.

**p. 18 - Figura 11:** Modelo “animado” de silo. Império Médio (c. 2000 a.C.). Material: madeira policromada. Fonte: ROZESTRATEN, 2003, p. 104.

**p. 19 - Figura 12:** Vista lateral do Modelo de Arkhanes. Período Minóico Médio (1700 - 1630 a.C.), Arkhanes, Creta. O modelo foi construído em terracota e possui restos de policromia. A cobertura foi reconstituída. O modelo é articulado, ou seja, as peças são removíveis e encaixáveis. Além disso o oobjeto parece estar em escala em relação à arquitetura real da época. Fonte: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/12.138/4125> (acesso em 16/10/2018).

**p. 19 - Figura 13:** Maquete de Teatro de Baalbek. Início do séc. II d.C., Baalbek, Líbano. Fonte: ROZESTRATEN, 2003, p. 202.

**p. 19 - Figura 14:** Teatro de Epidauro. Exemplo de teatro grego com implantação em encosta. Fonte: ROZESTRATEN, 2003, p. 202.

**p. 19 - Figura 15:** Maquete de stadium de Villa Adriana. Primeira metade do séc. II d.C., Villa Adriana, Tívoli. A maquete foi confeccionada em mármore. Fonte: ROZESTRATEN, 2003, p. 204.

**p. 19 - Figura 16:** Maquete de Templo de Óstia. Séc. I a.C. Fonte: ROZESTRATEN, 2003, p. 204.

**p. 19 - Figura 17:** Planta, elevação frontal e elevação direita da Maquete de Templo de Óstia. Séc. I a.C. Fonte: ROZESTRATEN, 2003, p. 206.

**p. 20 - Figura 18:** Maquete do Ádyton do Templo A de Niha. Alto Império Romano, séc. II d.C. O Ádyton é a parte mais alta do templo que abrigava a imagem da divindade geralmente sob um baldaquino. Fonte: ROZESTRATEN, 2003, p. 209.

**p. 20 - Figura 19:** Ádyton do Templo A de Niha, vale de Beqqa, Líbano. Séc. II d.C. Fonte: ROZESTRATEN, 2003, p. 209.

**p. 22 - Figura 20:** Mosaico da Igreja de San Vitale, em Ravena na Itália, 546 d.C. A figura da extremidade direita segura um modelo arquitetônico nas mãos. Fonte: <https://catedraismedievais.blogspot.com/2012/08/ravenna-pompa-hieratica-da-igreja.html> (acesso em 16/10/2018).

**p. 22 - Figura 21:** Maquete Igreja de Saint Maclou, Rouen, 1432. Fonte: [https://www.persee.fr/doc/piot\\_1148-6023\\_1905\\_num\\_12\\_2\\_1271](https://www.persee.fr/doc/piot_1148-6023_1905_num_12_2_1271) (acesso em 16/10/2018).

**p. 22 - Figura 22:** Maquete da Igreja de Schöne Maria, Regensburg, 1520. Fonte: <https://www.bildindex.de/document/obj20776104?medium=fm69927> (acesso em 16/10/2018).

**p. 23 - Figura 23:** Maquete da cúpula da Catedral de Santa Maria del Fiori, Florença, Itália. O modelo foi confeccionado em madeira. Fonte: <http://www.thehistoryblog.com/archives/39192> (acesso em 26/06/2018).

**p. 23 - Figura 24:** Maquete da cúpula da Basílica de São Pedro, Vaticano. O modelo foi confeccionado em madeira e possuía 5,4 metros de altura por 3,9 metros de diâmetro. Fonte: <https://entertainment.howstuffworks.com/arts/artwork/st-peters-basilica4.htm> (acesso em 12/10/2018).

**p. 24 - Figura 25:** Le Corbusier e sua maquete da Villa Savoye, França, 1929. Fonte: [https://www.elmundo.es/albumes/2007/04/07/gaudi/index\\_2.html](https://www.elmundo.es/albumes/2007/04/07/gaudi/index_2.html) (acesso em 17/10/2018).

**p. 25 - Figura 26:** O modelo anti funicular de Antoni Gaudí durante o estudo da capela Colônia de Güell pendurado em sua oficina. O modelo revestido em papel foi construído com a ajuda do engenheiro Edouard Goet. Fonte: <http://www.camilanogueira.arq.br/por-dentro-da-casa-villa-savoye> (acesso em 17/10/2018).

**p. 26 - Figura 27:** Modelo confeccionado eletronicamente e fabricado através de impressão 3D. Fonte: <https://ytimg.com/vi/qZti2tnWt-g/maxresdefault.jpg> (acesso em 05/03/2019).

**p. 29 - Figura 28:** Modelo de Estudo ou de Idealização. Fonte: [https://www.zeppelini.com%2Fprojetos%2Fcasas%2Fcasa-kristian-senii&docid=PDxkgLfqkJEMM&tbnid=LzAh-bVP\\_65FKM%3A&vet=10ahUKEwjZlJHI7-7bAhULDZoKHQl1CBcQMwhRKBuFQ..i&w=19-20&h=1130&hl=pt-BR&bih=635&biw=1366&q=maquete%20de%20estudo&ved=0ahUKEwjZlJHI7-7bAhULDZoKHQl1CBcQMwhRKBuFQ&iact=mrc&uact=8](https://www.zeppelini.com%2Fprojetos%2Fcasas%2Fcasa-kristian-senii&docid=PDxkgLfqkJEMM&tbnid=LzAh-bVP_65FKM%3A&vet=10ahUKEwjZlJHI7-7bAhULDZoKHQl1CBcQMwhRKBuFQ..i&w=19-20&h=1130&hl=pt-BR&bih=635&biw=1366&q=maquete%20de%20estudo&ved=0ahUKEwjZlJHI7-7bAhULDZoKHQl1CBcQMwhRKBuFQ&iact=mrc&uact=8) (acesso em 10/03/2018).

**p. 29 - Figura 29:** Modelo de Trabalho ou de Desenvolvimento. Fonte: <https://www.archdaily.com.br/br/796567/casa-cobogo-estudio-hungaro-arquitetura/57f1d1cce58ece4fa8000328-casa-cobogo-estudio-hungaro-arquitetura-maquete> (acesso em 10/03/2018).

**p. 29 - Figura 30:** Modelo de Apresentação ou Executivo. Fonte: <http://ites.com.br/noticias/maquetes> (acesso em 10/03/2018).

**p. 30 - Figura 31:** Iohannes Amos Comenius (1593-1673). Fonte: <https://c8.alamy.com/comp/AG26PC/comenius-johann-amos-2831592-15111670-czech-theologian-and-pedagogue-AG26PC.jpg> (acesso em 09/03/2019).

**p. 30 - Figura 32:** Jean-Jacques Rousseau (1712-1778). Fonte: <https://la-philosophie.com/wp-content/uploads/2010/10/jj-rousseau.jpg> (acesso em 09/03/2019).

**p. 30 - Figura 33:** Johann Heinrich Pestalozzi (1746-1827). Fonte: [https://2.bp.blogspot.com/-RSud\\_KqBLzM/WQLABm4yxCI/AAAAAAAHAHY/](https://2.bp.blogspot.com/-RSud_KqBLzM/WQLABm4yxCI/AAAAAAAHAHY/)

bY1YSirvvJ0fjORIUQc7Tgq0dw9PUADLgCLcB/s1600/pestalozzi.jpg (acesso em 09/03/2019).

**p. 31 - Figura 34:** Friedrich Froebel (1782-1852). Fonte: <https://i.pinimg.com/originals/4a/27/29/4a272927dac5ca3756462fcc149f2fd6.jpg> (acesso em 09/03/2019).

**p. 31 - Figura 35:** Maria Montessori (1870-1952). Fonte: <http://pgl.gal/wp-content/uploads/2016/08/M%C2%AA-MONTESSORI-Foto12.jpg> (acesso em 29/01/2019).

**p. 31 - Figura 36:** Jean-Ovide Decroly (1871-1932). Fonte: <http://userscontent2.emaze.com/images/73f3b9f2-1759-4196-8bd9-6bc4a9f93aa7/2cf62624-a781-4160-8e20-c2b0192bad57.jpg> (acesso em 29/01/2019).

**p. 32 - Figura 37:** Froebel Gifts - os materiais didáticos de Froebel. Fonte: <https://www.shopwright.org/product/froebel-gift-1-yarn-balls/puzzles-activities> (acesso em 29/01/2019).

**p. 32 - Figura 38:** Materiais didáticos de Montessori. Fonte: <https://pt.aliexpress.com/item/Preschool-Montessori-materials-math-Geometry-teaching-aids-wooden-puzzle-toys-educational-toys-for-kids-gift-brinquedos/32688706796.html> (acesso em 29/01/2019).

**p. 33 - Figura 39:** Unity Temple, em Oak Park, Illinois. Projeto de Frank Lloyd Wright. Fonte: <https://q-ba-maze.typepad.com/content/2007/07/did-a-childhood.html> (acesso em 09/03/2019).

[typepad.com/content/2007/07/did-a-childhood.html](https://q-ba-maze.typepad.com/content/2007/07/did-a-childhood.html) (acesso em 09/03/2019).

**p. 33 - Figuras 40, 41 e 42:** Modelo do Unity Temple realizado a partir do material didático de Froebel. Fonte: <https://q-ba-maze.typepad.com/content/2007/07/did-a-childhood.html> (acesso em 09/03/2019).

**p. 34 - Figura 43:** Robie House, em Hyde Park, Chicago. Projeto de Frank Lloyd Wright. Fonte: <http://www.designlinesltd.com/a-closer-look-the-robie-house-by-frank-lloyd-wright/> (acesso em 09/03/2019).

**p. 34 - Figura 44:** Modelo da Robie House realizado a partir do material didático de Froebel. Fonte: [https://cdn.nexternal.com/redhentoyz/images/prairie\\_elevation.jpg](https://cdn.nexternal.com/redhentoyz/images/prairie_elevation.jpg) (acesso em 09/03/2019).

**p. 34 - Figura 45:** Modelo da Robie House realizado a partir de peças de LEGO. Fonte: <https://img.bricklink.com/ItemImage/SL/21010-1.png> (acesso em 09/03/2019).

**p. 36 - Figura de abertura do cap. 3 –** modificada pela autora – Fonte: <https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/91YHAP5qnKL.jpg> (acesso em 10/03/2019).

**p. 39 - Figuras 46, 47 e 48:** Modelos estruturais realizados a partir de peças do Mola. A resposta visual do comportamento das estruturas é imediata e muito semelhante

com a realidade. Fonte: <https://www.catarse.me/mola> (acesso em 20/10/2018).

**p. 40 - Figura 49:** Kit Estrutural Mola 1. Fonte: <https://www.catarse.me/mola> (acesso em 20/10/2018).

**p. 40 - Figura 50:** Kit Estrutural Mola 2. Fonte: <https://www.catarse.me/mola2> (acesso em 21/10/2018).

**p. 40 - Figura 51:** Peças integrantes do Kit Estrutural Mola 1. Fonte: <https://www.catarse.me/mola> (acesso em 20/10/2018).

**p. 40 - Figura 52:** Peças integrantes do Kit Estrutural Mola 2. Fonte: <https://www.catarse.me/mola2> (acesso em 21/10/2018).

**p. 41 - Figura 53:** Ligações Contínuas A e B. Fonte: <https://www.catarse.me/mola2> (acesso em 21/10/2018).

**p. 41 - Figura 54:** Ligação Super Leve. Fonte: <https://www.catarse.me/mola2> (acesso em 21/10/2018).

**p. 41 - Figuras 55 e 56:** Barra de Comprimento Regulável. Fonte: <https://www.catarse.me/mola2> (acesso em 21/10/2018).

**p. 42 - Figura 57:** Modelo estrutural da Residência no Jardim Vitória Régia, de Marcos Acyaba. Fonte: <http://www.caurs.gov.br/mola-lego-para-arquitetos/>

(acesso em 20/10/2018).

**p. 42 - Figura 58:** Modelo estrutural de uma ponte estaiada. Fonte: <https://www.catarse.me/mola> (acesso em 20/10/2018).

**p. 42 - Figura 59:** Modelo estrutural de uma roda gigante. Fonte: <https://www.catarse.me/mola> (acesso em 20/10/2018).

**p. 43 - Figura 60:** Modelo realizado com peças do Arckit. Fonte: [https://www.pbtech.co.nz/imgprod/T/O/TOYAKT0001\\_1.jpg](https://www.pbtech.co.nz/imgprod/T/O/TOYAKT0001_1.jpg) (acesso em 23/03/2019).

**p. 43 - Figura 61:** Modelo realizado com peças do Arckit. Fonte: <https://core-electronics.com.au/media/catalog/product/cache/1/image/fe1bcd18654db18f328c2faaf3c690a/c/e/ce04943-1.png> (acesso em 23/03/2019).

**p. 43 - Figura 62:** Modelo realizado com peças do Arckit. [https://cdn.shopify.com/s/files/1/2466/4287/products/ARCREN\\_A90\\_01\\_1024x1024.png?v=1544023671](https://cdn.shopify.com/s/files/1/2466/4287/products/ARCREN_A90_01_1024x1024.png?v=1544023671) (acesso em 23/03/2019).

**p. 43 - Figura 63:** Modelo realizado com peças do Arckit. Fonte: <https://cdnassets.hw.net/dims4/GG/44404b2/2147483647/resize/876x%3E/quality/90?url=https%3A%2F%2Fcdnassets.hw.net%2F06%2F22%2Fece70477416a9f34678d740482ed%2F0812-ak-longacres-landing-tcm20-2159525.png> (acesso em 23/03/2019).

**p. 44 - Figura 64:** Peças componentes do Arckit. Fonte: <https://www.stem-supplies.com/cmsstatic/s-35557-ArckitGOModellingKits-34-8.jpg?medium> (acesso em 23/03/2019).

**p. 44 - Figura 65:** Peças componentes do Arckit. Fonte: <https://www.stem-supplies.com/cmsstatic/s-35556-ArckitGOModellingKits-31-7.jpg?medium> (acesso em 23/03/2019).

**p. 44 - Figura 66:** Pisos Padrão (Standard Floors). Fonte: <https://arckit.com/pages/getting-started> (acesso em 24/10/2018).

**p. 44 - Figura 67:** Pisos Estendidos (Extended Floors). Fonte: <https://arckit.com/pages/getting-started> (acesso em 24/10/2018).

**p. 44 - Figura 68:** Paredes Padrão (Standard Walls). Fonte: <https://arckit.com/pages/getting-started> (acesso em 24/10/2018).

**p. 44 - Figura 69:** Paredes Estendidas (Extended Walls). Fonte: <https://arckit.com/pages/getting-started> (acesso em 24/10/2018).

**p. 45 - Figura 70:** Coberturas (Roofing). Fonte: <https://arckit.com/pages/getting-started> (acesso em 24/10/2018).

**p. 45 - Figura 71:** Azulejos (Tiles). Fonte: <https://arckit.com/pages/getting-started> (acesso em 24/10/2018).

**p. 45 - Figura 72:** Escadas (Stairs). Fonte: <https://arckit.com/pages/getting-started> (acesso em 24/10/2018).

**p. 45 - Figura 73:** Modelo com texturas do Arckitexture Library aplicadas sobre as peças. Fonte: <https://arckit.com/pages/getting-started> (acesso em 24/10/2018).

**p. 46 - Figura 74:** Arckit Digital para Autodesk Revit. Fonte: <https://static1.squarespace.com/static/564154e2e4b061c794957f90/t/58bca51cb8a79bbdc680b006/1488758113731/> (acesso em 23/03/2019).

**p. 46 - Figura 75:** Arckit Digital para SketchUp 3D Warehouse. Fonte: [https://res.cloudinary.com/engineering-com/image/upload/w\\_640,h\\_640,c\\_limit/arckit\\_review\\_components\\_cvw6mg.jpg](https://res.cloudinary.com/engineering-com/image/upload/w_640,h_640,c_limit/arckit_review_components_cvw6mg.jpg) (acesso em 23/03/2019).

**p. 46 - Figura 76:** Kit com 40 peças. Fonte: [https://cdn.shopify.com/s/files/1/2466/4287/products/tiny\\_town\\_bundle\\_1024x1024.png?v=1549973952](https://cdn.shopify.com/s/files/1/2466/4287/products/tiny_town_bundle_1024x1024.png?v=1549973952) (acesso em 23/03/2019).

**p. 46 - Figura 77:** Kit com 620 peças. Fonte: <https://www.dezeen.com/2015/05/24/architect-modelling-system-arckit-posh-lego-damien-murtagh/> (acesso em 23/03/2019).

**p. 47 - Figura 78:** Modelo realizado com peças do Arckit. Fonte: <https://www.dezeen.com/2015/05/24/architect-modelling-system-arckit-posh-lego-damien-murtagh/> (acesso em 23/03/2019).

**p. 47 - Figura 79:** Modelo realizado com peças do Arckit. Fonte: [https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/81U-RCCK09L.\\_SL1500\\_.jpg](https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/81U-RCCK09L._SL1500_.jpg) (acesso em 23/03/2019).

**p. 47 - Figura 80:** Modelo realizado com peças do Arckit. Fonte: <http://www.irishdesign2015.ie/liminal/projects/arckit> (acesso em 23/03/2019).

**p. 47 - Figura 81:** Modelo realizado com peças do Arckit. Fonte: [https://cdn.shopify.com/s/files/1/2466/4287/products/2018MiniModern\\_02\\_1024x1024.jpg?v=1549973916](https://cdn.shopify.com/s/files/1/2466/4287/products/2018MiniModern_02_1024x1024.jpg?v=1549973916) (acesso em 23/03/2019).

**p. 47 - Figura 82:** Modelo explodido com peças do Arckit. Fonte: [https://engineering.purdue.edu/INSPIRE/Reviews/toys/arckit-a180/A180\\_04.png](https://engineering.purdue.edu/INSPIRE/Reviews/toys/arckit-a180/A180_04.png) (acesso em 23/03/2019).

**p. 48 - Figuras 83, 84 e 85:** Modelos criados pelo arquiteto Rick Fairhurst para exibição no museu Blocks to Bricks no Woodfield Mall, em Chicago. Fonte: <https://arckit.com/blogs/news/bricks-to-blocks> (acesso em 24/10/2018).

**p. 49 - Figura 86:** O LEGO Duck foi um dos primeiros brinquedos produzidos pela LEGO (lançado em 1935). Ele é

feito inteiramente de madeira e possui rodas conectadas ao bico do pato, fazendo-o abrir e fechar. Fonte: [https://www.lego.com/pt-br/aboutus/lego-group/the\\_lego\\_history/1930](https://www.lego.com/pt-br/aboutus/lego-group/the_lego_history/1930) (acesso em 21/10/2018).

**p. 49 - Figura 87:** Oficina da LEGO onde eram produzidos os brinquedos de madeira. Fonte: <https://www.vix.com/pt/mundo/548371/existe-uma-bonita-historia-de-uniao-entre-pai-e-filho-por-tras-da-criacao-do-brinquedo-lego> (acesso em 21/10/2018).

**p. 50 - Figura 88:** A LEGO foi fundada em 1932. Fonte: <https://www.vix.com/pt/mundo/548371/existe-uma-bonita-historia-de-uniao-entre-pai-e-filho-por-tras-da-criacao-do-brinquedo-lego> (acesso em 21/10/2018).

**p. 50 - Figura 89:** Propaganda do Kiddicraft Interlocking Building Cubes. Fonte: <http://brickfetish.com/timeline/1947.html> (acesso em 29/10/2018).

**p. 51 - Figura 90:** Patente do Interlocking Building Cube. Fonte: <http://brickfetish.com/timeline/1947.html> (acesso em 29/10/2018).

**p. 51 - Figura 91:** Patente do Kiddicraft Self-Locking Building Brick. Fonte: <http://brickfetish.com/timeline/1947.html> (acesso em 29/10/2018).

**p. 51 - Figura 92:** Embalagem do primeiro set do Kiddicraft Self-Locking Building Brick. Fonte: <http://brickfetish.com/timeline/1947.html> (acesso em 29/10/2018).

**p. 52 - Figura 93:** Na fileira de cima os tijolinhos da LEGO; na fileira de baixo os Kiddicraft Self-Locking Building Brick. Quando a LEGO começou a fabricar seus bricks, a logomarca não era gravada nem nos pinos nem dentro dos bloquinhos. A Kiddicraft, no entanto, fazia essa gravação. Fonte: <https://www.inverso.pt/legos/Textos/timeline.htm> (acesso em 30/10/2018).

**p. 52 - Figura 94:** Bricks da Kiddicraft. Fonte: <http://brickfetish.com/timeline/1947.html> (acesso em 29/10/2018).

**p. 52 - Figura 95:** Bricks da LEGO. Fonte: <https://observador.pt/2017/09/02/lego-a-brincar-a-brincar-os-tijolos-fazem-85-anos/> (acesso em 21/10/2018).

**p. 53 - Figuras 96, 97, 98, 99 e 100:** Evolução dos Bricks da LEGO. Fonte: <https://www.inverso.pt/legos/Textos/timeline.htm> (acesso em 30/10/2018).

**p. 54 - Figura 101:** Conjunto de peças do LEGO Mindstorms. Fonte: [https://le-www-live-s.legocdn.com/images/423923/live/sc/Products/5003400/5003400\\_1050x1050\\_1\\_xx-xx/63feb014132ef703a7e6d2c600b1d52d/2d9e36d3-afaf-4203-aa23-a58d00d7ca07/original/2d9e36d3-afaf-4203-aa23-a58d00d7ca07.jpg?fit=inside|855:640](https://le-www-live-s.legocdn.com/images/423923/live/sc/Products/5003400/5003400_1050x1050_1_xx-xx/63feb014132ef703a7e6d2c600b1d52d/2d9e36d3-afaf-4203-aa23-a58d00d7ca07/original/2d9e36d3-afaf-4203-aa23-a58d00d7ca07.jpg?fit=inside|855:640) (acesso em

06/04/2019).

**p. 55 - Figura 102:** Exemplos de Bricks. Foto da autora.

**p. 55 - Figura 103:** Exemplos de Plates. Foto da autora.

**p. 55 - Figura 104:** Exemplos de Tiles. Foto da autora.

**p. 55 - Figura 105:** Cores em que as peças da LEGO já foram produzidas. Fonte: <https://www.bluebus.com.br/pantone-de-lego-essa-tabela-mostra-todas-as-cores-de-lego-que-existem/> (acesso em 14/01/2019).

**p. 56 - Figura 106:** Processador EV3 com seus sensores. Fonte: <https://www.myrobotcenter.eu/en/lego-mindstorms-ev3-basis-set-45544> (acesso em 06/04/2019).

**p. 56 - Figura 107:** Construções a partir das peças do LEGO Mindstorms. Fonte: <https://www.myrobotcenter.eu/en/lego-mindstorms-ev3-basis-set-45544> (acesso em 06/04/2019).

**p. 56 - Figura 108:** Construções a partir das peças do LEGO Mindstorms. Fonte: [https://blog.tcea.org/wp-content/uploads/2016/02/89133\\_wm\\_lego-mindstorms-ev3-support-gallery-image1.jpg](https://blog.tcea.org/wp-content/uploads/2016/02/89133_wm_lego-mindstorms-ev3-support-gallery-image1.jpg) (acesso em 06/04/2019).

**p. 56 - Figura 109:** Construções a partir das peças do LEGO Mindstorms. Fonte: [https://http2.mlstatic.com/lego-ev3-mindstorms-education-45544-rob-ev3-carregador-D\\_NQ\\_](https://http2.mlstatic.com/lego-ev3-mindstorms-education-45544-rob-ev3-carregador-D_NQ_)

NP\_875397-MLB27458907287\_052018-O.jpg (acesso em 06/04/2019).

**p. 56 - Figura 110:** Conjunto de peças do LEGO Mindstorms. Fonte: <https://www.myrobotcenter.eu/en/lego-mindstorms-ev3-basis-set-45544> (acesso em 06/04/2019).

**p. 57 - Figura 111:** Interface do LEGO Digital Designer. Fonte: [https://i.kinja-img.com/gawker-media/image/upload/t\\_original/h5ekc5yhowfpjr0cde6q.jpg](https://i.kinja-img.com/gawker-media/image/upload/t_original/h5ekc5yhowfpjr0cde6q.jpg) (acesso em 06/04/2019).

**p. 58 - Figura 112:** Modelo virtual do Big Bang realizado no LEGO Digital Designer. Fonte: <http://www.brickshelf.com/gallery/Graysmith/MOC/BigBen/big-ben-moc.jpg> (acesso em 06/04/2019).

**p. 59 - Figura 113:** Set da linha Architecture do Guggenheim Museum. Fonte: [https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/61LKVzPAyHL.\\_SL1000\\_.jpg](https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/61LKVzPAyHL._SL1000_.jpg) (acesso em 07/04/2019).

**p. 59 - Figura 114:** Set da linha Architecture da cidade de Londres. Fonte: [https://www.lego.com/r/www/r/catalogs/-/media/catalogs/products/architecture/2018%20white%20background/primary/lego\\_21034\\_web\\_pri\\_1488\\_1.jpg?l.r=729792092](https://www.lego.com/r/www/r/catalogs/-/media/catalogs/products/architecture/2018%20white%20background/primary/lego_21034_web_pri_1488_1.jpg?l.r=729792092) (acesso em 07/04/2019).

**p. 59 - Figura 115:** Set da linha Architecture do Arco do Triunfo. Fonte: [https://http2.mlstatic.com/lego-architecture-arco-do-triunfo-D\\_NQ\\_NP\\_754461-MLB28046119300\\_082018-F.jpg](https://http2.mlstatic.com/lego-architecture-arco-do-triunfo-D_NQ_NP_754461-MLB28046119300_082018-F.jpg) (acesso em 07/04/2019).

architecture-arco-do-triunfo-D\_NQ\_NP\_754461-MLB28046119300\_082018-F.jpg (acesso em 07/04/2019).

**p. 59 - Figura 116:** Set da linha Architecture da cidade de Nova York. Fonte: <https://i.ytimg.com/vi/W-V7JCFIbfo/maxresdefault.jpg> (acesso em 07/04/2019).

**p. 59 - Figura 117:** Set da linha Architecture Studio. Fonte: <https://www.loopaza.com/media/catalog/product/cache/1/image/1800x/040ec09b1e35df139433887a97daa66f/l/e/lego-architecture-studio-21050-02.jpg> (acesso em 07/04/2019).

**p. 60 - Figuras 118, 119, 120 e 121:** Modelos realizados a partir das peças do set LEGO Architecture Studio. Fonte: <https://brickset.com/article/16305/review-the-lego-architect> (acesso em 07/04/2019).

**p. 61 - Figura 122, 123, 124 e 125:** Modelos de estudo realizados com LEGO pelo estúdio arquitetônico holandês MVRDV. Segundo Winy Maas, líder do estúdio, o objetivo da pesquisa era entender a “porosidade e suas potencialidades” para enfrentar a elevada densidade urbana do território europeu. Atualmente, muitos escritórios de arquitetura vem utilizando os tijolinhos da LEGO para realizar modelos físicos. Fonte: <https://www.detail.de/artikel/porous-city-open-the-tower-in-cannes-10281/> (acesso em 07/04/2019).

**p. 64 - Figura de abertura do cap. 4** – modificada pela autora – Fonte: <https://bobandsuewilliams.com/images/milan->

expo-2015-5.jpg (acesso em 08/05/2019).

**p. 68 - Figura 126:** Escada pré-fabricada. Fonte: <http://reformafacil.com.br/produtos/escadas-produtos/escada-pre-fabricada/> (acesso em 04/05/2019).

**p. 68 - Figura 127:** Peças de laje pré-fabricadas. Fonte: [https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/cresce-a-demanda-por-prefabricados-de-concreto\\_7096\\_0\\_\(acesso em 04/05/2019\).](https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/cresce-a-demanda-por-prefabricados-de-concreto_7096_0_(acesso em 04/05/2019).)

**p. 68 - Figura 128:** Vigas pré-fabricadas. Fonte: [http://www.solvebrasilconcreto.com.br/vigas-concreto-pre-fabricadas\\_\(acesso em 04/05/2019\).](http://www.solvebrasilconcreto.com.br/vigas-concreto-pre-fabricadas_(acesso em 04/05/2019).)

**p. 69 - Figura 129:** Acidente do edifício Ronan Point de 22 andares, em Canning Town, Newham, na Inglaterra (1968). Fonte: <http://archineeringtalk.com/wp-content/uploads/2017/06/ronanpoint0.jpg> (acesso em 04/05/2019).

**p. 69 - Figura 130:** Acidente do edifício Ronan Point de 22 andares, em Canning Town, Newham, na Inglaterra (1968). Fonte: [https://www.newcivilengineer.com/pictures/1240x826/1/6/1/3111161\\_ronanpointbbc3to2.jpg](https://www.newcivilengineer.com/pictures/1240x826/1/6/1/3111161_ronanpointbbc3to2.jpg) (acesso em 04/05/2019).

**p. 69 - Figura 131:** Acidente do edifício Ronan Point de 22 andares, em Canning Town, Newham, na Inglaterra (1968). Fonte: <https://www.theguardian.com/society/from-the-archive-blog/gallery/2018/may/16/ronan-point-tower-collapse-may-1968> (acesso em 04/05/2019).

<https://www.theguardian.com/society/gallery/2018/may/16/ronan-point-tower-collapse-may-1968> (acesso em 04/05/2019).

**p. 70 - Figura 132:** O sistema construtivo “tilt-up” consiste em executar as paredes na horizontal, erguendo-as depois de pronta. Fonte: <http://tilt-up.org/tilt-uptoday/wp-content/uploads/2016/02/1.jpg> (acesso em 04/05/2019).

**p. 70 - Figura 133:** O sistema construtivo “tilt-up” consiste em executar as paredes na horizontal, erguendo-as depois de pronta. Fonte: <https://engciv.files.wordpress.com/2012/07/tiltuplift2.jpg> (acesso em 04/05/2019).

**p. 70 - Figura 134:** O sistema construtivo “tilt-up” consiste em executar as paredes na horizontal, erguendo-as depois de pronta. Fonte: [https://www.wconline.com/ext/resources/issues/2017/August/WC0817-FT5-Tilt-up\\_Walls-p1FT.jpg](https://www.wconline.com/ext/resources/issues/2017/August/WC0817-FT5-Tilt-up_Walls-p1FT.jpg) (acesso em 04/05/2019).

**p. 72 - Figura 135:** Máquina de impressão 3D (processo aditivo). Fonte: <https://www.oaloo.com.br/impressao-3d-o-que-e-2/> (acesso em 05/05/2019).

**p. 72 - Figura 136:** Máquina de fresagem CNC (processo subtrativo). Fonte: [http://3.bp.blogspot.com/-AEIZ-ZtR5BQ/U5hNFQ-IXiI/AAAAAAAACHE/\\_0rQZR2jN8E/s1600/DSC00535.JPG](http://3.bp.blogspot.com/-AEIZ-ZtR5BQ/U5hNFQ-IXiI/AAAAAAAACHE/_0rQZR2jN8E/s1600/DSC00535.JPG) (acesso em 05/05/2019).

**p. 72 - Figura 137:** Máquina de corta a jato de água

(processo subtrativo). Fonte: [https://riosupercorte.com.br/post\\_servicos/corte-jato-dagua/](https://riosupercorte.com.br/post_servicos/corte-jato-dagua/) (acesso em 05/05/2019).

**p. 73 - Figura 138:** Impressão SLA. Fonte: [https://afinkopolimeros.com.br/wp-content/uploads/2018/10/Impress%C3%A3o3D\\_SLA-2.jpg](https://afinkopolimeros.com.br/wp-content/uploads/2018/10/Impress%C3%A3o3D_SLA-2.jpg) (acesso em 05/05/2019).

**p. 73 - Figura 139:** Impressão SLS. Fonte: <http://cdn.instructables.com/F0H/G3K6/GIJG2H2T/F0HG3K6GIJG2H2T.MEDIUM.jpg> (acesso em 05/05/2019).

**p. 73 - Figura 140:** Impressão FDM. Fonte: <http://itsbrasil.org.br/2018/10/08/laboratorios-de-fabricacao-digital-oferecem-cursos-gratis-sobre-robotica-eletronica-e-marcenaria/> (acesso em 05/05/2019).

**p. 74 - Figura 141:** Projeto escultural em forma de peixe de Frank Gehry. Fonte: <https://i.pinimg.com/originals/44/81/18/448118c5422535c5b20e1d6edf2312db.jpg> (acesso em 10/04/2019).

**p. 74 - Figura 142:** Zollhoff Towers de Frank Gehry, em Dusseldorf, na Alemanha. Fonte: <https://steemitimages.com/> (acesso em 05/05/2019).

**p. 75 - Figura 143:** Ilustrações do Sistema Construtivo “Contour Crafting” baseado na extrusão de material cimentício. Fonte: [https://www.sculpteo.com/blog/wp-content/uploads/2018/06/CC\\_Curve\\_House.jpg](https://www.sculpteo.com/blog/wp-content/uploads/2018/06/CC_Curve_House.jpg) (acesso em 10/04/2019).

**p. 75 - Figura 144:** Ilustrações do Sistema Construtivo “Contour Crafting” baseado na extrusão de material cimentício. Fonte: <https://3dprinting.com/wp-content/uploads/2016/07/contour-crafting.jpg> (acesso em 10/04/2019).

**p. 77 - Figura 145:** Edifício executado com tecnologia de impressão 3D em concreto pela WinSun, Parque Industrial de Suzhou, na China. Esse é o edifício mais alto do mundo construído através dessa tecnologia. Fonte: <https://images.techhive.com/images/article/2015/01/3d-building-100563637-orig.png> (acesso em 10/04/2019).

**p. 77 - Figura 146:** Edifício executado com tecnologia de impressão 3D em concreto pela WinSun, Parque Industrial de Suzhou, na China. Esse é o edifício mais alto do mundo construído através dessa tecnologia. Fonte: <http://camerondutton.com/printing-houses/> (acesso em 10/04/2019)

**p. 77 - Figura 147:** Edifício executado com tecnologia de impressão 3D em concreto pela WinSun, Parque Industrial de Suzhou, na China. Esse é o edifício mais alto do mundo construído através dessa tecnologia. Fonte: <https://www.cnet.com/news/worlds-first-3d-printed-apartment-building-constructed-in-china/> (acesso em 08/05/2019).

**p. 78 - Figura 148:** Kit de componentes da marca Bee Blocks. Fonte: [https://images-shoptime.b2w.io/produtos/01/00/sku/27753/2/27753245\\_1SZ.jpg](https://images-shoptime.b2w.io/produtos/01/00/sku/27753/2/27753245_1SZ.jpg) (acesso em 08/05/2019).

**p. 78 - Figura 149:** Kit de componentes da marca DM Blocks. Fonte: [https://http2.mlstatic.com/blocos-de-montar-esquadro-da-policia-dm-blocks-368-peças-D\\_NQ\\_NP\\_921161-MLB26640383115\\_012018-F.jpg](https://http2.mlstatic.com/blocos-de-montar-esquadro-da-policia-dm-blocks-368-peças-D_NQ_NP_921161-MLB26640383115_012018-F.jpg) (acesso em 08/05/2019).

**p. 79 - Figura 150:** Kit de componentes da marca Mega Construx. Fonte: [https://bumerangbrinquedos.vteximg.com.br/arquivos/ids/164135/DYG87\\_DYG88\\_1-MEGA-CONSTRUX-CAIXA-DE-BLOCOS-GRANDE.jpg](https://bumerangbrinquedos.vteximg.com.br/arquivos/ids/164135/DYG87_DYG88_1-MEGA-CONSTRUX-CAIXA-DE-BLOCOS-GRANDE.jpg) (acesso em 08/05/2019).

**p. 79 - Figura 151:** Kits de componentes da marca Mega Bloks, da empresa canadense Mega Brands. Fonte: [http://www.blokcity.com/wiki/images/c/ca/2426\\_Ultimate\\_Vehicle\\_Collection.jpg](http://www.blokcity.com/wiki/images/c/ca/2426_Ultimate_Vehicle_Collection.jpg) (acesso em 08/05/2019).

**p. 79 - Figura 152:** Kits de componentes da marca Mega Bloks, da empresa canadense Mega Brands. Fonte: [https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/91-jLapDznL.\\_SX355\\_.jpg](https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/91-jLapDznL._SX355_.jpg) (acesso em 08/05/2019).

**p. 79 - Figura 153:** Kit de componentes da marca Tand. Fonte: <https://www.pontofrio-imagens.com.br/brinquedos/BlocosdeMontar/outrsblocosdemontar/11721641/1074200132/tand-200-peças-toyster-11721641.jpg> (acesso em 08/05/2019).

pecas-toyster-11721641.jpg (acesso em 08/05/2019).

**p. 79 - Figura 154:** Kit de componentes da marca Fan Fun. Esta marca até ressalta a compatibilidade de suas peças com os blocos de outras marcas. Fonte: [https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1141467169-blocos-de-montar-construcoes-grandes-obra-fanfun-\\_JM?quantity=1](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1141467169-blocos-de-montar-construcoes-grandes-obra-fanfun-_JM?quantity=1) (acesso em 08/05/2019).

**p. 80 - Figura de abertura do cap. 5:** Foto da autora.

**p. 84 - Figura 155:** Implantação do projeto Cajazeiras. Fonte: <https://www.flickr.com/photos/alarquiteto/17119300302/sizes/c/> (acesso em 31/03/2019).

**p. 84 - Figura 156:** Implantação do projeto Pernambués. Fonte: <http://piniweb17.pini.com.br/construcao/arquitetura/lele-projeta-duas-propostas-para-o-minha-casa-minha-vida-220098-1.aspx> (acesso em 31/03/2019).

**p. 85 - Figura 157:** Tipologia de prédio em lâmina. Fonte: <http://piniweb17.pini.com.br/construcao/arquitetura/lele-projeta-duas-propostas-para-o-minha-casa-minha-vida-220098-1.aspx> (acesso em 31/03/2019).

**p. 85 - Figura 158:** Tipologia de casas geminadas. Fonte: <http://piniweb17.pini.com.br/construcao/arquitetura/lele-projeta-duas-propostas-para-o-minha-casa-minha-vida-220098-1.aspx> (acesso em 31/03/2019).

**p. 86 - Figura 159:** Opção de planta das casas geminadas em formato trapezoidal. Essa configuração facilita a implantação em posições sinuosas, onde é necessário se adequar à topografia do terreno. Fonte: <https://www.flickr.com/photos/alarquiteto/17119300302/sizes/c/> (acesso em 31/03/2019).

**p. 86 - Figura 160:** Opção de planta das casas geminadas em formato trapezoidal. Essa configuração facilita a implantação em posições sinuosas, onde é necessário se adequar à topografia do terreno. Fonte: SILVA, 2017 p. 82.

**p. 87 - Figura 161:** Primeira Etapa: instalação da fábrica ou unidade móvel de produção. Fonte: SILVA, 2017 p.86.

**p. 87 - Figura 162:** Segunda Etapa: montagem da estrutura metálica. Desde sua fundação, que se dá pelo estaqueamento dos pilares metálicos e seus contraventamentos. Não há cortes ou qualquer movimentação de terra nessa fase para não desestabilizar a estrutura natural do terreno. A ideia de apoio em palafitas é a mesma utilizadas em construções informais nas encostas. Fonte: SILVA, 2017 p.87.

**p. 87 - Figura 163:** Terceira Etapa: finalização da montagem. Há a instalação dos fechamentos das habitações pelo posicionamento junto à estrutura dos painéis de argamassa armada. Fonte: SILVA, 2017 p. 88.

**p. 87 - Figura 164:** Perspectiva eletrônica com o

bondinho. Fonte: <https://www.flickr.com/photos/alarquiteto/17119300302/sizes/c/> (acesso em 31/03/2019).

**p. 87 - Figura 165:** Perspectiva eletrônica com vista para a cumeada. Fonte: <http://piniweb17.pini.com.br/construcao/arquitetura/lele-projeta-duas-propostas-para-o-minha-casa-minha-vida-220098-1.aspx> (acesso em 31/03/2019).

**p. 87 - Figura 166:** Perspectiva eletrônica do conjunto construído de casas geminadas da encosta. Fonte: <http://piniweb17.pini.com.br/construcao/arquitetura/lele-projeta-duas-propostas-para-o-minha-casa-minha-vida-220098-1.aspx> (acesso em 31/03/2019).

**p. 88 - Figura 167:** Planta tipo do prédio de apartamentos em lâmina. Fonte: <http://piniweb17.pini.com.br/construcao/arquitetura/lele-projeta-duas-propostas-para-o-minha-casa-minha-vida-220098-1.aspx> (acesso em 31/03/2019).

**p. 88 - Figura 168:** Apartamento: unidade típica - 39,60 m<sup>2</sup>. Fonte: <http://piniweb17.pini.com.br/construcao/arquitetura/lele-projeta-duas-propostas-para-o-minha-casa-minha-vida-220098-1.aspx> (acesso em 31/03/2019).

**p. 88 - Figura 169:** Habitação geminda (esquerda): módulo superior com escada - 34,40 m<sup>2</sup>. Habitação geminda (direita): módulo mínimo com área de serviço - 32,80 m<sup>2</sup>. Fonte: <http://piniweb17.pini.com.br/construcao/arquitetura/lele-projeta-duas-propostas-para-o-minha-casa-minha-vida-220098-1.aspx> (acesso em 31/03/2019).

vida-220098-1.aspx (acesso em 31/03/2019).

**p. 89 - Figura 170:** Perspectiva eletrônica panorâmica do projeto Pernambués. Fonte: <https://www.flickr.com/photos/alarquiteto/17119300302/sizes/c/> (acesso em 31/03/2019).

**p. 90 - Figura 171:** Perspectiva eletrônica do projeto Pernambués. Fonte: <https://www.flickr.com/photos/alarquiteto/17119300302/sizes/c/> (acesso em 31/03/2019).

**p. 91 - Figura 172:** Plate 1x1 (esquerda) e brick 1x1 (direita). Fonte: [https://www.brickina.eu/images/product\\_images/info\\_images/3024-09.jpg](https://www.brickina.eu/images/product_images/info_images/3024-09.jpg) (acesso em 18/05/2019).

**p. 91 - Figura 173:** Plate 1x1 (esquerda) e brick 1x1 (direita). Fonte: [https://www.picclickimg.com/d/l400/pict/293040094148/\\_LEGO-White-Brick-1x1-100-to-1000.jpg](https://www.picclickimg.com/d/l400/pict/293040094148/_LEGO-White-Brick-1x1-100-to-1000.jpg) (acesso em 18/05/2019).

**p. 91 - Figura 174:** 3 plates = 1 brick. Foto da autora.

**p. 91 - Figura 175:** 1 brick vertical ≠ 1 brick horizontal ≠ 2 bricks vertical. Foto da autora.

**p. 91 - Figura 176:** 1 brick vertical + 2 plates vertical = 1 brick horizontal. Foto da autora.

**p. 91 - Figura 177:** 5 plates vertical = 1 brick horizontal. Foto da autora.

**p. 92 - Figura 178:** Modelo eletrônico dos prédios de apartamento laminares trapezoidais. Imagens produzidas pela autora a partir do software LEGO Digital Designer (LDD).

**p. 92 - Figura 179 e 180:** Modelo digital de conjunto de unidades de casas geminadas na encosta (à esquerda). Modelo digital de prédio de apartamentos laminar retilíneo (à direita). Imagens produzidas pela autora a partir do software LEGO Digital Designer (LDD).

**p. 93 - Figura 181:** 2 bricks 2x1 = 1 brick 1x4. Foto da autora.

**p. 93 - Figura 182:** 2 bricks 2x1 = 1 brick 2x2. Foto da autora.

**p. 93 - Figura 183:** 3 plates redondos 2x2 = 1 brick redondo 2x2. Foto da autora.

**p. 93 - Figura 184:** plates transparentes 3x1 substituindo plates 2x1. Foto da autora.

**p. 93 - Figura 185:** na fachada do modelo, não é possível identificar se o plate utilizado é 1x1 ou 2x1. Foto da autora.

**p. 93 - Figura 186:** bricks e plates redondos brancos substituíram bricks e plates redondos coloridos. Foto da autora.

**p. 93 - Figura 187:** bricks e plates quadrados brancos substituíram bricks e plates quadrados coloridos. Foto da autora.

**p. 93 - Figuras 188 e 189:** bricks e plates brancos substituíram bricks e plates verdes. Fotos da autora.

**p. 93 - Figura 190:** bricks 2x1 coloridos opacos substituíram bricks 1x1 coloridos transparentes. Foto da autora.

**p. 94 - Figura 191:** Modelo de conjunto de unidades de casas geminadas na encosta. Foto da autora.

**p. 94 - Figura 192:** Vista frontal das casas geminadas. Foto da autora.

**p. 94 - Figura 193:** Detalhe das peças articulas que permitiram construir o plano inclinado da encosta. Foto da autora.

**p. 94 - Figura 194:** Modelos de segmentos trapezoidais da tipologia do edifício de apartamentos em lâmina. Foto da autora.

**p. 94 - Figura 195:** Modelo de segmento retilíneo da tipologia do edifício de apartamentos em lâmina. Foto da autora.

**p. 95 - Figura 196:** Modelo digital idealizado de conjunto de

unidades de casas geminadas na encosta. Imagem produzida pela autora a partir do software LEGO Digital Designer (LDD).

**p. 95 - Figura 197:** Peças utilizadas para construir o modelo digital idealizado de conjunto de unidades de casas geminadas na encosta. Imagem produzida pela autora a partir do software LEGO Digital Designer (LDD).

**p. 95 - Figura 198:** Modelo construído de conjunto de unidades de casas geminadas na encosta. Foto da autora.

**p. 95 - Figura 199:** Peças utilizadas para construir o modelo de conjunto de unidades de casas geminadas na encosta. Imagem produzida pela autora a partir do software LEGO Digital Designer (LDD).

**p. 96 - Figura 200:** Modelo digital idealizado de segmentos trapezoidais da tipologia do edifício de apartamentos em lâmina. Imagem produzida pela autora a partir do software LEGO Digital Designer (LDD).

**p. 96 - Figura 201:** Peças utilizadas para construir o modelo digital idealizado de segmentos trapezoidais da tipologia do edifício de apartamentos em lâmina. Imagem produzida pela autora a partir do software LEGO Digital Designer (LDD).

**p. 97 - Figura 202:** Modelo construído de segmentos trapezoidais da tipologia do edifício de apartamentos em

lâmina. Foto da autora.

**p. 97 - Figura 203:** Peças utilizadas para construir os modelos de segmentos trapezoidais da tipologia do edifício de apartamentos em lâmina. Imagem produzida pela autora a partir do software LEGO Digital Designer (LDD).

**p. 98 - Figura 204:** Modelo digital idealizado de segmento retilíneo da tipologia do edifício de apartamentos em lâmina. Imagem produzida pela autora a partir do software LEGO Digital Designer (LDD).

**p. 98 - Figura 205:** Peças utilizadas para construir o modelo digital idealizado de segmento retilíneo da tipologia do edifício de apartamentos em lâmina. Imagem produzida pela autora a partir do software LEGO Digital Designer (LDD).

**p. 98 - Figura 206:** Modelo construído de segmento retilíneo da tipologia do edifício de apartamentos em lâmina. Foto da autora.

**p. 98 - Figura 207:** Peças utilizadas para construir o modelo de segmento retilíneo da tipologia do edifício de apartamentos em lâmina. Imagem produzida pela autora a partir do software LEGO Digital Designer (LDD).

**p. 99 - Figura 208:** Logo do software Fusion 360, da Autodesk. Fonte: <https://technohackers.org/wp-content/uploads/2017/09/Autodesk-Fusion-360-logo.png> (acesso em

26/05/2019).

**p. 99 - Figura 209:** Interface do software Fusion 360, utilizado para modelar as peças que foram produzidas através da impressão 3D. Fonte: Captura de tela da autora.

**p. 100 - Figura 210:** Os Fab Labs Livre SP são equipados com impressoras 3D do modelo Shethi Ex da fabricante Sethi3D, e aceitam filamento plástico ABS ou PLA. Fonte: <http://fablablivresp.art.br/nossas-maquinas> (acesso em 26/05/2019)

**p. 100 - Figura 211:** Resultado da impressão com a máquina de bico extrusor entupido. As peças não foram preenchidas corretamente. Foto da autora.

**p. 101 - Figura 212:** Objeto impresso a partir de filamento ABS. Fonte: [http://www.garagemfablab.com.br/wp-content/uploads/2016/06/MG\\_2405.png](http://www.garagemfablab.com.br/wp-content/uploads/2016/06/MG_2405.png) (acesso em 26/05/2019).

**p. 101 - Figura 213:** Objeto impresso a partir de filamento PLA. Fonte: <https://web.archive.org/web/20180604143509/https://filamentos3dbrasildotcom.files.wordpress.com/2015/08/dragc3a3o-03.jpg> (acesso em 26/05/2019).

**p. 102 - Figura 214:** Peças teste para verificar os ajustes necessários das dimensões finais. Foto da autora.

**p. 102 - Figura 215:** Impressora do Fab Lab utilizada para imprimir as peças teste da Figura 213. Foto da autora.

**p. 102 - Figuras 216 e 217:** A peça beje é um plate da LEGO e a peça azul é um plate impresso. Um dos ajustes foi em relação à altura do plate. Nas imagens é possível perceber que as peças não encaixam como deveriam. Fotos da autora.

**p. 102 - Figuras 218 a 221:** Através das peças teste foi verificada a necessidade de pequenos ajustes na altura e na espessura das paredes da base. Fotos da autora.

**p. 103 - Figuras 222 a 224:** Peça em ABS com deformação curva devido ao descolamento precoce da mesa. Fotos da autora.

**p. 103 - Figura 225:** Peça em ABS com deformações (furinhos) na superfície lateral devido à falha na fixação das camadas. Foto da autora.

**p. 103 - Figura 226:** Peças em ABS marcadas pela estrutura de apoio da impressão. Foto da autora.

**p. 103 - Figura 227:** Peça em PLA danificada pela remoção da estrutura de apoio da impressão. Foto da autora.

**p. 103 - Figura 228:** Torre de conexão, plate de conexão esquerdo e plate de conexão direito. Foto da autora.

**p. 103 - Figura 229:** Torre de conexão, plate de conexão esquerdo e plate de conexão direito, vistos por baixo. Foto da autora.

**p. 104 - Figuras 230 a 235:** Impressão da torre de conexão em PLA, através de impressora do Fab Lab. Na primeira imagem é possível observar a impressão da estrutura de apoio para o teto da base. A partir da segunda imagem, o gradil diagonal construído serve para deixar a peça mais rígida, evitando que as paredes da peça deformem ou quebrem. A última imagem mostra as peças prontas. O PLA tem um acabamento mais brilhante que o ABS. Fotos da autora.

**p. 105 - Figuras 236 a 238:** Impressão da torre de conexão em ABS, através de impressora particular. A estrutura de preenchimento e reforço das paredes foi feita em hexágonos nessa máquina. O resultado final é bem parecido com as peças impressas em PLA. Fotos da autora.

**p. 105 - Figuras 239 e 240:** No total, foram impressas 4 torres de conexão, sendo 2 em ABS (cinza claro) e 2 em PLA (cinza escuro); 8 plates de conexão esquerdo e 8 plates de conexão direito, todos em ABS. Fotos da autora.

**p. 106 - Figuras 241 a 244:** Vistas do modelo de conjunto de casas geminadas na encosta. Fotos da autora.

**p. 107 - Figuras 245 a 249:** Vistas do modelo de apartamentos em lâmina retilíneo. Fotos da autora.

**p. 107 - Figuras 250 a 252:** Vistas do modelo de apartamentos em lâmina trapezoidal. Fotos da autora.

**p. 108 - Figuras 253 a 256:** Vistas do modelo de apartamentos em lâmina retilíneo e trapezoidal. Fotos da autora.

**p. 108 - Figuras 257 a 259:** Configuração com curva mais acentuada entre os prédios azul e verde. Fotos da autora.

**p. 109 - Figuras 260 e 261:** Apenas invertendo o sentido da torre de conexão, foi possível criar uma nova configuração com os segmentos da tipologia dos prédios em lâmina, com curvas em duas direções. Fotos da autora.

**p. 109 - Figuras 262 e 263:** Configuração com segmentos retilíneos formando um trecho maior na região central e segmentos trapezoidais formando curvas nas extremidades. Fotos da autora.

**p. 109 - Figuras 264 e 265:** Configuração com segmentos retilíneos prolongados e segmento trapezoidal formando uma curva acentuada (através da justaposição de duas torres de conexão) em uma das extremidades. Fotos da autora.

**p. 110 - Figuras 266 a 268:** Configuração com segmentos retilíneos formando um trecho maior na região central e segmentos trapezoidais formando curvas acentuadas em direções opostas nas extremidades. Fotos da autora.

**p. 112 - Figura de abertura do cap. 6:** Foto da autora.

**p. 118 - Figura de abertura do cap. 7:** modificada pela autora – Fonte: <https://i1.wp.com/www.advancedit.com.br/wp-content/uploads/2017/10/Livros-sobre-bancos-de-dados-Advanced-IT.jpg?fit=698%2C400&ssl=1> (acesso em 26/05/2019).