

ISCTE - IUL
Instituto Universitário de Lisboa

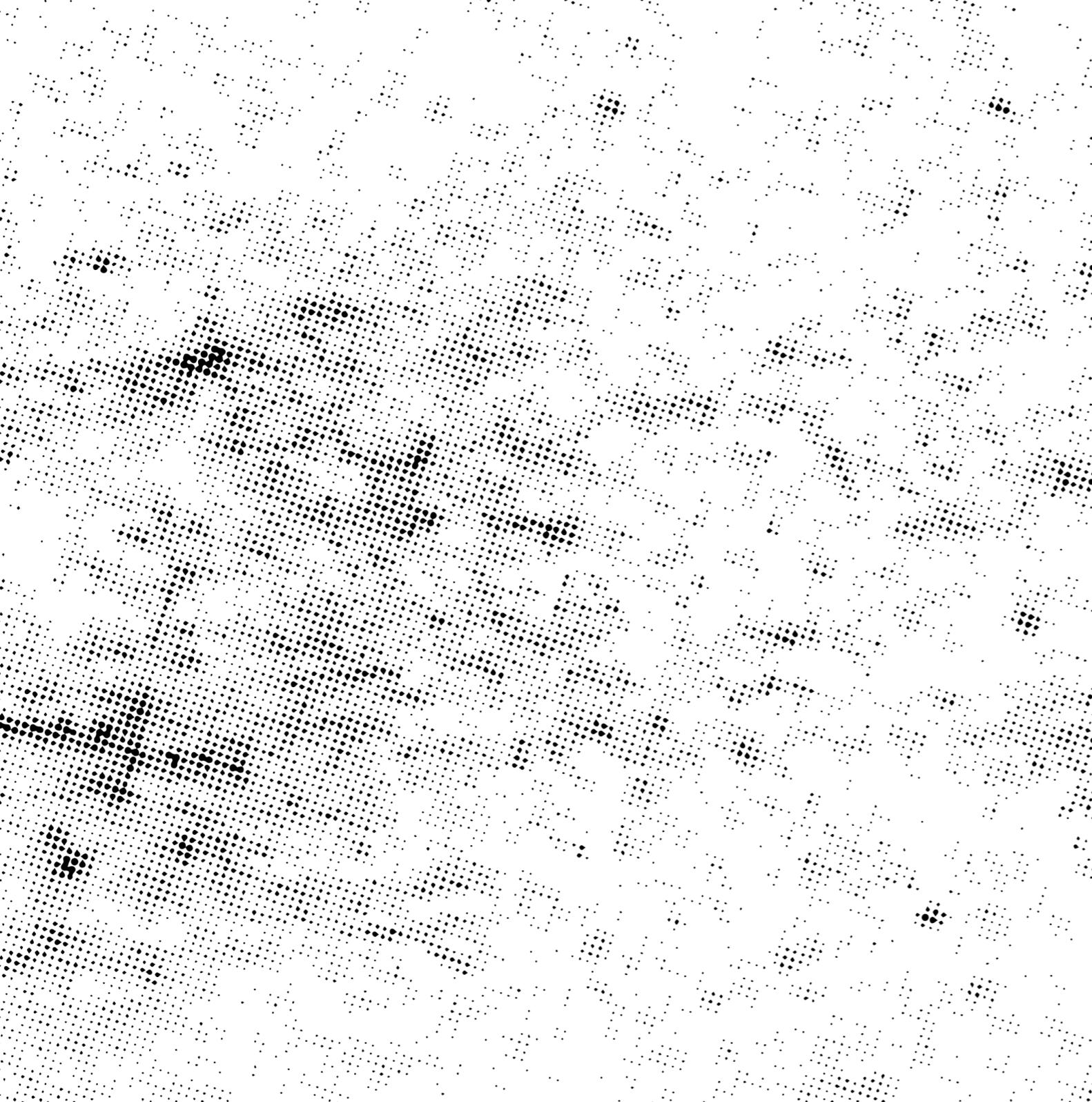
O ASPETO SOCIAL DA FABRICAÇÃO DIGITAL

Raquel Sales Martins
2015

Trabalho Teórico submetido como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura

Professora Doutora Arquitecta Alexandra Paio, Professora Auxiliar,

ISCTE - IUL
Instituto Universitário de Lisboa



RESUMO

Como se constrói habitação para 7 mil milhões de pessoas? Existem diversos arquitetos e ateliers que conduzem investigações e protótipos de projetos para poderem responder à questão, tendo como princípio que a forma como se hoje se constrói a arquitectura apenas dá resposta a 1% da população. As questões sociais e as descobertas tecnológicas de cada época vão sempre influenciando e despertando novos assuntos na construção da arquitectura: a máquina e os novos materiais na Revolução Industrial, as Guerras Mundiais no século XX, e a crise económica e as novas tecnologias no século XXI. A Fabricação Digital surgiu como resposta aos novos desafios arquitetónicos, no final do século XX, em que as novas ferramentas digitais, como os novos softwares e os computadores, possibilitaram um grande desenvolvimento na construção de formas mais arrojadas e sistemas construtivos mais complexos, em obras de grande escala. Contudo, com o surgimento da crise económica global dos últimos anos, e consequentemente decadência no sector da construção na Europa e nos EUA, abriu-se um novo caminho para a utilização das novas ferramentas de modo a responder às novas questões sociais, como as da habitação. Assim, através da Fabricação Digital, surge um novo processo de pensamento da construção da habitação, associado a uma sociedade - information-based society - com poucos recursos e de forma sustentável. No século XX, os arquitectos desenvolveram projetos que visavam a prefabricação de casas para classes trabalhadoras, onde impunham a sua visão de produzir arquitectura em fábricas. No século XXI a utilização das novas ferramentas digitais permitem aos arquitetos desenvolver novos sistemas de construção com materiais mais sustentáveis e de fácil montagem. O trabalho que se apresenta pretende demonstrar a relação direta entre as ferramentas utilizadas em cada época e a resposta social que a arquitetura pode fornecer à habitação, para o maior número de pessoas.

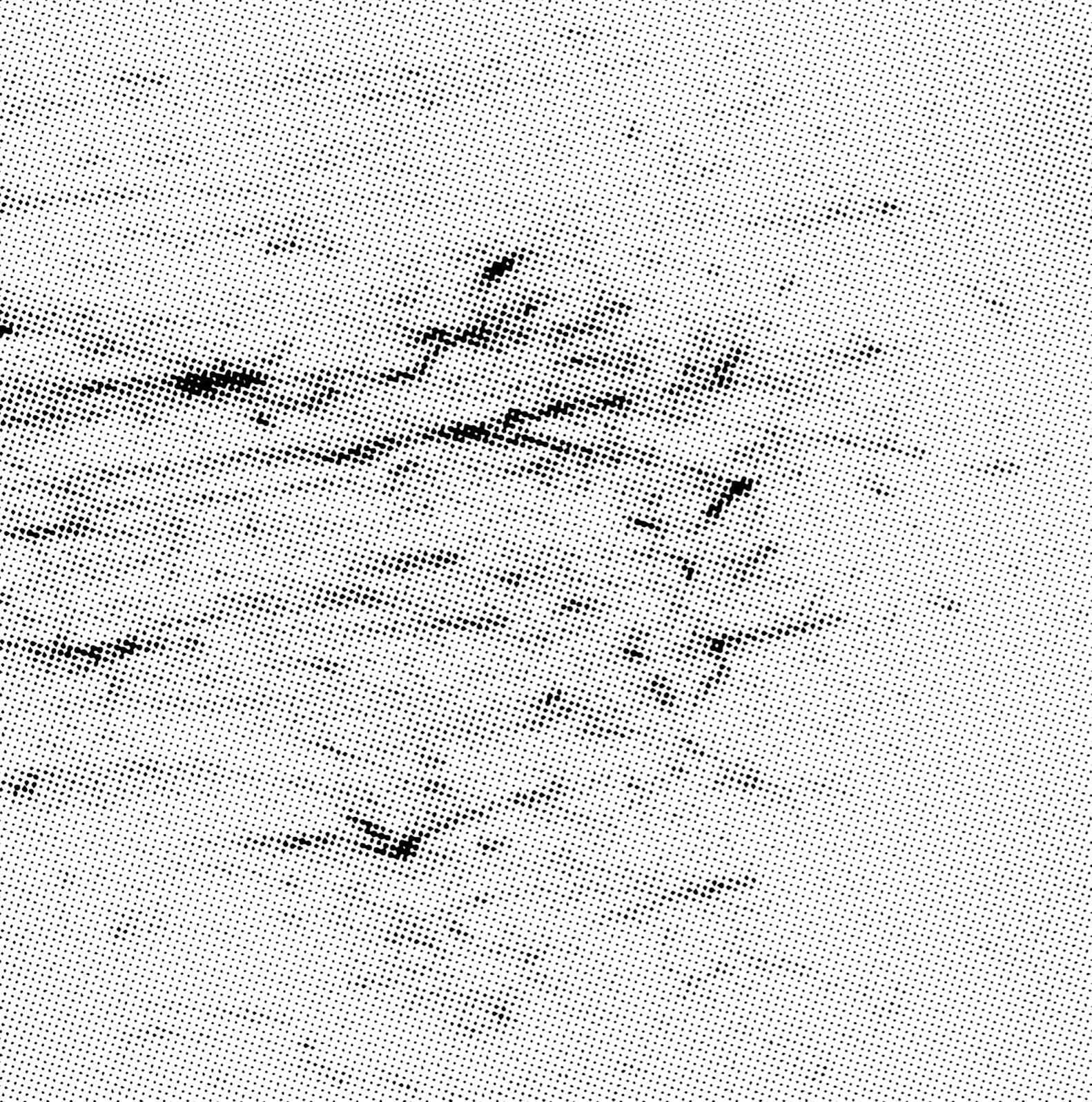
Palavras-chave: Fabricação Digital; Prefabricação; Habitação; Era Digital

ABSTRACT

How can we built housing for 7 billion people? There are several architects and offices that conduct investigations and prototypes of projects so they could answer to the question, based on the principle that how we built today only responds to 1% of the population. The social issues and the technological discoveries in each time have always been influenced and awoken new matters in the construction of architecture: the machines and new materials in the Industrial Revolution, the 20th century's World Wars, and the 21th's economical crisis and new technologies. Digital Fabrication appear as an answer to new architectural challenges, at the end of the 20th century, wherein the new digital technologies such as new software and computers, enabled a great development in the construction of most bold forms and more complex building systems, in large-scale works. Yet, the global economical crisis in recent years, and consequently decline in the construction sector in Europe and the US, opened up a new way to use of new tools in order to respond to new social issues, as housing. Therefore, through Digital Fabrication, there's a new way of thinking the process of housing construction, associate to society - information-based society - with lower resources and in a sustainable way. In the 20th century, architects developed projects that sought prefabricated houses for the working classes, where the idea of producing architecture in factories was imposed. In the 21th century the use of new digital tools allow architects to develop new construction systems with sustainable materials with an easy assemblage system. This work pretend demonstrate the direct relation between the tools that was used in each time, with the social response that architecture can give to housing for the greatest number of people.

Key words: Digital Fabrication; Prefabrication; Dwelling; Digital Era





AGRADECIMENTOS

aos meus pais e irmão por toda a força e incentivo em todos os passos desta etapa

à restante família, à que está no outro lado da rua e a que está no outro lado do mundo

ao Nuno, por estar sempre presente

à Ana e à Beatriz,
por todos os momentos de partilha, pelas horas de conversa, alegrias,
bons momentos, e pelas horas de trabalho que passaram sempre a correr

a todos os amigos e colegas,
com quem tive o privilégio de trabalhar, falar sobre arquitectura,
e aos com quem partilhei jantares, fiz noitadas e bebi cafés

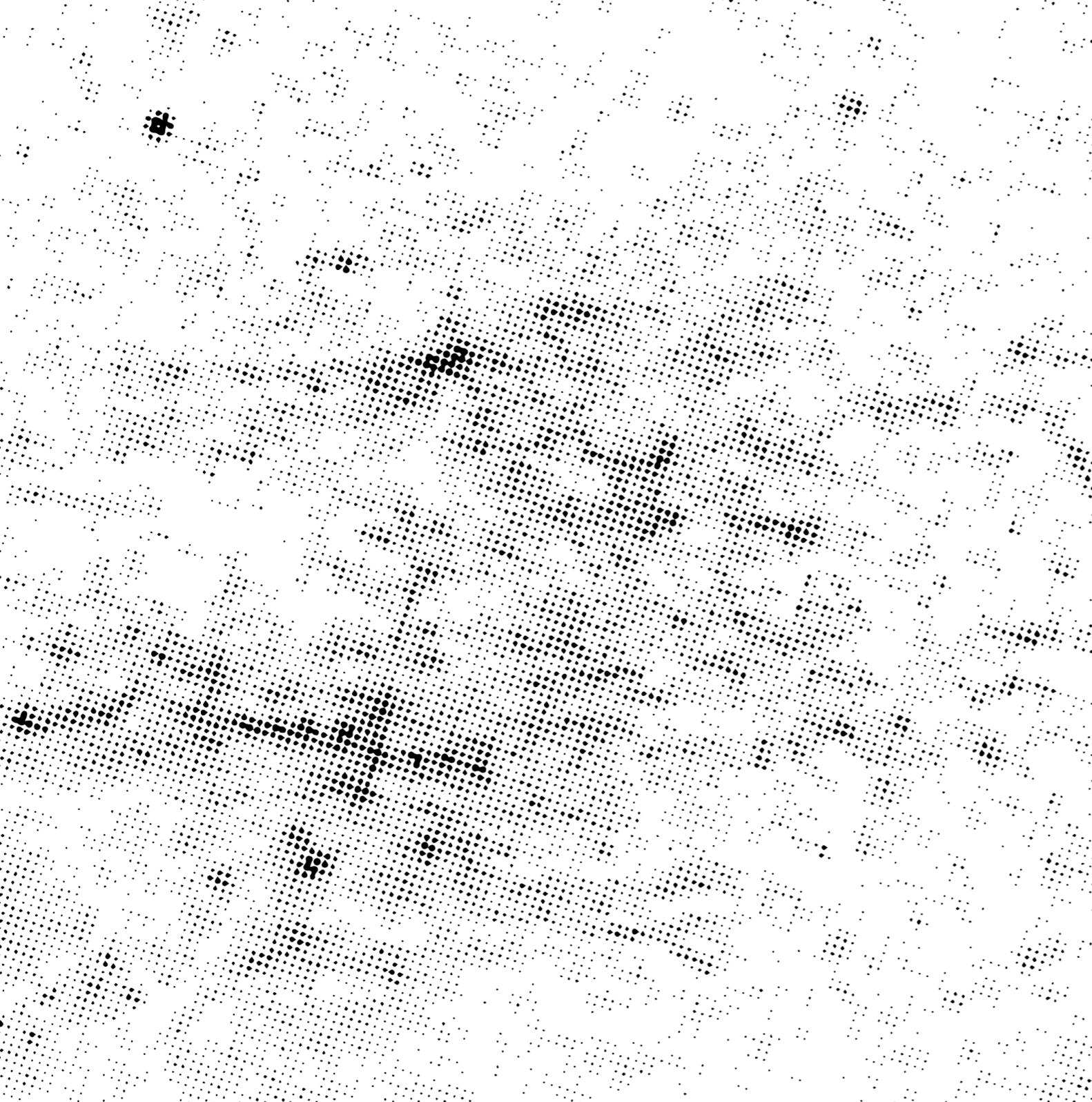
à professora Alexandra Paio,
não só pela orientação deste trabalho
mas por todas as oportunidades ao longo destes cinco anos

ao professor José Neves,
por todas as horas de conversa sobre arquitectura e cinema

a todos os professores,
que ao longo desta caminhada partilharam o seu conhecimento, trabalho, disciplina,
e por todas as oportunidades dadas ao longo do percurso

a todos os colegas e amigos do NAU e do VFabLab,
por todo o tempo, paciência e aprendizagem

ao Zé Norte e à Maria do Ricardo



Resumo	
Abstract	
Agradecimentos	
Índice	i
Índice de Figuras	iv
Glossário	vi
Introdução	viii
1. Digitalização da Arquitetura: da Revolução Industrial à Era Digital	1
1.1. Da Revolução Industrial à Era da Informação	2
1.2. Os limites do século XX	7
1.3. Século XX, 75 years of failure	8
1.3.1. Projetos	11
1.3.1.1. Le Corbusier	11
Maison Dom-ino (1914-1915)	11
1.3.1.2. Buckminster Fuller	12
Dymaxion House (1927)	
Wichita House (1944-1946)	
1.3.1.3. Frank Lloyd Wright	15
American System-Built Houses (1911-1917)	
Jacobs House (1936)	
1.3.1.4. Walter Gropius and Adolf Meyer	17
Baukasten (1922-1923)	

1.3.1.5. Walter Gropius et al.	19
Cooper Houses (1931 - 1942)	
1.3.1.6. Operation Breakthrough (1969-1976)	20
1.4. Era Digital	21
1.4.1. Frank Gehry: o pioneiro da Era Digital	23
1.4.2. Mass Production vs. Mass Customization	28
1.4.3. New-Vernacular	30
2. ARQUITETURA E FABRICAÇÃO DIGITAL	
2.1. Processo Digital: do ficheiro à fabricação	33
2.2. Ferramentas Digitais e Máquinas na Fabricação	33
2.2.1. Softwares: CAD, Modelação 3D, Parametrização	34
2.3. Métodos de Fabricação digital	34
2.3.1. Corte	34
2.3.2. Subtração	35
2.3.3. Adição	36
2.3.4. Formativo	36
2.4. Máquinas em Fabricação Digital	37
2.4.1. Corte a Laser	37
2.4.2. Fresadora	38
2.4.3. Prototipagem rápida	40
2.4.4. Digitalização 3D	40
2.4.5. Robótica	41
2.5. Estratégias em Fabricação Digital	

2.5.1. Contouring	42
2.5.2. Folding	43
2.5.3. Forming	44
2.5.4. Sectioning	44
2.5.5. Tiling/ Tessellating	45
2.6. Open-source	47
2.7. FabLabs	49
3. DA PREFABRICAÇÃO À PERSONALIZAÇÃO DIGITAL DA HABITAÇÃO	51
3.1. Aspeto social da fabricação digital	51
Home Delivery: Fabricating the Modern Dwelling	51
Micro Compact House	53
Digitally Fabricated Housing for New Orleans	55
System 3	56
BURST*008	57
Cellophane House	58
WikiHouse	61
3D Print House Canal	66
4. Qual o futuro? Prós e contras, certezas, dúvidas e expectativas	69
Considerações Finais	72
Referências Bibliográficas	74
Crédito de figuras	76

FIG. 1 Desenho parcial do Crystal Palace (1851), de Joseph Paxton	3
FIG. 2 Fotografia da Torre Eiffel (1877) em construção	4
FIG. 3 Peças da Lustron Westchester (casa prefabricada) antes da sua instalação em 1949	10
FIG. 4 Desenho da estrutura da Maison Dom-ino (1914)	11
FIG. 5 Planta ilustrando as áreas e a geometria	13
FIG. 6 Fuller com a maquete	13
FIG. 7 Processo de construção da Wichita House	14
FIG. 8 Perspetiva da Variação 3 das American System-Built Houses	15
FIG. 9 (do topo) Corte Longitudinal através da entrada; Corte Transversal; Corte Longitudinal	16
FIG. 10 Fotografia do Interior	16
FIG. 11 Axonometria das diversas opções de desenho	18
FIG. 12 Plantas das diversas opções de habitação	19
FIG. 13 Modelo Tridimensional do Walt Disney Concert Hall	23
FIG. 14 Fish (1992), Barcelona, Frank Gehry	25
FIG. 15 Nationale Nederlanden (1996), Praga, Frank Gehry	25
FIG. 16 Guggenheim Museum, Bilbao, Frank Gehry	26
FIG. 17 Maquete do Bjarke Ingles Group (BIG), utilização do corte a laser para fazer a fachada	37
FIG. 18 Fresadora	38
FIG. 19 Reflective Room - Manchester School of Architecture (2010). utilização de uma fresadora para o corte das peças	38
FIG. 20 Braço Robótico	41

FIG. 21 Fachada do Gantenbein Vineyard (2006) instalada através de módulos construídos com um braço robótico	41
FIG. 22 Maquete da MCH	53
FIG. 23 Fotografia do exterior da MCH	53
FIG. 24 Rendering sobre a produção e montagem	54
FIG. 25 Opções para customização	55
FIG. 26 Axonometria	56
FIG. 27 Diagrama de elementos do edifício	56
FIG. 28 Desenho construtivo das peças estruturais	58
FIG. 29 Fotografia do exterior	58
FIG. 30 Render do exterior	59
FIG. 31 Processo da WikiHouse	62
FIG. 32 Versão do sistema da Wikihouse	63
FIG. 33 Versão do sistema da Wikihouse pela Wikihouse Nova Zelândia	63
FIG. 34 Fotomontagem de uma 3D Print House Canal	67

CAD - *Computer-Aided Design*

CAM - *Computer-Aided manufacturing*

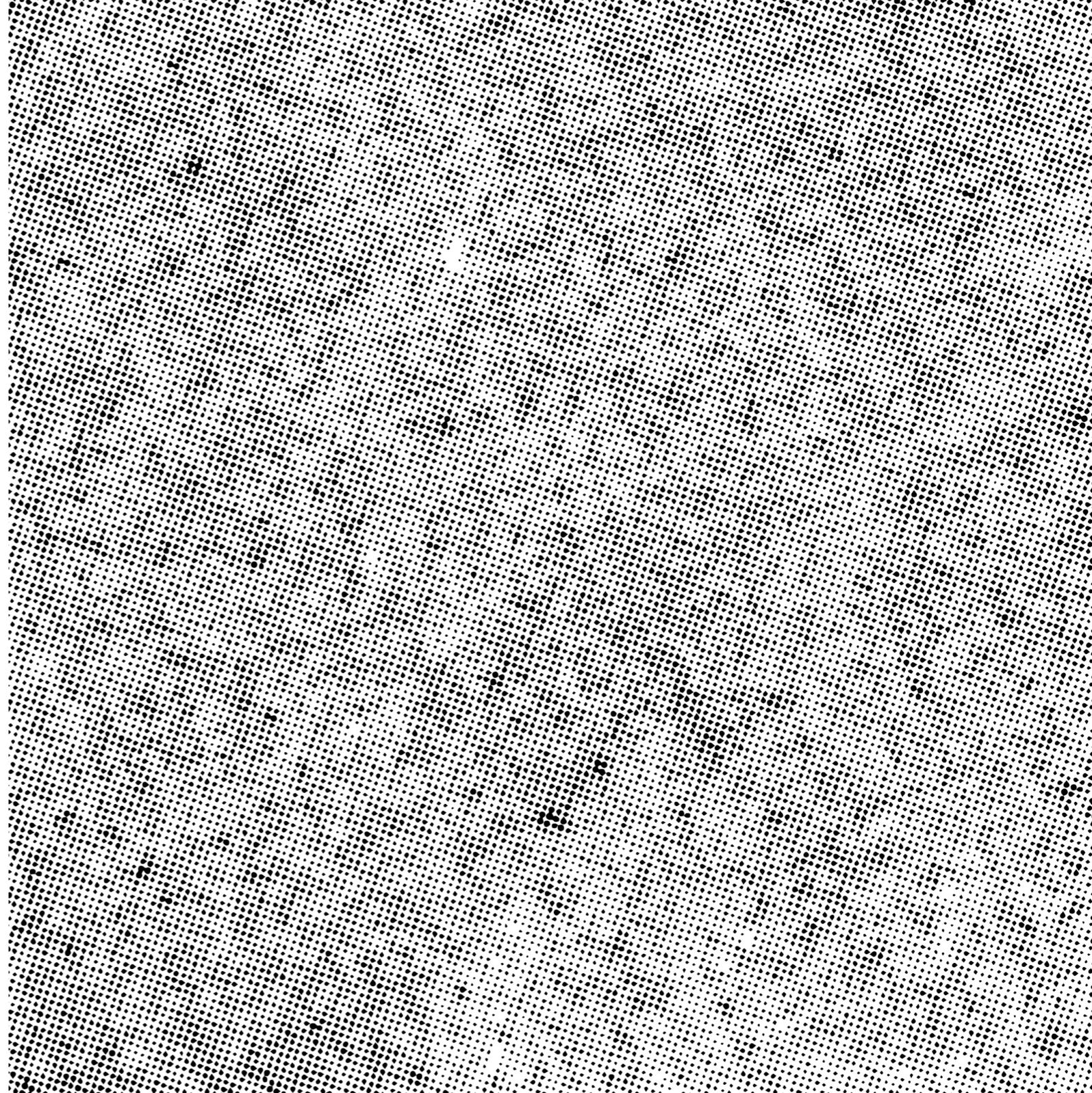
CNC - *Computer Numeric Computer*

CAAD - *Computer-Aided Architectural Design*

NURBS - *Non-Uniform Rational B-Splines*

DIY - *Do-it-Yourself*

FabLab - *Fabrication Laboratory*



O presente trabalho de investigação - *Aspeto Social da Fabricação Digital* - pretende retratar a evolução da arquitetura, desde o a revolução Industrial até a Revolução Digital, através das relações entre a tecnologia e sociedade.

Desde sempre a presença de ‘novas tecnologias’ na arquitetura, são o motivo impulsionador de mudanças no processo de construção. (Paio & Silva, 2013)

Na Revolução Industrial o conceito “progresso” surge associado à transição de métodos de produção artesanal para a produção por máquinas, tornando-se numa importante ferramenta ideológica nas mãos dos reformadores sociais e industriais. Neste contexto, surgem novos materiais e métodos de construção que permitiam novas soluções, criam novos padrões, novos problemas, e promovem simultaneamente novas formas em arquitetura. Em 1909, Walter Gropius (citado por Rocha (s.d.)) alerta para a pré-fabricação na arquitetura,

“A ideia de uma industrialização da construção das casas não se pode realizar sem que cada projeto utilize os mesmos elementos construtivos, de maneira a permitir uma fabricação em série que seja rentável e menos onerosa para o uso. É justamente a variedade entre os elementos que permitem satisfazer o desejo público: dar à casa um aspeto pessoal”.

Na Era da Informação os meios de comunicação em massa ampliaram nossas concepções espaciais e temporais. A produção em massa, democratiza o acesso à arquitetura. Na Revolução Digital o surgimento de novos *hardwares*, *softwares*, novas máquinas, e a internet, possibilitaram a transição de produção em massa para personalização em massa - *mass customization* - no século XXI. O termo personalização em massa surge em 1987 (Davis) no livro *Future Perfect*, que define a moldura conceptual do processo emergente caracterizado como uma combinação de processos artesanais e produção em massa (Naboni & Paoletti, 2015). Para Kolarevic (2003, p.4), não resta dúvida: uma nova arquitetura está emergindo da revolução digital, “(...) muito do mundo material atual, de simples produtos a aviões, é criado e produzido usando um processo no qual o projeto, a análise, a representação, fabricação e

montagem estão se tornando um processo colaborativo contínuo que é exclusivamente dependente das tecnologias digitais - uma continuação digital de projeto até produção”

Por detrás de cada revolução tecnológica houve outra revolução sociocultural que criou a atmosfera propícia ao seu desenvolvimento. A tecnologia, a sociedade e a arquitetura ‘andam de mãos dadas’, por vezes é a tecnologia a impulsionadora, por vezes são as questões sociais e por outras são as duas, que tentam informar e/ou dar respostas à arquitetura e aos arquitetos.

O trabalho apresenta-se dividido em três partes: (1) A Digitalização da Arquitetura, (2) A Arquitetura e a Fabricação Digital; (3) A Personalização Digital da Habitação, apresentando posteriormente; e (4) Qual o futuro? Prós e contras, certezas, dúvidas e expectativas, é o capítulo final, onde perguntas e respostas serão feitas de modo a entender questões e problemas ainda existentes, e ainda, como será o futuro da fabricação digital.

No primeiro capítulo - **A Digitalização da Arquitetura: Da Revolução Industrial à Revolução Digital** – é feito um retrato desde a invenção da máquina durante a Revolução Industrial até aos dias de hoje. Durante a Revolução Industrial, a evolução da máquina talvez tivesse sido uma das maiores mudanças para a indústria, mais particularmente para a construção de edifícios. Não só mudou a construção e o processo, como também o papel do arquiteto. Este começou a deixar o papel de *master builder* e passou a ter outras pessoas de outras áreas a contribuírem para o processo de desenho e construção. (Kieran & Timberlake, 2004, p. 23)

O século XX trouxe grandes desafios para os arquitetos da época, as duas Grandes Guerras Mundiais foram um forte impulsionador para o desenvolvimento de casas económicas. A crise económica e social instalada a partir da Primeira Guerra Mundial, fez com que, principalmente na Europa e na América do Norte, existisse um grande volume de experiências desenvolvidas por arquitetos como Le Corbusier, Frank Lloyd Wright ou Walter Gropius. Os projetos, que pretendiam conciliar a arquitetura e a indústria, faziam a união que estes arquitetos modernistas defendiam durante aquele período pois poderiam desenhar habitações a baixo custo e com pouco tempo de construção para a classe média. Muitos

destes projetos fracassaram ou nem de protótipos passaram, a prefabricação de casas desenhada por arquitetos de renome, acabara antes de começar, pois os custos, e embora fossem feitas em fábrica, não fossem os esperados e desejados pelos clientes. No final do século XX, a Revolução Digital, com a introdução do computador e de novos *softwares*, novos progressos foram feitos na arquitetura a possibilidade de contornar a dificuldade de fazer formas não-euclidianas fez com que grandes arquitetos com Frank Gehry, Zaha Hadid ou Shigeru Ban começassem a integrar as novas tecnologias no processo de desenhar e construir edifícios.

O segundo capítulo – **Arquitetura e fabricação digital** - é dedicado à temática da fabricação Digital. Essencialmente foca-se na forma como com este novo método digital veio transformar o pensamento conceptual do arquiteto e como se constrói arquitetura. Explora diferentes possibilidades de construção, de novas formas, e como os arquitetos começam a pensar mais além, quer ao nível construtivo quer ao nível formal. Ao longo do segundo capítulo serão apresentadas as técnicas, as máquinas, as estratégias em fabricação digital, os processos desde o desenho à fabricação, às ferramentas e *softwares* CAD/CAM, modelação 3D e parametrização.

O terceiro capítulo - **Da Prefabricação à Personalização Digital da Habitação** - explora como se constrói uma casa no século XXI e como é que se vai continuar a construir no futuro tentando sempre responder às actuais necessidades da população. Trata-se de uma reflexão sobre a aliança entre a tecnologia e as novas questões sociais (crise económica e/ou política e/ou social, que se vive um pouco a nível global, as catástrofes naturais e a sobrepopulação) através do trabalho de investigação realizado por vários arquitetos na procura de novos caminhos e respostas. O terceiro capítulo demonstra esse caminho através da descrição de três projetos contemporâneos: (1) uma exposição no MoMA, a *Home Delivery: Fabricating the Modern Dwelling*, em 2008; (2) a *WikiHouse*, um projeto desenvolvido pelo Architecture 00; e (3) a *3D Print House Canal*, dos DUS Architects. Os projetos exploram três vertentes da fabricação digital: a prefabricação, o CAD/CAM e a impressão 3D sempre aliados à habitação.

Qual o futuro? Prós e contras, certezas, dúvidas e expectativas, é o último capítulo que visa refletir sobre qual o futuro da fabricação digital. O texto relata um conjunto de opiniões e reflexões de vários

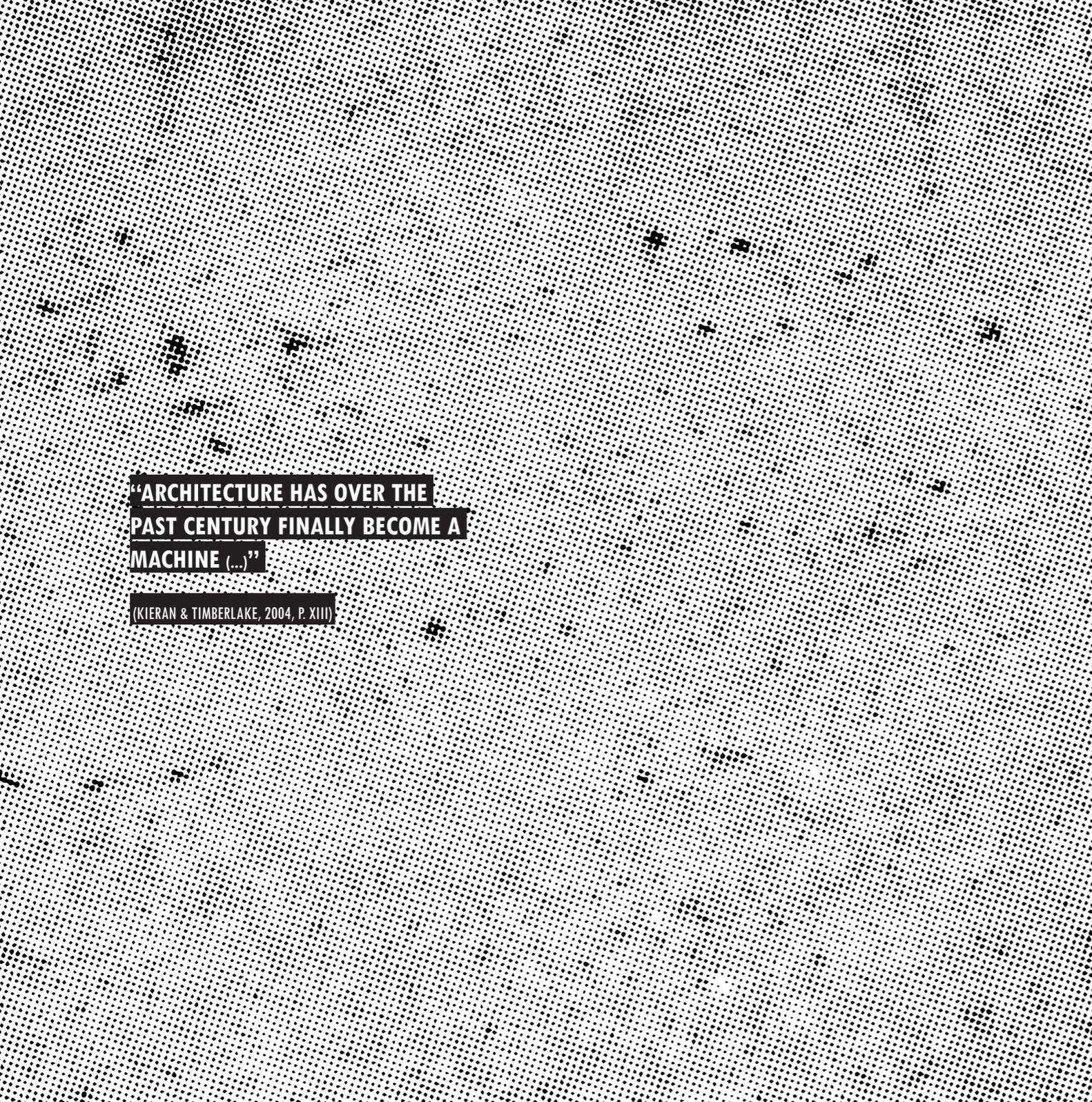
autores referenciados ao longo da dissertação sobre o passado, o presente e o futuro.

Na dissertação, optou-se pela utilização da norma de referência Harvard, e pelo novo Acordo Ortográfico. Ao longo da mesma, todas as citações, expressões e termos encontram-se em inglês, estarão devidamente assinalados e não serão traduzidos, devido ao contexto técnico do tema, pois a sua tradução poderia alterar o seu significado.

Ao longo deste capítulo pretende-se fazer uma reflexão sobre a digitalização da arquitetura com base em três momentos marcantes da história recente - primeira e segunda Revolução Industrial e Revolução Digital - procurando entender a importância e impacto dos fatores tecnológicos e/ou sociais na arquitetura.

A Digitalização da Arquitetura é retratada através de três fases: (1) a primeira Revolução Industrial, da Revolução Industrial à Era da Informação, compreendida entre a segunda metade do século XIX e o início do século XX, (2) a segunda Revolução Industrial, correspondente aos 75 anos entre o final da 1ª Guerra Mundial e a Queda do Muro de Berlim (1989); e (3) a terceira Revolução, a Digital que tem início na década de 90 do século XX até aos dias de hoje.

Ao longo dos tempos as inovações tecnológicas permitiram um avanço quer na construção quer no processo de criar arquitetura. As inovações para além de serem grandes impulsionadoras na arquitetura, também a sociedade através de grandes acontecimentos como guerras ou crises económicas e/ou fatores culturais também o são.



**"ARCHITECTURE HAS OVER THE
PAST CENTURY FINALLY BECOME A
MACHINE (...)"**

(KIERAN & TIMBERLAKE, 2004, P. XIII)

1.1. Da Revolução Industrial à Era da Informação

A Revolução Industrial ficou marcada pela evolução da máquina (vapor e carvão) para produzir mais, em menos tempo e com menos mão-de-obra. A arquitetura acompanhou esta evolução com o desenvolvimento de sistemas de construção, novos materiais e outros aspetos arquitetónicos que daí surgiram, como a construção em altura. As novas soluções construtivas mostravam assim que a arquitetura não tinha que ser um objeto fixo e finito. O ferro veio permitir a produção em massa de elementos ou de edifícios no seu todo, simplificando a construção no local, tornando-a mais simples e menos demorada com maior qualidade e a um custo menos elevado. Antes, o paradigma da arquitetura centrava-se na fórmula:

$$\text{“Quality x Scope = Cost x Time”}$$

(Kieran & Timberlake, 2004, p. 9)

O esquema mostra que ambos qualidade e envergadura/escala dependem do custo e do tempo e vice-versa, o que acontece é que ambos estão em pé de igualdade na sua interdependência, portanto um edifício com x de preço e tempo varia na sua qualidade e envergadura/escala. Quando se dá revolução industrial, a fórmula muda a sua forma porque passa a existir um novo cliente que quer manter a qualidade mas por menos tempo e dinheiro: “Clients are demanding more for less”. (Kieran & Timberlake, 2004, p. 10)

$$\text{“Quality x Scope > Cost x Time”}$$

(Kieran & Timberlake, 2004, p. 11)

Enquanto esta fórmula se torna uma lei universal na arquitetura, noutras áreas que estão mais dependentes da revolução industrial, como a automobilística ou aérea, renunciaram à lei do mais por menos. A imposição da máquina na construção levou a que a exigência aumentasse por parte do cliente que via a qualidade a aumentar por menos custo e tempo. Embora o *hand-craft* fosse algo que

estivesse intrínseco na cultura, era dispêndio em tempo. A utilização da máquina revelou-se então uma cómoda ferramenta, como o trabalho manual já o tinha sido. Segundo Kieran & Timberlake (2004, pp. 4-5), “Before the twentieth century, the more human energy that was invested in an architectural work, the greater its value”. No entanto, essa premissa já era válida, antes do século XX e, mesmo depois e com o domínio da máquina, quanto mais tempo de trabalho manual fosse necessário, mais valor a obra teria.

A Revolução Industrial trouxe maquinaria que permitiu um avanço extraordinário na arquitetura. Um exemplo é o *Crystal Palace* (1851) [FIG. 1], através de elementos metálicos e placas de vidro prefabricados. Segundo Kolarevic (2003, p. 3), “Joseph Paxton’s *Crystal Palace* was a bold building for its time, embodying the technological spirit of the Industrial Age and heralding a future of steel and glass buildings.”

Para Kolarevic (2003, p. 3), o edifício que marcou o final desta Era foi a Torre Eiffel (1877) [FIG. 2], de Gustave Eiffel, em Paris. Uma das maiores inovações da época como o aparecimento da luz elétrica e a invenção do elevador, tornou possível conciliar os progressos tecnológicos da Revolução Industrial, como o ferro e o vidro, com as invenções

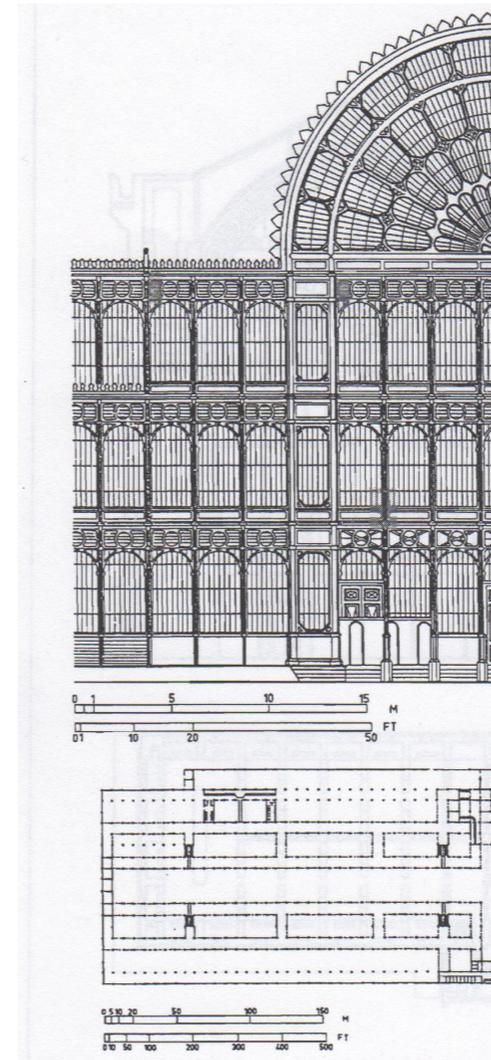


FIG. 1 Desenho parcial do *Crystal Palace* (1851), de Joseph Paxton

e/ou invenções da Era da Informação, e construir em altura, algo que até então não tinha sido conseguido.

“Gustave Eiffel’s Tower in Paris manifested the soaring heights that new buildings could reach.” (Kolarevic, 2003, p. 3)

Os novos materiais (aço, vidro e betão armado) e a sua produção em massa, acabaram por gerar uma nova direção na arquitetura através da criação de novos elementos que se tornaram paradigmáticas da Arquitetura Moderna, como: (1) coberturas planas; (2) estruturas em altura; ou (3) vãos livres com maiores dimensões. Também as pontes, o metro, os caminhos de ferro, as estações rodo e ferroviárias passam a ser novos temas da nova sociedade industrial. (Silva, 1997, p. 35)

No final do século XIX, o emergir da *information-based society*, possibilitou o surgimento de uma nova revolução, a Segunda Revolução Industrial, a Era da Informação. A nova Era, não seria assim uma quebra mas uma continuidade da anterior revolução. De acordo com Picon (2010, p. 16), “the Second Industrial Revolution was marked by a spectacular leap in volumes of production, speed of transportation, and quantities of goods circulated and consumed”.



FIG. 2 Fotografia da Torre Eiffel (1877) em construção

Segundo Picon, a informação não tem relevância a não ser que circule e seja partilhada. Esta nova sociedade possibilitou uma maior e melhor distribuição de métodos tradicionais de informação como os jornais, e ainda tornou possível uma maior proliferação do telefone que surgiu na época. (2010, p. 19) A introdução de novos meios de comunicação na sociedade alterou a sua vivência quer em espaços mais privados como as habitações, quer em espaços públicos. Com a sociedade sempre a querer mais e com as necessidades, o computador estava apenas a dois passos de ser tornar real para a *information-based society*. No virar do século XIX até ao final da primeira metade do século XX, foi esta a sociedade que baseada na informação tornou possível a invenção do computador e não o contrário. (Picon, 2010, p. 9)

A Revolução Industrial e a consequente Era da Informação faziam assim um retrato do espírito tecnológico do final do século XIX até metade do século XX, tendo como herança edifícios icónicos como o *Crystal Palace* e a Torre Eiffel. A sociedade e o seu interesse em promover informação das mais variadas formas, fez com que mais avanços tecnológicos se dessem e servissem de impulso para outros que estavam para vir, como o computador.

1.2. Os limites do século XX

Os limites do século XX, para Luis Fernández-Galiano (1999), não dependem de datas nem da linha temporal dos 100 anos que constitui o século, mas sim dos eventos históricos que aconteceram, redefinindo os limites do mesmo. Segundo o arquiteto,

“the boundaries of the 20th century are getting clearer; we already know that, unlike the 19th century, which stretched from the French Revolution to the First World War, ours is a short century: the 75 years between the Sarajevo assassination and the fall of the Berlin wall”. (Fernández-Galiano, 1999, p. 18)

Os 75 anos do século XX deixaram de parte os anos 90 os quais se tornaram na década digital, a década inaugural da era digital. Como o autor explica, esta década digitalizou a arquitetura e que por isso precisamos de um ecrã dividido em partes para nos informar das tendências contraditórias que coincidiram com o decorrer da década (Fernández-Galiano, 1999, p. 19):

- (1) “(...) the shaken architectures (...) alongside the sugared tenacity of commercial developments”;
- (2) “two pragmatic tendencies that shared the limelight for emblematic projects: silent or sculptural construction, frequently associated with the XL size of communication infrastructures and intellectual or poetic formalism, often present in the centers of culture and cult”;
- (3) “shared by two cities, which in the first half of the decade were Berlin and Barcelona, and in the second, Basel and Rotterdam”. (Fernández-Galiano, 1999, pp. 19,21-22)

Os três ecrãs mostram os anos 90 onde se testemunhou o triunfo do espetáculo da arquitetura através dos exemplos como o Guggenheim de Frank Gehry em Bilbao, ao novo urbanismo americano, passando pelos aeroportos de Renzo Piano e Norman Foster até aos museus de Jean Nouvel, ou a plasticidade lírica de Álvaro Siza, acabando nas quatro cidades citadas (Berlim e Barcelona, Basel e Roterdão). (Fernández-Galiano, 1999, p. 21)

O artigo de Luis Fernández-Galiano (1999) permite ver os limites temporais de outra de forma e ajuda

**“THE BOUNDARIES OF THE 20TH CENTURY
ARE GETTING CLEARER; WE ALREADY
KNOW THAT, UNLIKE THE 19TH CENTURY,
WHICH STRETCHED FROM THE FRENCH
REVOLUTION TO THE FIRST WORLD WAR,
OURS IS A SHORT CENTURY: THE 75 YEARS
BETWEEN THE SARAJEVO ASSASSINATION
AND THE FALL OF THE BERLIN WALL”**

(FERNÁNDEZ-GALIANO, 1999, P. 18)

na percepção da evolução das Eras da Revolução Industrial, Informação e Digital, conseguindo balizar de forma mais intuitiva estes séculos com os acontecimentos que também fazem um ecrã dividido em partes da mudança nos métodos construtivos da arquitetura bem como a introdução da máquina, novos materiais e novas tecnologias.

1.3. Século XX, 75 years of failure

“A century of failure” é o subcapítulo do livro *Refabricating Architecture* (2004) de Stephen Kieran e James Timberlake, onde estes procuram responder porquê a arquitetura continua imune à transformação e ao progresso ocorrido durante o século XX, ou o que é que muda com as novas tecnologias e os novos processos.

“If factory production has made such a revolution both in the production of once hand-crafted objects such as clothes, shoes, and household products, as well as in modern mobility - automobiles, planes and ocean liners - then why is the culture of building so resistant to transformation?” (Bergdoll & Christensen, 2008, p. 12)

As agendas políticas norte americanas como de outros países ocidentais assentavam muito no sonho de uma cultura de prefabricação na arquitetura. Esta era uma oportunidade de propaganda política, e também uma possibilidade de desenvolvimento para os arquitetos que viam na área uma expansão tremenda quer a níveis construtivos como criativos, conciliando-os com a indústria.

“(…) the history of an architectural culture of prefabrication (...) is a core theme of modernist architectural discourse and experiment, born from the union of architecture and industry, and marked as much by the creation of an image of modern living as by the exploration of new materials” (Bergdoll & Christensen, 2008, p. 12)

O envolvimento político foi visto como um potenciador e impulsionador mas ao mesmo tempo um constrangimento devido às ideologias políticas apenas se focarem na habitação.

Os autores de *Refabricating Architecture* (Kieran & Timberlake, 2004) dizem que o processo de criação

de arquitetura fora de local ficou estagnada quase por imposição política, e que as restantes áreas da arquitetura tiveram uma quebra na investigação devido à importância da habitação nas agendas.

“Housing is only one portion of architectural production. (...) The potential of the off-site process is greatest when the breadth of its applicability is broadest. The focus on housing has stigmatized both the process of off-site fabrication and housing as a building type.” (Kieran & Timberlake, 2004, p. 107)

A necessidade de uma habitação mais barata e de uma construção mais rápida era uma visão que muitos arquitetos tinham em mente. Le Corbusier, por exemplo, nunca viu a sua visão de criar uma “*machine for living*” para as classes trabalhadoras utilizando técnicas de produção em massa se tornar no que desejava. Assim, em vez de elevar as condições das habitações da classe trabalhadora, houve um aproveitamento das novas tecnologias para fazer ‘caixas de sapatos’ em vez de habitações de grande qualidade e bem equipadas. (Kieran & Timberlake, 2004, p. 106) O foco apenas na habitação torna-se então um problema, em que a produção em massa, que se traduz em fazer menos por menos, vê oportunidade de fazer Arquitetura com ‘A’ maiúsculo, que é mais por menos ser desperdiçado vezes sem conta. (Kieran & Timberlake, 2004, p. 107)

“(…) the past century has seen the failure of vision after vision of a new and better world of a more accessible architecture.” (Kieran & Timberlake, 2004, p. 107) Um dos problemas levantado pelos autores é a necessidade de uma nova visão de processo e não de produto, uma solução passaria pela criação de uma arquitetura mais participativa, onde os vários atores (o construtor, o engenheiro, cliente e arquiteto) fazem parte do processo. Mas como Gropius defendia, teria que existir uma preservação do arquiteto enquanto artista, mas estava ao mesmo tempo preocupado com o cliente, pois a prefabricação implica que a habitação não fosse um produto da relação entre arquiteto-cliente, mas entre arquiteto e múltiplos consumidores.

“The idea of industrializing house construction can be realized by repetition of the same component parts in every building project. By this means the mass production can be made both profitable for the manufacturer and inexpensive for the consumer.” (Bergdoll & Christensen, 2008, p. 17)

A noção de prefabricação [FIG. 3] implicaria que todos ganhavam, arquitetos, construtores e clientes. Então a evolução natural seria a customização em massa, uma definição já defendida por Gropius, que mais tarde se revelou como o passo seguinte.

“(...) the factory-produced house would leave open not only a terrain for artistic invention but also for personal desire: «The possibility of the assembly of these interchangeable parts satisfies the public desire for a home with an individual appearance.»” (Bergdoll & Christensen, 2008, p. 17)

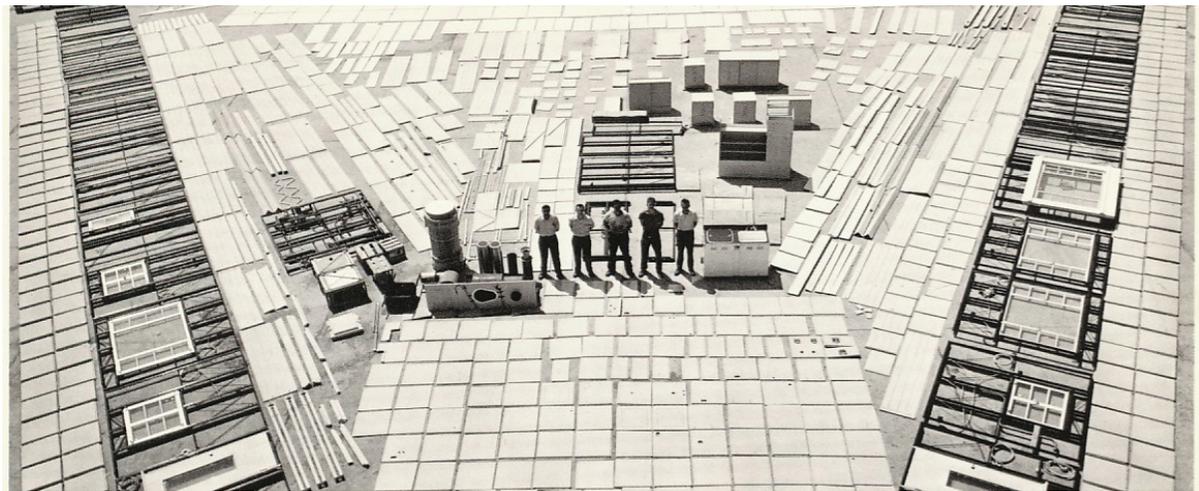


FIG. 3 Peças da Lustron Westchester (casa prefabricada) antes da sua instalação em 1949

1.3.1. Projetos

No início deste “A century of failure” (Kieran & Timberlake, 2004, p. 104), os autores começam por apresentar cinco arquitetos que apresentaram dos projetos mais importantes sobre habitações prefabricadas e/ou fora do local. Os projetos relatam a seleção dos arquitetos apresentados por Kieran e Timberlake, mas as informações são retiradas, na sua maioria, dos textos em: *Home Delivery: Fabricate the Modern Dwelling*. (Bergdoll & Christensen, 2008)

“The modernists of the twentieth century made many attempts to adopt mass production, prefabrication and modularization techniques in their buildings. None of these endeavors ever achieved success or popularity and soon were abandoned.” (Kieran & Timberlake, 2004, p. 104)

1.3.1.1. Le Corbusier

Maison Dom-ino (1914-1915)

A *Maison Domi-no* [FIG. 4] é um protótipo criado por Le Corbusier onde “sought to imbue the classic notions of proportionality and harmony with modern-day industrial potential” (Bergdoll & Christensen, 2008,

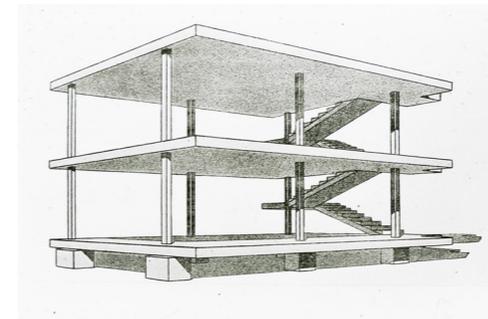


FIG. 4 Desenho da estrutura da Maison Dom-ino (1914)

p. 52) Este é um ideal defendido por Le Corbusier e mais tarde em “Por uma Arquitetura” escreveu

“If we eliminate from our hearts and minds all dead concepts in regard to houses and look at the question from a critical and objective point of view, we shall arrive at the ‘House Machine’, the mass production house, healthy (and morally so too) and beautiful in the same way that the working tools and instruments which accompany our existence are beautiful.” (Bergdoll & Christensen, 2008, p. 52)

Com esta frase Le Corbusier reconcilia princípios da arquitetura clássica com a indústria moderna. O protótipo em si está aberto a várias interpretações. A denominação do projeto em si é uma junção da palavra *domus* com indústria. Mas mais importante que conotar a casa como uma unidade *standard* era percebermos que o objetivo do projeto nunca foi ser construído mas ser uma antecipação aos cinco pontos defendidos por Le Corbusier. (Bergdoll & Christensen, 2008, p. 52)

1.3.1.2. Buckminster Fuller

Dymaxion House (1927)

Dymaxion Houses é segundo os autores do livro um dos projetos mais criticados, não só nas habitações prefabricadas mas na indústria e na arquitetura em geral.

“Fuller believed that a good house could be produced as systematically as a good car, and that a factory-made house had the potential to change the way in which peoples across the world lived. (...) Homebuilding was no longer to be the work of architects or builders, but rather the work of machines and an ever-industrializing global economy.” (Bergdoll & Christensen, 2008, p. 58)

Assim, um dos principais objetivos de Fuller [FIG. 6] era a sistematização bem como a autonomia da indústria e infraestruturas. Uma das preocupações e objetivos, era a da criação de um projeto que fosse eficiente e sustentável, uma preocupação que antecipava o movimento da sustentabilidade em década. (Bergdoll & Christensen, 2008, p. 58)



FIG. 5 Planta ilustrando as áreas e a geometria

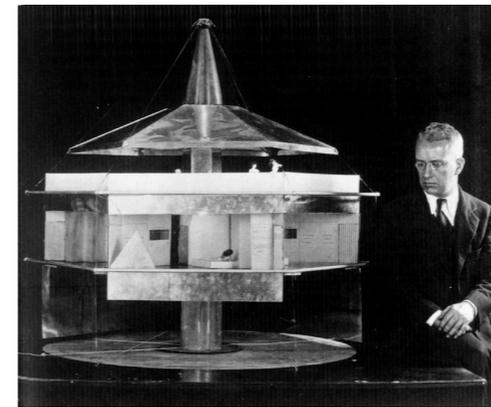


FIG. 6 Fuller com a maquete

Os dois protótipos das *Dymaxion Houses* - *Barwise* e *Danbury* - nunca chegaram a ser habitadas, contudo um investidor americano comprou os dois protótipos e desenvolveu uma terceira versão, que acabou por construir em 1948 para ele e para a sua família onde viveu até aos anos 70.

O motivo pelo qual os protótipos de Buckminster Fuller nunca terem saído do papel é alvo de contínuo debate. A inflexibilidade de adaptação do sistema a diferentes tamanhos, programas, e os meios económicos envolvidos, bem como a questão de poder ser construído em qualquer local e sem contexto arquitetónico, são alguns dos problemas apontados. [FIG. 5] No entanto, o trabalho foi em vão, pois a investigação feita para as *Dymaxion Houses* deu origem nos anos 40 a um novo projeto.

Wichita House (1944-1946)

Wichita House é fruto de ideias revisitadas da *Dymaxion House* (1927) no pós-guerra em 1944. Devido à falência económica que se vivia na época, Fuller viu o potencial da sua investigação. Para que os investidores o apoiassem convenceu-os de que este novo projeto não seria uma casa prefabricada. Fuller afirma que a prefabricação era “fabrication of

semifinished products such as panels and parts that are used at the site as a subassembly". (Bergdoll & Christensen, 2008, p. 90) O arquiteto contorna a questão da denominação prefabricada entregando a habitação já como um todo. [FIG. 7]

A forma mais hemisférica da *Wichita House* consegue, assim, uma crítica mais positiva que a anterior *Dymaxion House*. "The gentle curves created a more satisfying interior flow; the palette of finishes on the inside were more refined and better constructed". (Bergdoll & Christensen, 2008, p. 91)

Ambas as 'casas-máquina' que Fuller desenhou são resultado da sua investigação e crença que o desenho industrial e a arquitetura nunca tinham sido tão compatíveis. Contudo, independentemente da boa receptividade por parte da comunidade, a *Wichita House* nunca passou do seu protótipo construído à escala real, pois a empresa investidora acreditava que a comunidade ainda não estava preparada para viver num 'objecto-máquina'. (Bergdoll & Christensen, 2008, p. 91)

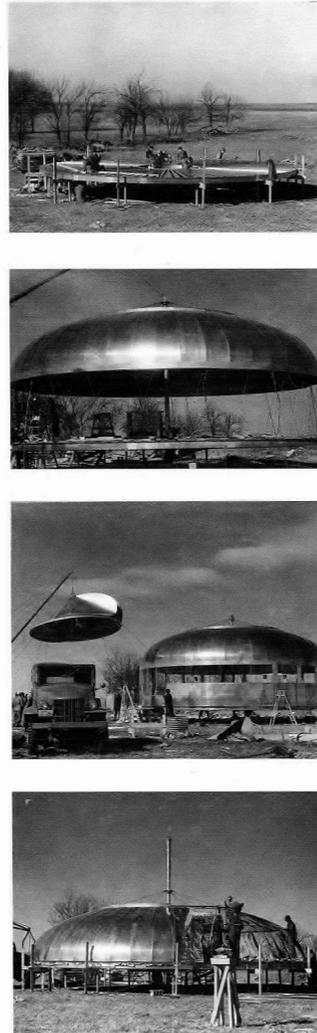


FIG. 7 Processo de construção da Wichita House

1.3.1.3. Frank Lloyd Wright

American System-Built Houses (1911-1917)

American System-Built Houses (também conhecido como *American Ready-Cut System*) [FIG. 8] foi um projeto criado pelo Arquiteto Frank Lloyd Wright para fazer concorrência ao já existente catálogo de casas da cadeia americana *Sears*. O potencial visto por Frank Lloyd Wright na industrialização de habitações levou-o a criar um sistema "where the wood framing, cladding, floor joints, rafters, roofs, moldings, windows, and doors would all be cut precisely in the factory and required no on-site carpentry". (Bergdoll, et al., 2008, p. 50)

Quando o arquiteto definiu os elementos a serem prefabricados, explicitamente indicou que esses elementos seriam os únicos a serem feitos dessa forma ao invés das formas finais das habitações como até aí tinham sido as casas prefabricadas existentes no mercado, assim de dois desenhos nunca se obteriam resultados iguais.

Neste trabalho como em tantos outros uma questão a ser feita a Wright era 'Qual seria o papel do cliente?', ao que o arquiteto nunca poderia responder pois nenhuma casa foi construída e o projeto nunca saiu do papel. Permanece incerto se

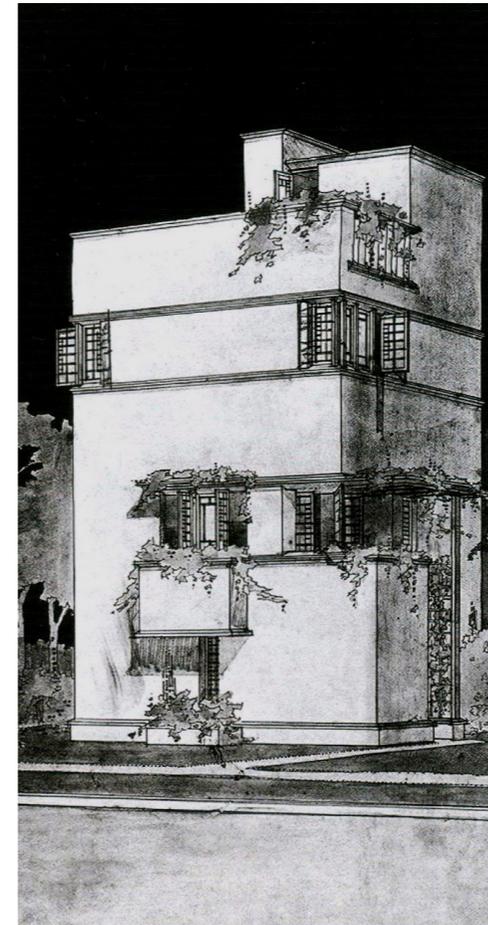


FIG. 8 Perspetiva da Variação 3 das American System-Built Houses

Wright imaginou um desenho específico para cada cliente ou se simplesmente queria manter apenas a paleta de ingredientes prefabricados. Então, e apesar das campanhas de marketing que existiram para que o projeto prosseguisse, Frank Lloyd Wright acabou por virar a sua atenção para comissões mais lucrativas. (Bergdoll & Christensen, 2008, p. 50)

Jacobs House (1936)

Jacobs House [FIG. 9] é o exemplo com mais sucesso das cinquenta pequenas casas que Wright desenhou no final da sua carreira. Após o sucesso que foi a Casa da Cascata e o edifício Johnson Wax, o arquiteto tomou a decisão de se focar numa das suas preocupações iniciais: habitação económica. (Bergdoll, et al., 2008, p. 72)

“For Wright, the affordable house in America had been constantly disappointing, rarely embodying the imagination and inspiration that good architecture, regardless of cost, could afford.” (Bergdoll, et al., 2008, p. 72)

Segundo o arquiteto, não só é indispensável desfazer-nos de complicações desnecessárias em construção como é essencial trabalhar numa nova direção (prefabricação fora do local). A casa

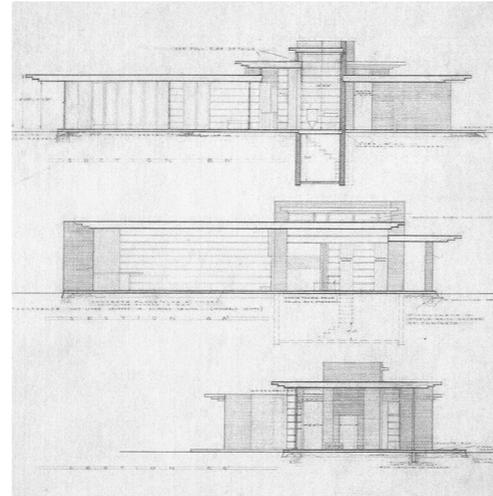


FIG. 9 (do topo) Corte Longitudinal através da entrada; Corte Transversal; Corte Longitudinal



FIG. 10 Fotografia do Interior

em forma de ‘L’ tem como objetivo criar um pátio privado e alcançar através do seu desenho três inovações: “«board and batten» walls, a planning grid, and a new underfloor heating technology”. (Bergdoll & Christensen, 2008, p. 72) [FIG. 10] Para além das paredes de tijolo, estruturais, toda a habitação foi desenvolvida através de um sistema modular de painéis sandwich e janelas em vidro prefabricadas. A *Jacobs House* é uma das casas mais significativas da obra de Wright, sendo também uma das mais duráveis e mais baratas.

1.3.1.4. Walter Gropius and Adolf Meyer

Baukasten (1922-1923)

Baukasten (“building blocks”) é um sistema desenvolvido por Walter Gropius e Adolf Meyer. O objetivo era produzir industrialmente elementos do edifício para poderem funcionar como um kit de partes, que juntas dariam um conjunto de infinitas configurações. [FIG. 11] O sistema permitia que os arquitetos guiassem os clientes com a construção de maquetes à escala para uma melhor perceção das opções de escolha. Gropius descreve o sistema desta forma: “an oversized set of toy building blocks out of which, depending on the number of inhabitants and their needs, different types of machines for living can be assembled”. (Bergdoll & Christensen, 2008, p. 56) Porém, para além de toda a paleta de configurações possíveis para a criação das casas, Gropius e Meyer criaram também uma paleta de materiais como madeira, metal, ferro e vidro. Embora o projeto nunca tenha sido construído, serviu como ponto de partida para a habitação construída a partir da indústria.

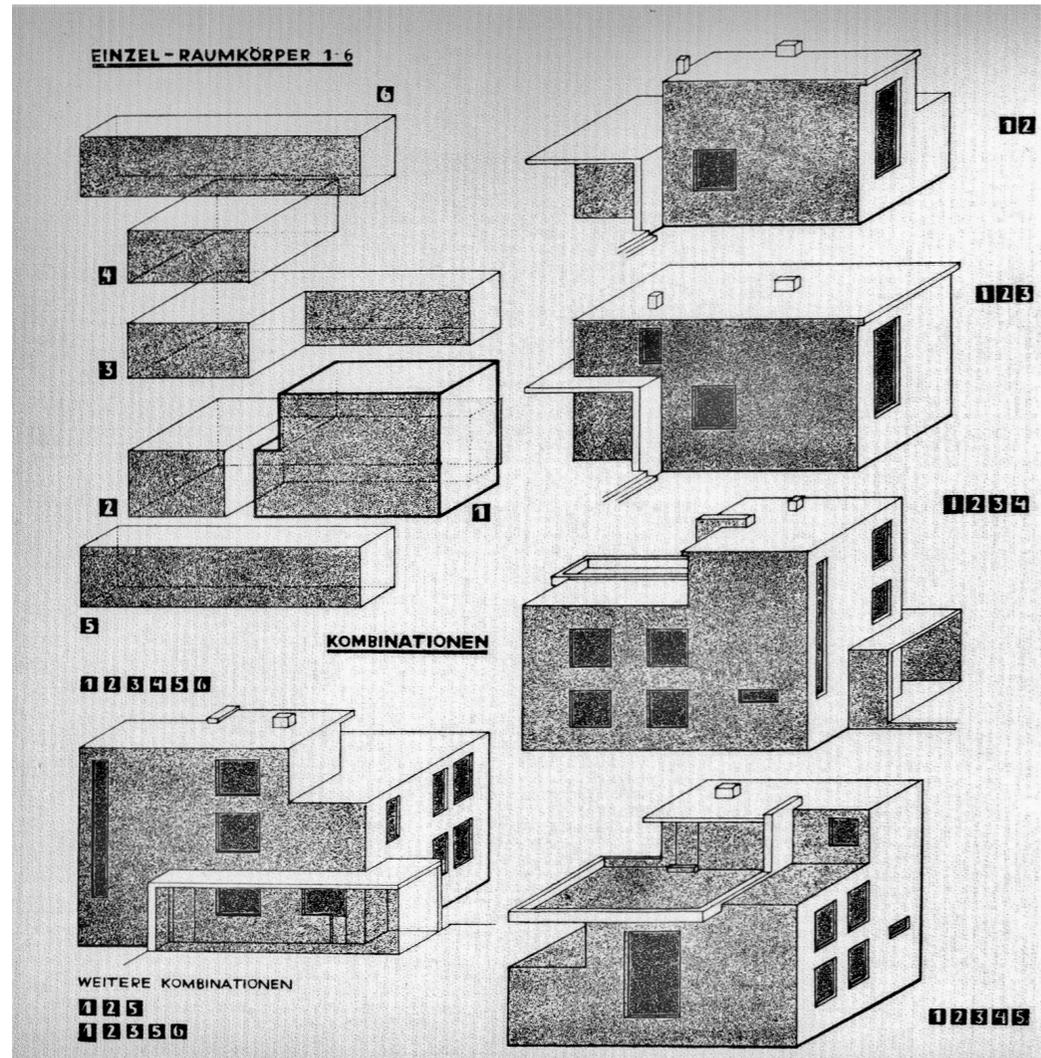


FIG. 11 Axonometria das diversas opções de desenho

1.3.1.5. Walter Gropius et al.

Cooper Houses (1931 - 1942)

Cooper Houses surgiram no seguimento da crise alemã de habitação através da empresa Aron Hirsch and Son que comercializava cobre e bronze. A empresa cria uma divisão para desenvolver uma patente para casas prefabricadas em que as paredes exteriores e o telhado são de cobre, e as paredes interiores em folhas de metal ornamentadas. [FIG. 12]

Em 1932, depois das *Cooper Houses* já terem sido galardoadas com o Grande Prémio da Exposição Colonial em Paris, Walter Gropius é convidado para redesenhar as casas que já estavam a ser comercializadas e a torná-las mais apelativas. Gropius fez alterações como “corrugated sheet-copper for the outer walls, aluminium instead of steel for the inner, a simpler corner joint and an altered appearance”. (Bergdoll & Christensen, 2008, p. 62) No final do mesmo ano em que Gropius foi trabalhar para a divisão das *Cooper Houses*, a Hirsch entrou em falência, acabando por despedir o arquiteto depois deste ter qualificado as suas habitações. A Hirsch acabou por vender inúmeras habitações, mas sem nunca se destacar perante as outras habitações económicas do mesmo género. (Bergdoll & Christensen, 2008, p. 62)



FIG. 12 Plantas das diversas opções de habitação

1.3.1.6. Departamento para a Habitação e Desenvolvimento Urbano dos E.U.A.

Operation Breakthrough (1969-1976)

Operation Breakthrough foi um programa lançado pelo Departamento para a Habitação e Desenvolvimento Urbano dos E.U.A., em 1969, de forma a encorajar o uso de métodos industriais na construção de casas, este foi o primeiro grande projeto não só na criação de habitações de forma inovadora como âmbito urbano. (Department of Housing and Urban Development, s.d.) A ação resultou na produção de quase 3 mil habitações distribuídas por nove cidades ao longo dos E.U.A.. Embora o objetivo fossem centenas de milhares, o projeto tornou-se demasiado caro e acabou por ser extinto em 1976. Segundo os autores, o projeto apresentava problemas como “marketing challenges, conflicting building codes, labor opposition, transportation costs, and so on”. (Washington, s.d.)

1.4. Era Digital

“The dawn of the Information Age, starting around 1950 and going through the personal computer in the later 1970s and early 1980s and then the Internet and the Web in the 1990s, was certainly a revolution. But it was not industrial revolution until it had a similar democratising and amplifying effect on manufacturing, something that’s only happening now. Thus, the Third Industrial Revolution is best seen as the combination of digital manufacturing and personal manufacturing: the industrialisation of the Maker Movement”. (Hielscher & Smith, 2014, p. 26)

A Era Digital, ou a Terceira Revolução Industrial, começa com a introdução do computador, não só na sociedade através dos computadores portáteis, mas nos ateliers, na arquitetura. Quando o computador passa a ser uma ferramenta de trabalho para os arquitetos no auxílio do desenho, ultrapassa-se uma barreira, dá-se o salto.

A década digital, a década inaugural da Era Digital, segundo Luis Fernández-Galiano (1999) a década de 90, trouxe uma das maiores revoluções tecnológicas e informáticas, o computador e a internet. A utilização de *softwares* de desenho como o CATIA, “desenvolvido para a indústria aeroespacial (...) simula formas tridimensionais” (Silva, 1997, p. 162), ajudou no desenho de formas complexas, ou formas não-euclidianas, na arquitetura. Até então o desenho destas formas estava sempre limitado pela incapacidade de transformar formas tridimensionais como as maquetes em desenhos a duas dimensões, sendo mais difícil a comunicação entre arquiteto-cliente, arquiteto-construtor. Os novos *softwares* através das modelações 3D vieram possibilitar uma simplificação da comunicação, quer visual quer construtiva e arquitetónica.

Frank Gehry é então um dos exemplos mais nítidos na transformação do processo de arquitetura. O pioneiro da Era Digital é assim um espelho de como as ferramentas, máquinas e processos digitais foram introduzidos na arquitetura.

“O QUE HÁ DE TÃO ESPECIAL COM FRANK GEHRY?”

(PERGUNTA REALIZADA POR SYDNEY POLLACK, O REALIZADOR DE SKETCHES OF FRANK GEHRY (2006), NO INÍCIO DO SEU DOCUMENTÁRIO)

“ELE MUDOU A IMAGEM DE UMA DISCIPLINA MUITO CONSERVADORA.”

CHUCK ARNOLDI, ARTISTA

“ELE É UM ARQUITETO QUE TAMBÉM É ARTISTA.”

MILDRED FRIEDMAN, ESCRITORA, CURADORA

“É HOJE O MAIOR ARQUITETO DO MUNDO. É MUITO FÁCIL RECONHECÊ-LO. SE UM EDIFÍCIO IMPRESSIONA É PORQUE TEM QUALQUER COISA.”

PHILIP JOHNSON, ARQUITETO

(SKETCHES OF FRANK GEHRY, 2006)

1.4.1. Frank Gehry: o pioneiro da Era Digital

Frank Gehry começa a introduzir a computorização no seu atelier no final dos anos 80. O domínio da ferramenta ‘computador’ começa nesta época, com o início do desenvolvimento do concurso para *Walt Disney Concert Hall*, em Los Angeles. O processo deste projeto desenvolveu-se ao longo de 13 anos, em que durante os mesmos vai desenvolvendo outros projetos que informam o não terminado *Walt Disney Concert Hall* e vice-versa.

O *Walt Disney Concert Hall* [FIG. 13] começa em 1988 com um concurso lançado pela mulher de Walt Disney, com um orçamento de 50 milhões de dólares. O projeto consistia então: (1) numa sala de concertos para a Orquestra de Los Angeles, que até então tocava numa sala que não se adequava às exigências acústicas do mesmo; (2) numa área administrativa; (3) salas de *backstage*; e (4) um pavilhão de vidro que serviria de ‘sala de estar’ para a cidade. Após Gehry ter sido anunciado como vencedor e

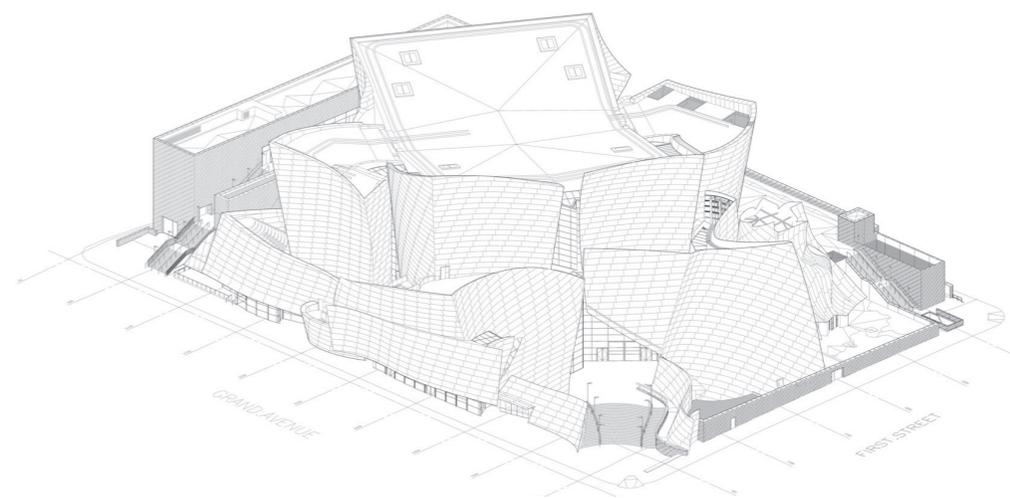


FIG. 13 Modelo Tridimensional do Walt Disney Concert Hall

de se perceber que os custos para a execução do projeto duplicariam, ao programa inicial, adicionou-se um hotel para tornar o projeto mais viável.

Com o início do projeto, e visto ser uma grande sala de espetáculos, o atelier começou por investir no desenvolvimento da sala com um consultor de acústica. (Glymph, 2003, pp. 103, 104) Começaram por criar uma maquete com materiais semelhantes aos finais, e fizeram medições laser na maquete. As formas que acabaram por surgir para o desenho da sala em consequência das medições acústicas, resultaram numa estética que para o arquiteto acabaram por ser refletidas do interior para o exterior do edifício. (Glymph, 2003, p. 105) Em 1989, o ponto de situação no projeto era um edifício desenvolvido em maquete, com uma forma exterior com inspiração em velas de barcos, ou seja, formas irregulares, não-euclidianas em que a pergunta que se fazia era: Como é que se constrói, com que materiais e com que sistemas? (Glymph, 2003, p. 105)

O cliente já tinha expressado que queria um edifício de pedra e não um “Frank Gehry chain-link, mesh, or metal”. (Glymph, 2003, p. 105) Com esta situação o arquiteto dedicou tempo a pensar na linha entre a escultura e a arquitetura, isto levou à necessidade de encontrar uma forma de se construir e desenhar utilizando a modelação em computador e as tecnologias CAD/CAM, que ainda estavam no início.

“Tudo começa com as maquetes. O problema é que o mundo funciona com papel. Então tivemos que arranjar formas de informatizar os desenhos para nos adaptarmos os urbanistas, inspetores, agências, construtores, e ao sistema legal que impõe os maiores entraves. Aperfeiçoámos uma série de técnicas de digitalização destas maquetas para introduzi-las no computador, de forma a passarmos diretamente do modelo a três dimensões para o desenho a duas dimensões. Isto permitiu ao Frank ir mais longe. Pode trabalhar o lado mais escultórico, com mais segurança e um grande grau de exatidão. O ponto mais crítico foi adaptar a tecnologia ao método de Frank, de forma a não provocar alterações nem nele nem ao seu método” - Jim Glympt, Especialista em Software (Sketches of Frank Gehry, 2006)

Em 1991, o *Walt Disney Concert Hall* parou, não tão devido ao elevado preço que a família Walt estava



FIG. 14 Fish (1992), Barcelona, Frank Gehry



FIG. 15 Nationale Nederlanden (1996), Praga, Frank Gehry

a pagar pelo projeto, mas mais devido à descrença no processo que Gehry estava a tomar de introduzir fabricação digital na construção em pedra ao invés das técnicas tradicionais. Segundo Glymph (Glymph, 2003, p. 108), “It was such a taboo that we had a very hard time getting anybody to have faith in it”. (Glymph, 2003, p. 108)

Ao mesmo tempo que Frank Gehry desenvolvia a sala de espetáculos do *Walt Disney Concert Hall*, foi desenvolvendo outros edifícios que o ajudavam a provar em como estava a ir no caminho certo, um deles foi o “Fish”, de 1992 em Barcelona [FIG. 14], ou o *Nationale Nederlanden*, de 1996 em Praga [FIG. 15]. “The Barcelona ‘Fish’ project was done very early as a paperless project using CATIA.” (Glymph, 2003, p. 108), em que com este projeto se tornaram familiarizados com o *download* de informação do modelo 3D para as máquinas de corte a laser. No projeto em Praga, para além de uma complexa malha metálica que suportava uma construção de vidro, perceberam que podiam produzir em massa, usando um processo CAD/CAM, cofragens para betão prefabricado, que eram todas ligeiramente diferentes entre si.

“Things were changing fast. (...) And then, after the concert hall stopped, we had the miracle in Bilbao. It was a miracle, I think, because we were very

lucky. At that point we were committed to trying to prove that we wanted to have done on Disney could be done.” (Kolarevic, 2003, pp. 108,109)

Em suma, o sucesso de Bilbao [FIG. 16] segundo o autor (Glymph, 2003), deveu-se à grande coordenação entre arquitetos e construtores locais, dizem os intervenientes que tiveram sorte porque a tecnologia usada estava a emergir na região e que todos assumiram em como sabiam o que estavam a fazer, e mesmo com dúvidas seguiram em frente. “It had a lot to do with the way people used the computing tools, rather than the tools themselves.” (2003, p. 109)

“O Frank ainda hoje não sabe usar o computador. Porém ele entendeu que era uma ferramenta espantosa, perfeitamente adaptável à sua capacidade de agarrar neste copo de plástico, amachucá-lo, pô-lo em cima de um

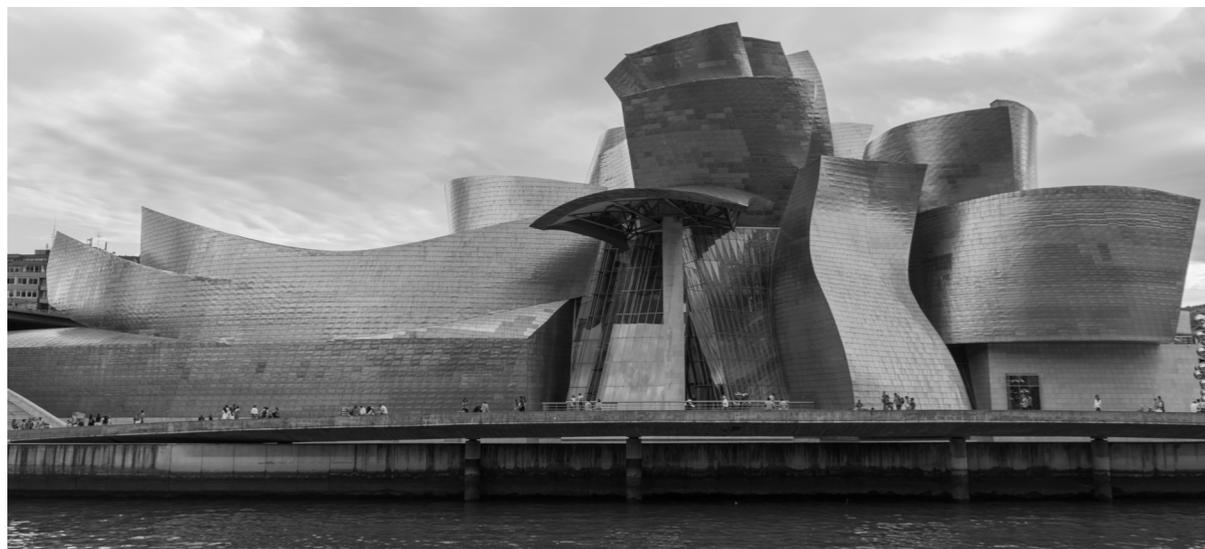


FIG. 16 Guggenheim Museum, Bilbao, Frank Gehry

edifício e dizer: ‘Aqui está uma forma interessante, vamos ver se conseguimos transformá-la num desenho.’” - Thomas Krens, Director da Fundação Guggenheim (Sketches of Frank Gehry, 2006)

Nesta altura, em Los Angeles, a família Disney já queria retomar o *Walt Disney Concert Hall*, “they now believed that it would be buildable”. (Glymph, 2003, p. 109) Com o reiniciar das operações, os clientes já não estavam tão contra a utilização de metal no edifício, e queriam que Frank Gehry seguisse assim o exemplo de Bilbao. Colocava-se, agora, a questão de como se transformaria um projeto já desenhado para integrar uma fachada de pedra para receber folhas de metal.

O projeto *Experience Music Project* em Seattle, foi alvo da experimentação com folhas de metal e como a mesma se comportava em diferentes superfícies. No processo do projeto inúmeras etapas foram atingidas como:

“(…) there were no drawings and that was the least expensive way to do the project. That was a very important transition in the project. What made that possible was not the software so much - obviously that is the tool - but a cultural change that took place on the building site.” (Glymph, 2003, p. 110)

A troca de dados entre atelier e empresa de construção utilizava o mesmo *software* o que lhes possibilitava uma maior e melhor comunicação. Em síntese, o projeto impulsionador da introdução do computador e das ferramentas digitais no processo de Gehry, foi afinal o que se acabou por alimentar mais projetos que ocorreram entre o concurso e a inauguração do mesmo. Os projetos demonstram a influência da evolução da computorização na construção. Segundo Jym Glymph (2003, p. 120) as mudanças sociais acabam sempre por ser mais lentas que as tecnológicas, e que as lições aprendidas com Gehry, não são só sobre o desenho e computorização mas também sobre o planeamento, contractos com construtoras e comunicação.

“De uma forma ou de outra, já tudo foi feito antes. A única coisa que muda é a tecnologia. O que mais me chateia são as malditas regras que tem a minha profissão, que dita o que encaixa e o que não. Há algum terror à mistura quando se dá o salto. Mas assim que o fazes, assim que percebes que tens direito a fazê-lo, não consegues parar”.

Frank Gehry (Sketches of Frank Gehry, 2006)

1.4.2. *Mass Production vs. Mass Customization*

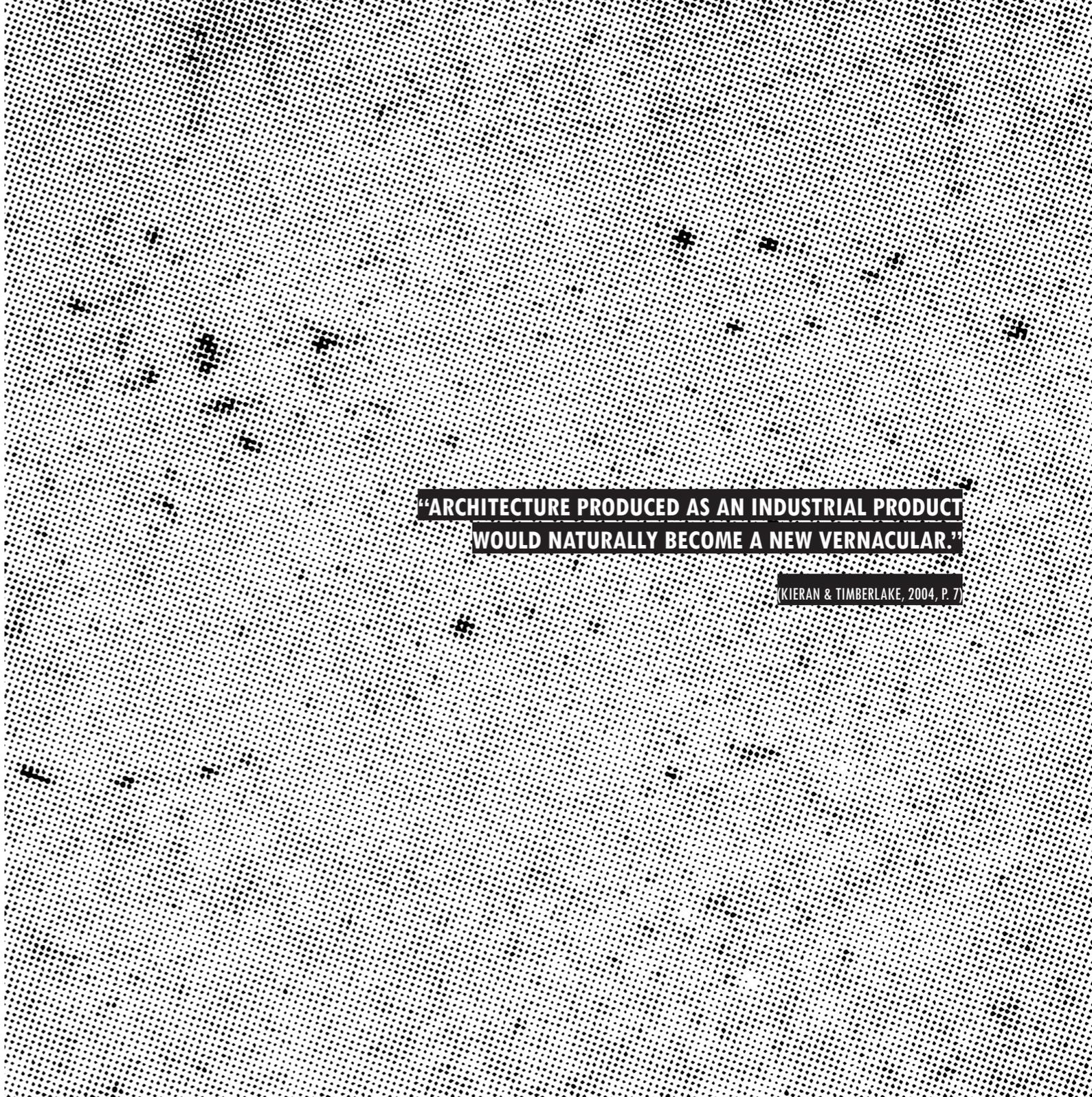
Kieran e Timberlake (2004, p. 133) afirmam que agora temos uma escolha, ou construímos arquitetura da mesma forma que Henry Ford construía carros no virar do século XX, ou construímos arquitetura como Michael Dell construía computadores no início do século XXI. Neste momento, “one size fits all” já não faz o produto, projeto ou serviço mais bem sucedido, mas sim a abordagem “let the costumers have it their way”. (2004, p. 133)

Segundo os mesmos autores, neste século “(...) we desire choice, expression, individuality, and the ability to change our minds at the last minute”. (Kieran & Timberlake, 2004, p. 133) A customização em massa veio permitir essa opção para os clientes: de num objeto comum, poder existir a marca da sua individualidade de forma rápida, com melhor qualidade e mais barata.

As implicações da customização em massa são profundas pois a noção de ‘único’ é agora tão económico e tão fácil de atingir como a repetição desafiando assim as premissas do Modernismo, que sugere o potencial de um novo paradigma pós-industrial baseado na evolução e capacidades criativas da eletrónica, em vez da mecânica. (Kolarevic, 2005, p. 122)

O novo paradigma na arquitetura concilia-a com novas tecnologias, máquinas e *softwares* e permite assim que um ou vários elementos ou variações do mesmo consigam ser fabricados em tempos e custos iguais apenas com pequenas mudanças digitais (Kolarevic, 2005, p. 123). Assim, fabricar mil peças todas diferentes, ou fabricar mil peças todas iguais, não trás valores ou tempo acrescido, e é isso que faz a diferença entre a customização em massa e a produção em massa.

“(...) the rapid rise of digital production within design and construction industry, along with the optimism that both the new efficiencies and the new possibilities for mass customization will provide a radically new generation of off-site fabrication” (Bergdoll & Christensen, 2008, p. 24)



**“ARCHITECTURE PRODUCED AS AN INDUSTRIAL PRODUCT
WOULD NATURALLY BECOME A NEW VERNACULAR.”**

(KIERAN & TIMBERLAKE, 2004, P. 7)

1.4.3. *New-Vernacular*

A ideia do ‘novo-vernacular’ no século XX era então uma visão dos arquitetos modernistas onde o objetivo passava por transportarem os princípios da arquitetura vernacular desenvolvido pelas comunidades nos séculos anteriores para a arquitetura moderna. Com o *boom* das máquinas na construção e dos novos materiais;

“Le Corbusier saw great promise in the production of architecture by machines, particularly housing where it offered away to fulfill a social housing agenda. Economical and social agendas were merged with construction and architecture in his vision of a vernacular” (Kieran & Timberlake, 2004, p. 7)

Embora essa fosse a visão de Le Corbusier, a mesma nunca deixou de ser premissa na arquitetura vernacular já existente. Segundo Paul Oliver (1997, p. XXIII), “All forms of vernacular architecture are built to meet specific needs, accommodating the values, economies and ways of living of the cultures that produce them”. Cada edifício era construído com materiais da região, e os construtores pertenciam às comunidades onde as habitações estariam inseridas, bem como muitas vezes eram o proprietário, construtor e cliente. (Oliver, 1997, p. XXII)

“Modernist architects’ approach to vernacular architecture focused only on those aspects which supported their ideological positions. They conceived vernacular architecture as: severely utilitarian in its use of materials and technology; functional in its adaptation to climate, accommodation of activities and utilization of site; and beautiful in its sculptural expressions of mass and volume as a result of manipulating the plan and section to accommodate users’ needs” (Pavrides, 1997, p. 13)

Com isto, os arquitetos modernistas acabavam por defender segundo Pavrides (1997, p. 13) que “it was an architecture of necessity rather than a architecture of pride”. Desta forma resultou uma arquitetura rigorosamente moderna, embora incorpore as qualidades vernaculares dentro dos parâmetros modernos. (Pavrides, 1997, p. 14)

Segundo Kieran & Timberlake (2004, p. 7) a arquitectura “(...) produced as an industrial product would

naturally become a new vernacular”. Embora esta frase tenha sido dita com referência a Le Corbusier, é uma realidade que se pode rever hoje na fabricação digital. O ‘novo-vernacular’ que vimos durante o Modernismo, ganha agora uma nova vertente tecnológica, mantendo as preocupações económicas e sociais. A crise política, económica e social vivida nos dias de hoje, espelha-se na arquitetura através da construção ‘sem-autor’, onde o cliente, é construtor e projetista, porque consegue através de materiais da região e das novas ferramentas, criar o ‘novo-vernacular’ onde deixamos a arquitetura estática apenas com premissas vernaculares e voltamos à sua essência onde o espaço é manipulado para se adequar às necessidades.

“All forms of vernacular architecture are built to meet specific needs, accommodating the values, economies and ways of living of the cultures that produce them. To which it could be added that «they may be adapted or developed over time as needs and circumstances change.” (Oliver, 2003, p. 14)

Assim, podemos ver que a afirmação feita por Paul Oliver, se insere em todos os contornos da arquitetura vernacular, desde a sua origem, à fonte de inspiração de que o Modernismo se serviu, até à Era Digital com as novas ferramentas.

“DIGITAL FABRICATION WILL ALLOW INDIVIDUALS TO DESIGN AND PRODUCE TANGIBLE OBJECTS ON DEMAND, WHEREVER AND WHENEVER THEY NEED THEM.”

(GERSHENFELD, 2012, P.43)

2.1. Processo Digital: do ficheiro à fabricação

A limitação na utilização de ferramentas de desenho das formas euclidianas, fez com que, como afirma Kolarevic (2003, p. 33), os arquitetos “(...) drew what they could build, and built what they could draw”. (Kolarevic, 2003, p. 33) A reciprocidade entre os meios de representação e produção torna-se fundamental na revolução digital. A evolução trouxe aos arquitetos a possibilidade de estarem mais diretamente envolvidos no processo de fabricação. Os exemplos importantes são as obras de Frank Gehry como *Nationale-Nederlanden Building* (1996), em Praga ou o *Experience Music Project* (2000), em Seattle. O projeto em Seattle chegou a utilizar cerca de 21 mil painéis metálicos que foram cortados usando máquinas que extraíam informação sobre a forma do modelo digital para o objeto físico. (Kolarevic, 2003, p. 33)

Os novos processos digitais envolvidos na construção de um edifício estão diretamente ligados à computação. De facto, podemos desenhar formas não-euclidianas, complexas com alta precisão, e fabricá-las através das máquinas de controlo numérico computadorizado (CNC).

2.2. Ferramentas Digitais e Máquinas na Fabricação

“Once a design has been digitally modeled, through some derivation process, it is ready for fabrication. We can think of a fabrication machine as a device that automatically translates a digital object in a design world into a material realization.” (Kolarevic, 2003, p. 78)

A transição do modelo digital para o modelo físico é feita através de um processo em que um *software* produz uma série de instruções para que a máquina leia e a traduza de maneira a atingir a forma pretendida. (Kolarevic, 2003, p. 78)

O uso de sistemas CAD/CAM, tem algum investimento inicialmente ao nível da aprendizagem dos

vários protocolos e conversão de *softwares*. O domínio destas ferramentas pode não ser imediata mas estão cada vez mais a fazer parte do conhecimento público fazendo despontar a curiosidade levando a comunidade a iniciativas como p.e. os *FabLabs*. (Dunn, 2012, p. 26)

Atualmente, os arquitetos tentam tirar o maior proveito possível dos computadores que suportam *softwares* que fazem a ligação com os sistemas CAD/CAM, porque é a melhor forma de investir na produção de modelo digitais. (Kolarevic, 2003, p. 79)

2.2.1. *Softwares: CAD, Modelação 3D, Parametização*

Os *softwares* de CAD funcionam um pouco como um ‘guarda-chuva’, como Nick Dunn (2012, p. 27) relata, porque abrange uma grande quantidade de programas, e isso possibilita que cada utilizador escolha o que mais se adapta à sua forma de trabalhar ou ao que está a desenhar temos o exemplo do AutoCAD ou do VectorWorks. O mercado tem diversos programas de modelação e visualização 3D, como por exemplo: 3Ds Max, Google Sketchup, Rhinoceros, entre outros. Os programas de parametrização são na sua maioria ‘*plug-ins*’ que auxiliam os programas de modelação 3D ou até mesmo, como o Grasshopper, Digital Project ou MAX Script, entre outros. (Dunn, 2012, p. 27)

2.3. Métodos de Fabricação digital

2.3.1. *Corte*

O método de Corte (*cutting*) é talvez o mais acessível e mais utilizado na fabricação digital. Existem diferentes técnicas, mas como Nick Dunn (2012, p. 18) nos apresenta no seu livro, “they all enable the production of flat components using a cutting head that follows instructions provided by digital design data to make shaped elements from sheet materials.”

As técnicas de *cutting* são por vezes referidas como «two-dimensional fabrication» (Dunn, 2012, p. 88) e são normalmente limitadas na espessura do material e pelo material em si, assim existem diferentes tecnologias mais favoráveis aos diferentes materiais que se deseja utilizar, que são:

(1) *laser-beam*: “high-intensity beam of infrared light mixed with a stream of highly pressurized gas, usually carbon dioxide, to cut materials.” (Dunn, 2012, p. 88)

(2) *plasma-arc*: “the plasma-arc cutting process passes an electric arc through a compressed gas jet in the machine’s cutting head, which heats the gas into very high-temperature plasma, a state change that subsequently reverses as the heat is transferred to cut the material” (Dunn, 2012, p. 88)

(3) *water-jet*: “high-pressured jet of water, mixed with an abrasive, through the cutting head, slicing the material in a precise manner.” (Dunn, 2012, p. 88)

2.3.2. *Subtração*

Este método de fabricação usa um processo de subtração do material a uma volumetria deixando apenas a forma pretendida, em que o excesso do material é removido através de um processo de *milling* ou *routing*.

“Two-axis milling machines work by having the rotating drill bit moved up and down along the Z axis, allowing material to be subtracted volumetrically.” (Dunn, 2012, p. 89) Mas há ainda máquinas com quatro ou cinco eixos capazes de fazer geometrias ainda mais complexas apenas com a alteração do eixo de posicionamento da *cutting head* ou da *cutting bed*.

O método da subtração tem vantagens em relação aos métodos tradicionais pois a máquina admite uma maior volumetria a ser maquinada, possibilita a maquinação de uma vasta variedade de materiais, tem uma maior tolerância na pormenorização dos elementos e é um processo que permite que as máquinas façam os trabalhos de maneira mais económica e mais rapidamente para grandes quantidades de

elementos. (Dunn, 2012, p. 89)

2.3.3. Adição

Ao contrário do método de *corte* ou do de *subtração*, este método funciona com a adição do material através de *layers* em vez da remoção do material até atingir a forma. Esta categoria de fabricação digital é conhecida por prototipagem rápida, que acaba por incluir diversas técnicas. (Dunn, 2012, p. 89) Contudo, os processos de adição têm como base de trabalho a constituição de *camadas* em duas dimensões, assim o objeto físico é construído por uma acumulação das mesmas.

As vantagens deste método passam: (1) pela ligação direta que existe entre o formato digital e a fabricação; (2) a complexidade da forma deixa de ser um obstáculo; (3) as máquinas de rápida prototipagem são tipicamente encerradas e não produzem muito ruído e têm a vantagem de serem pequenas o que possibilita a sua presença em pequenos estúdios; e (4) a utilização das mesmas não necessita de um conhecimento *especializado* em linguagem de programação ou conhecimento da máquina *a priori*.

2.3.4. Formativo

“Heat or steam is typically used in such processes, to render the material being formed more pliable and then to retain its new geometry once it has cooled”. (Dunn, 2012, p. 89)

O processo não adiciona nem retira material à volumetria, utiliza apenas forças mecânicas para fazer forma desejada ou deformação dos materiais até atingir a forma pretendida.

2.4. Máquinas em Fabricação Digital

2.4.1. Corte a Laser

A máquina de corte a laser é a técnica de fabricação digital mais conhecida e também a mais acessível. Estas máquinas com pequenos tabuleiros suportam apenas folhas de materiais com pouca espessuras como papel, cartão, plástico ^[FIG. 17], madeira, metais e têxteis.

A precisão de corte destas máquinas permite uma grande definição para corte de formas complexas e elementos com muito detalhe. Uma grande mais-valia deste tipo de técnica é que o laser corta, mas permite que com o seu ajuste possa executar o meio-corte, bastante utilizado na técnica de *foldering*, bem como gravação de elementos desenhados.

Trata-se da forma mais analógica e convencional para fazer maquetes e protótipos em que as peças são cortadas a partir de ‘folhas’ do material para posteriormente serem montadas em formas tridimensionais. (Dunn, 2012, p. 90) Podemos então verificar que esta é a forma que se assemelha mais à prática recorrente de se fazer modelos tridimensionais, passando a haver assim uma grande economia de tempo no corte das peças.

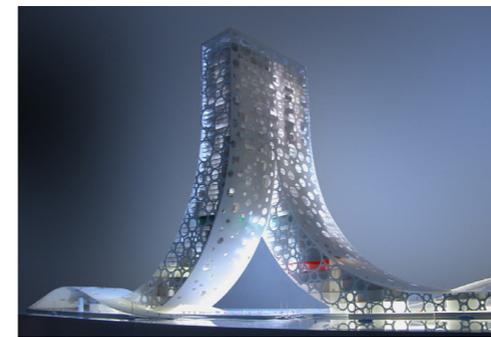


FIG. 17 Maquete do Bjarke Ingles Group (BIG), utilização do corte a laser para fazer a fachada

2.4.2. Fresadora

A Fresadora é uma das formas de fabricação digital mais consolidadas contando já com 40 anos de história. A CNC (Computer Numeric Computer) [FIG. 18] é um processo que usa um computador como sistema de introdução de informação na máquina controlando os seus movimentos através de pequenos códigos para cada um.

“This basic explanation shadows a complex procedure in which the CNC program coordinates a number of different tasks at any given time, including motion control, tool changes and spindle operation.” (Dunn, 2012, p. 96)

A sequência de funções conhecida como *tool path*, providencia uma série de instruções para a máquina. A fresagem dos materiais pode ser conseguida de diversas formas e com pequenas mudanças que alteram o resultado final (Dunn, 2012, p. 96) tornando-a o mais semelhante possível à forma pretendida.

As instruções recebidas pela CNC são divididas em diversos comandos primários como o *rapid move*, *controlled move* em linha recta ou em arco, ou uma série de *controlled moves* (resultante em *cut*, *hole* ou *profile*).



FIG. 18 Fresadora



FIG. 19 Reflective Room - Manchester School of Architecture (2010). utilização de uma fresadora para o corte das peças

A fresadora tem dois aspetos importantes: (1) o primeiro, o mais imediato, é remover material de um volume e fabricação de componentes de forma semelhante à escavação (*craving*), para ficar com a geometria pretendida, sendo esta a forma mais eficaz para se atingir o resultado mais cuidado, assim “this process may also reduce the amount of waste material and facilitates and relatively economical making of non-standard components.” (Dunn, 2012, p. 96). A segunda aplicação; e (2) não depende do objeto resultante final em si, mas na utilização do processo como um meio para o fim, como por exemplo a criação de moldes para a aplicação de outros materiais. Este método tem igualmente um alto nível de precisão e complexidade na criação de superfícies, “to make geometrically sophisticated and very detailed moulds.” (Dunn, 2012, p. 96)

Os processos de *milling* e *routing* são semelhantes na técnica de subtração do material para atingir a forma sendo a sua única diferença o material que podem desbastar, o *milling* é mais indicado para metais e o *routing* para madeiras e plásticos. O *routing* é na maioria das vezes utilizado em materiais em ‘folha’ como contraplacado ou MDF [FIG. 19], sendo apenas necessária uma máquina com três eixos (X,Y,Z) onde o eixo X e Y são os mais utilizados. (Dunn, 2012, p. 96)

“The most commonly used machines are three and five axis types. although three-axis control should enable the cutting head to access any desired point within the work field, these operations are often limited due to obstruction by the actual component being fabricated. Five-axis machines therefore provide a further two rational axes, perpendicular to one another, which facilitates the cutting head to reach internal areas or overhangs etc.” (Dunn, 2012, p. 96)

As máquinas podem também ter mesas fixas ou móveis, na opinião do autor, Nick Dunn (2012), as móveis podem ser mais económicas e inclusive mais precisas mas tendo sempre o contra de que estas mesas estão muito limitadas pelo tamanho e peso do material, algo que nas mesas fixas nunca chega a ser um problema.

2.4.3. Prototipagem rápida

A Prototipagem rápida é o processo de adição mais conhecido na fabricação digital, que facilita uma rápida produção de objectos dentro de uma 'lista' de materiais dependente de fatores como o tempo, aplicação e custo. O processo é muitas vezes confundido como um processo específico, mas é um conjunto de diferentes métodos:

- (1) *Stereolithography* (SLA);
- (2) *3D printing*;
- (3) *Laminated Object Manufacturing* (LOM);
- (4) *Fused Deposition Modelling* (FDM);
- (5) Multi-jet Manufactured (MJM);
- (6) Selective Laser Sintering (SLS);
- (7) Direct Metal Laser Sintering (DMLS).

Até à data uma das maiores limitações para qualquer destes processos, é o tamanho dos objectos pois as máquinas existentes ainda são demasiado pequenas. Assim, este é um dos processos em que o *hardware* proporciona objectos e/ou protótipos com mais clareza e legibilidade. (Dunn, 2012, p. 104)

2.4.4. Digitalização 3D

O processo faz a inversão entre a informação digital e o objeto físico. A digitalização 3D cria assim uma 'ponte' de informação entre os modelos de representação e ferramentas de desenho, onde o modelo se transforma e traduz em data. (Dunn, 2012, p. 108) O processo não se trata assim de fazer apenas um scan de um objeto como uma maquete, mas pode também introduzir a *data* de um determinado espaço já existente, aplicar os *softwares* necessários e avaliar e otimizar as propriedades do desenho

em relação ao material, estrutura, térmica e acústica. A realização deste levantamento faz-se com a utilização de um laser para ler o objeto, um laser de mão para leituras de objectos pequenos e de câmaras para espaços. As leituras efetuadas dos objectos físicos são então assemblados no computador como um padrão de coordenadas chamado «point clouds». Ambos os processos de levantamento podem então ser chamados de “reverse engineering”. (Dunn, 2012, p. 109)

2.4.5. Robótica

Esta é uma área em crescimento tanto na pesquisa e desenvolvimento, como na construção da arquitetura. Desde o final dos anos 70 que este processo se usa na indústria da construção mas apenas como facilitador de operações relacionadas com a construção em vez da fabricação em si. (Dunn, 2012, p. 111)

A robótica [FIG. 20] permite de fazer procedimentos complexos ao contrário de outros métodos de fabricação digital onde estamos condicionados pelo espaço, flexibilidade da máquina ou fixação do material. A flexibilidade que os *robots* [FIG. 21] atingem, possibilitam “to work in a non-cubic



FIG. 20 Braço Robótico



FIG. 21 Fachada do Gantenbein Vineyard (2006) instalada através de módulos construídos com um braço robótico

space, self-referencing its position in relation to an object.” (Dunn, 2012, p. 111)

Como os *robots* podem ser manufaturados segundo as especificações dos seus utilizadores, eles passam a ter um número ilimitado de aplicações para manuseamento de materiais, para cargas e descargas, soldaduras, também são capazes de utilizar lasers. A sua estrutura modelar possibilita-os assim de serem rapidamente e facilmente reconfigurados para diferentes operações. A complexidade de código de cada movimento faz com que a tarefa se torne demorada, daí serem muito utilizados para a indústria automóvel, pois a sua repetição poupa algum tempo no restante processo. (Dunn, 2012, p. 111)

2.5. Estratégias em Fabricação Digital

2.5.1. *Contouring*

Nesta estratégia de fabricação digital os materiais de construção vêm tipicamente em painéis, como os painéis de OSB, MDF, XPS, contraplacado, cortiça, pequenas lajes de pedra, folhas de alumínio e bronze, entre outros. (Iwamoto, 2009, p. 88) Assim, estes materiais apresentam-se maioritariamente como bidimensionais, apresentando texturas, espessuras e cores diferentes. (Iwamoto, 2009, p. 90)

O *Contouring* é uma estratégia que por ser uma técnica de subtração, “that reshapes this surface and creates a three dimensional relief by removing successive layers of material.” (Dunn, 2012, p. 130). A subtração do material para chegar à forma pretendida faz com que o desperdício do material seja elevado, mas o detalhe atingido com tal técnica no tempo executado acaba sempre por compensar.

O método de *contouring* não se distancia assim da técnica de *craving*, uma técnica que trabalhava principalmente com materiais para aplicar na arquitetura como madeira e pedra.

“Craving is a traditionally a manual, crafts-based skill, which has experienced considerable decline in the preceding century of industrial standardization and manufacturing.” (Dunn, 2012, p. 130)

A grande diferença entre estas duas técnicas - *contouring* e *craving* - é a ferramenta de trabalho, mão vs. máquina, realidade que se alterou durante a industrialização da indústria. Este facto trouxe as máquinas que tornaram a transição possível, especificamente a introdução da fresadora, trouxe a capacidade de produzir rapidamente um grande número de elementos *standard* ou sem serem standardizados (Dunn, 2012, p. 130), utilizando versões computadorizadas de equipamentos tradicionais de trabalho em metais e madeiras. Assim uma das grandes conquistas é a de que a “CNC millings allows for a more fluid transition between computer model and physical construct” (Iwamoto, 2009, p. 90) permitindo que a materialidade de um edifício eleve a sua qualidade a níveis extraordinários.

2.5.2. *Folding*

“Folding turns a flat surface into a three-dimensional one.” (Iwamoto, 2009, p. 62)

Este método, em comparação ao *contouring*, é mais económico em relação à poupança de material. A utilização do não-corte ou do meio-corte num desenho bem estruturado e pensado faz com que a não utilização do corte total não seja muito utilizada, ajudando a não ter tanto desperdício de material.

Folding permite “not only for making form but also for creating structure with geometry” (Iwamoto, 2009, p. 62), segundo a autora esta é uma das grandes vantagens, a possibilidade do próprio material e da forma resultante serem estrutura.

Segundo Iwamoto (2009, p. 62), “As a material technique, however, folding is not limited to being a secondary system of articulating the larger building diagram”. A técnica de moldar o material é uma ferramenta que tem ganho terreno na fabricação digital, pois expande o vocabulário de superfícies tridimensionais introduzindo apenas a deformação e a inflação como formas de manobrar os materiais para se adaptarem aos edifícios como a autora relata: “If floors fold to become walls and ceilings, then the material must fold as well”. (Iwamoto, 2009, p. 62) Os materiais por sua vez são maioritariamente em painéis que sejam flexíveis e capazes de dobrar sem quebrar, como folhas de metal, papel ou cartão e têxteis.

2.5.3. *Forming*

Forming é uma estratégia de fabricação digital que passa pelo desenvolvimento de formas ou moldes para posteriormente se desenvolverem a partir dos mesmos elementos aquitetónicos como painéis para fachadas, pequenos componentes, entre outros. É assim uma estratégia bastante utilizada na produção em massa, pois a partir de um molde podem fabricar-se muitos elementos. (Dunn, 2012, p. 148)

“Forming is an effective and relatively economical method of making a significant number of components, and as a result it is typical for a great deal of effort, time and cost to be spent in the fabrication of the moulds.” (Dunn, 2012, p. 148)

A criação de moldes para serem utilizadas na construção na arquitetura é uma técnica já há muito estabelecida para, por exemplo, a fabricação de elementos prefabricados como colunas e vigas ou paredes ou ainda para elementos de fachada com detalhe elevado.

Actualmente para fabricação de moldes ou formas utiliza-se uma *CNC Machine* ou uma *3D Printer*, métodos que tornam o processo mais rápido. A criação destes moldes implica assim sempre a criação de duas partes: o negativo (macho) e o positivo (fêmea). (Iwamoto, 2009, p. 110)

Com este processo, os elementos criados através do *forming* não são digitais em si mesmos, mas resultam de uma consequência direta da utilização dos moldes ou formas criadas pela fabricação digital conciliadas com materiais aplicados sobre o mesmo, sendo assim um processo que utiliza tanto a *machine-craft* como o *hand-craft*.

2.5.4. *Sectioning*

“Sectioning is a method of profiling components in relation to a surface geometry. By taking a series of sectional cuts through a digital model”. (Dunn, 2012, p. 158)

Com o constante interesse na experimentação de formas complexas, muitas vezes curvilíneas, a capacidade de ‘cortar’ o desenho ajuda a entender as relações de e entre a forma, superfície e espaço, bem como as relações entre as mesmas. Os *softwares* de modelação 3D possibilitam assim a visualização deste cortes para que possam passar de algo desenhado para um objeto físico. As técnicas e máquinas mais utilizadas são as *corte laser* e as *fresadoras*, embora já exista uma utilização mais frequente do plasma e de *jato de água* que veio ampliar o leque de materiais que podem ser utilizados. (Dunn, 2012, p. 158)

“Sectioning was one of the primary tooling procedures that facilitated full-size prototyping, since the section profiles are essentially the same and may be scaled as required according to sheet material constraints.” (Dunn, 2012, p. 158)

2.5.5. *Tiling/ Tessellating*

“Digital technologies have revitalized the design world’s interest in patterning and tessellation because they afford greater variation and modulation through nonstandard manufacturing, even as they provide an inherent economic means.” (Iwamoto, 2009, p. 36)

A criação de formas tridimensionais e superfícies (*surfaces*) complexas é executada através de componentes bidimensionais antes feita manualmente, agora através da máquina (Iwamoto, 2009, p. 36). A máquina veio assim possibilitar a criação dos componentes não standartizados respondendo à customização em massa que permite aos designers fabricar componentes com maior diferenciação entre eles e que quando combinados transformam-se em muito mais que apenas a soma das partes.

Uma das maiores vantagens é conseguir recuperar o tempo investido e fornecer maneiras onde se consegue gerar e otimizar padrões que consigam maximizar o impacto quer visual que material - especialmente no que diz respeito à redução de desperdício de material. (Dunn, 2012, p. 166)

“(...) A FUNDAMENTAL ISSUE IN DESIGN: THAT DESIGN CANNOT REMAIN EXCLUSIVE.”

(NETHERLANDS, ET AL., 2012)

2.6. Open-Source

O subcapítulo sobre *open-source* tem como referência textos escritos no livro *Open Design Now* (2012) criado por três entidades - Creative Commons Netherlands; Premsula, Dutch Platform for Design and Fashion; e Waag Society.

Segundo os autores (2012), “Open design was design whose makers allowed its free distribution and documentation and permitted modifications and derivations of it.” A definição apresentada no prefácio do livro procura descrever o que é a *open source* e a importância que tem agora e no futuro quer para designers, arquitetos e clientes/utilizadores.

O objetivo passa por partilhar informação, desenhos, 3D em plataformas *online* para que outros possam aceder, fazer *download*, modificar para posteriormente fabricá-los em *FabLabs*. A introdução da internet e a possibilidade de partilha conciliado *softwares* é um “fundamental issue in design: that design cannot remain exclusive.” (Netherlands, et al., 2012)

As transformações ao nível da digitalização das diversas áreas desde o design, à arquitetura, à moda e aos *media*, trouxe um grande crescimento e grandes mudanças na tecnologia e na forma de trabalhar dos profissionais que por sua vez tiveram um impacto importante na sociedade.

O *open-source* pode ser visto como uma ‘inovação criativa’ mas como os autores (2012) partilham, o *open-source* pode antes ser visto como uma ‘inovação social e participativa’ pois acreditam que as aplicações tecnológicas criadas tornar-se-ão num grande benefício para a população em geral.

“ The industrial era was mainly about designing products for the masses; in the post-industrial digital era, the masses themselves are seizing the chance to design, manufacture and distribute products.” (Netherlands, et al., 2012)

Na era digital pós-industrial, podemos ver em como a ideia expressa neste excerto vai de encontro à customização em massa, portanto ambas as definições vão de encontro a tentar expressar e tentar ir

de encontro àquilo que as pessoas querem ou precisam. A necessidade de criar algo que se adapte às necessidades de cada um fez com que surgisse o DIY (Do It Yourself). Esta nova tendência está muito interligada com o *open-source* e com a alteração de acordo com as preferências ou fazer algo de novo sem envolver organizações ou empresas, pensando apenas no consumidor final, muitas vezes adicionando o *hand-craft*, uma conexão entre as tecnologias modernas e técnicas tradicionais, esta ligação dos ‘dois mundos’ é por vezes chamada de *hyper-craft*. (Netherlands, et al., 2012)

Apesar das tensões entre amadores e profissionais, segundo Paul Atkinson em “Orchestral Manoeuvres in Design” (Netherlands, et al., 2012), o DIY é a prática do design profissional que foi democratizada. Uma das questões colocadas pelo autor do texto é ‘porque preocupar com a construção p.e. de uma estante se posso ter uma desenhada por um profissional, com bons acabamentos e que custa menos do que se fosse eu a fazê-la?’, a resposta é o facto de o DIY poder ser apenas uma forma produtiva de lazer.

Open Design Now (2012) é um retrato do que está a acontecer com a *share culture*, no facto de se poder partilhar o trabalho feito na *world wide web* e qualquer pessoa poder fazer um rápido *download* e poder fabricá-lo ou alterá-lo segundo especificações de quem o descarrega, esta acção faz com que qualquer pessoa consiga fazer a transição para o papel do *designer*.

De acordo com Rifkin (2015, p.80) “The open design concept conceives of the production of goods as a dynamic process in which thousands - even millions - of players learn from one another by making thing together.” (Rifkin, 2015, p. 80)

2.7. FabLabs

FabLabs ou *Fabrication Labs* ou *Fabulous Labs* (Gershenfeld, 2012, p. 47) têm início num curso do MIT’S *Interdisciplinary Center for Bits and Atoms* chamado *How to Make (almost) Anything* em 2002.

“(…) the FabLab’s principles: ‘to empower, to educate, and to create ‘almost anything’ and beliefs: to provide open access to technologies and workshops, to encourage open and free knowledge sharing, to recognise the protection of intellectual property rights, to take responsibility for the care of machines and others, and to support the FabLab’s activities.” (Hielscher & Smith, 2014, p. 11)

Os laboratórios de fabricação (FabLab) segundo Sabine Hielscher e Adrian Smith (2014, p. 11), estão abertos para negócios, empreendedores e público em geral, embora a procura seja feita maioritariamente por pessoas interessadas em tecnologia. Os *FabLabs* são na sua maioria instalados e desenvolvidos em polos tecnológicos, empresas, entidades independentes, centros de inovação e ainda universidades.

Ao longo dos 34 países, foram criados 125 laboratórios (dados de 2013) (Hielscher & Smith, 2014, p. 11). Os *FabLabs* fazem parte de uma rede que possibilita a partilha de dados e informações baseada na ideia “Think Globally, Fabricate Locally”. (Gershenfeld, 2012, p. 46)

Os laboratórios dispõem das mesmas ferramentas e equipamentos o que permite que um projeto possa ser partilhado entre pessoas e laboratórios, fazendo parte de um *maker movement* de DIY, que pretendem democratizar o acesso às formas modernas de fazer. O objetivo da fabricação digital, segundo Gershenfeld (2012, pp. 48, 49) não é fazer algo que já exista à venda nas lojas e que responda à necessidade da pessoa, mas sim fabricar e/ou construir algo que não possa ser comprado ou que não exista de forma a responder às suas necessidades.

3.1. Aspeto Social da Fabricação Digital

3.1.1. Home Delivery: Fabricating the Modern Dwelling (2008)

MoMA (Museum of Modern Art, New York)

“The exhibition is, by its very title, about the process of making architecture in the new conditions of the digital age, with aspirations for future factory production guided by mass customization, new digital techniques, and the brimming energy and creativity in today’s architectural climate that are triggered by developing streamlined relations between designing and fabricating.” (Bergdoll, et al., 2008)

Home Delivery: Fabricating the Modern Dwelling é uma exposição produzida pelo MoMA em 2008, que segundo os seus curadores passa por expor não só os resultados mas também os processos de desenho e de construção de 58 casos de estudo. Amostra contém projetos realizados, não realizados, sistemas de construção, paradigmas, brinquedos arquitetónicos e os cinco projetos comissariados para exposição dos quais resultaram protótipos que estiveram expostos.

A exposição nasceu de duas oportunidades: (1) as posições atuais na discussão da fabricação que rapidamente redesenam as linhas entre a criatividade arquitetónica e a inovação da manufatura; e (2) de um grande vazio na malha urbana no centro de Manhattan que poderia ser ocupado por um protótipo.

Os dois pontos aliados permitiram uma exposição associada a uma vertente mais teórica através textos publicados no site da exposição feitos pelos criadores dos cinco projetos (os primeiros três meses e meio), e os restantes três meses foram para a construção das habitações e exposição das mesmas.

São cinco projetos apresentados no lote do MoMA:

(1) *Compact House*, de Haack+Hopfner;

- (2) *Digitally Fabricated Housing for New Orleans*, do MIT com a coordenação de Lawrence Lass;
- (3) *System 3*, de Oskan Leo Kawfman e Albert Ruf;
- (4) *BURST*008*, de System Architects;
- (5) *Cellophane House*, de Kieran Timberlake Associates.

Todos os projetos mostraram exemplos de casas prefabricadas contemporâneas, desde as casas de férias até às casas desenhadas para serem implantadas em locais de risco, como a casa para Nova Orleães. Na fase inicial do projeto para a exposição foi criada uma linha do tempo refletindo sobre um levantamento de 58 projetos relacionados com a prefabricação de casas (os que nunca saíram do papel, os protótipos, os produzidos e os que se encontravam na exposição). Os projetos centram-se nas seguintes épocas históricas: (1) início do século XIX: construção de casas em fábricas, integralmente ou por partes, desenvolvidas em solo americano para o assentamento das colónias da Grã-Bretanha e França; (2) início do século XX (anos 20 e 30): relação da arquitetura com a produção em série; (3) depois da Segunda Guerra Mundial: a prosperidade económica e o *baby boom* e a falta de habitação; (4) anos 60: a introdução de novos materiais; e (5) final do século XX/ início do século XXI: “the computer has dramatically changed the conditions of production”. (Bergdoll, et al., 2008)

O estudo e desenvolvimento de protótipos e exemplos de casas prefabricadas prende-se com a temática da sustentabilidade e crescimento da população, que os diferentes autores dos projetos mostram como impulsionadores na procura da resposta a estes desafios e problemáticas.

“The show explores new relationships with design that also promise to make matters of sustainability, ecological fabrication, and customization through digital design and manufacturing tools into features of the daily environment.” (Bergdoll & Christensen, 2008, p. 10)

Micro Compact House (2008)

Horden Cherry Lee Architects/Haack + Höpfer Architects

O slogan desta pequena casa é “Smart living for a short stay”. (Bergdoll & Christensen, 2008, p. 190) A *Micro Compact House* é descrita pelos autores como uma habitação temporária para viajantes, atletas e estudantes. O protótipo [FIG. 22] foi desenvolvido em parceria com o *Tokyo Institute of Technology*, que conseguiu cumprir o objetivo de criar um protótipo para uma habitação sustentável, compacta e eficiente.

“(…) this perfect cubic form packs a remarkable amount of muscle into its tiny envelope. The projeto is intended as a modern «machine for living», providing functioning spaces of sleeping, working/ dining, cooking and hygiene for one or two people.” (Bergdoll, et al., 2008)

Na descrição do projeto os arquitetos enfatizam o facto de a MCH (*Micro Compact House*) [FIG. 23] ser pensada e entendida como uma “(…) modern «machine of living», modern specifically referring to the absolute extraction of domestic vestiges of a predigital age (…).” (Bergdoll & Christensen, 2008, p. 190)

Construído com uma estrutura de madeira, e

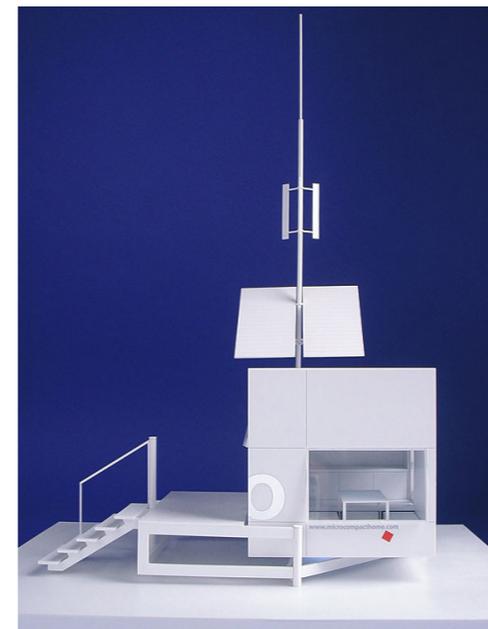


FIG. 22 Maquete da MCH



FIG. 23 Fotografia do exterior da MCH

revestida a um sistema de painéis duráveis de alumínio, a MCH é isolada com poliuretano e janelas de vidro-duplo com moldura em alumínio. Escolhido o local de implantação do módulo, este é transportado de camião e instalado no local em poucos minutos.

“The much is a most outstanding commercially available example of a contemporary prefabricated house. It marries elegant form with high technology and viable sustainable practices. In delimiting the boundaries of the house to such a small envelope, the architects make a bold statement regarding what is essential to live in the twenty-first century without sacrificing a meticulous aesthetic and brilliantly organized composition in a confident, compact package.” (Bergdoll & Christensen, 2008, p. 193)

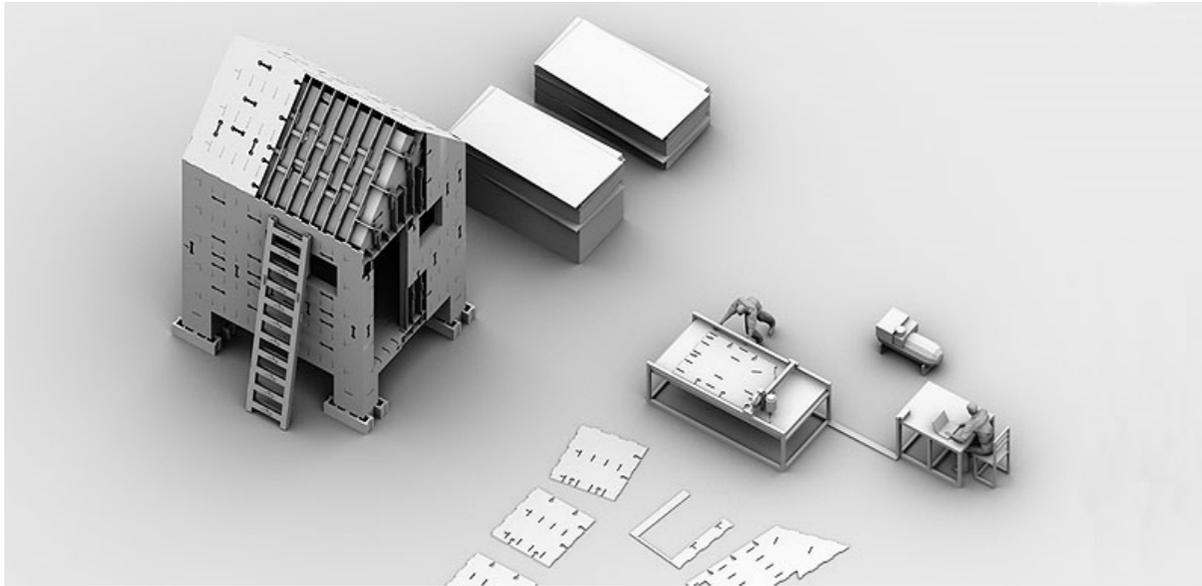


FIG. 24 Rendering sobre a produção e montagem

Digitally Fabricated Housing for New Orleans (2008)

MIT - School of Architecture and Planning/ Lawrence Lass

Digitally Fabricated Housing for New Orleans é uma proposta para a rápida construção de Nova Orleães, que surgiu de uma anterior investigação que deu origem à *Instant House*. “The goal of the Instant House was to find a way to harness the speed and precision of laser cutters to fabricate simple shelters quickly and inexpensively.” [FIG. 24] (Bergdoll & Christensen, 2008, p. 196)

Como parte da adaptação da *Instant House* para Nova Orleães, foi feito um levantamento da arquitetura local, com enfoque nas zonas históricas da cidade. Como resultado deste levantamento, modelaram as fachadas usando dois métodos: a fabricação utilizando fresadoras e impressão 3D. [FIG. 25] Com a possibilidade de fabricarem a casa utilizando placas de contraplacado, tiveram que identificar formas de construir a ornamentação, como as filigranas ou as colunas. (Bergdoll & Christensen, 2008, p. 196)

O protótipo prova a versatilidade da *Instant House*, e Lass afirma que este mostra a adaptabilidade e as qualidades camaleónicas dos novos sistemas. “With its high-technology assembly, its utility could spread far beyond the Louisiana coast.” (Bergdoll & Christensen, 2008, pp. 196, 198)

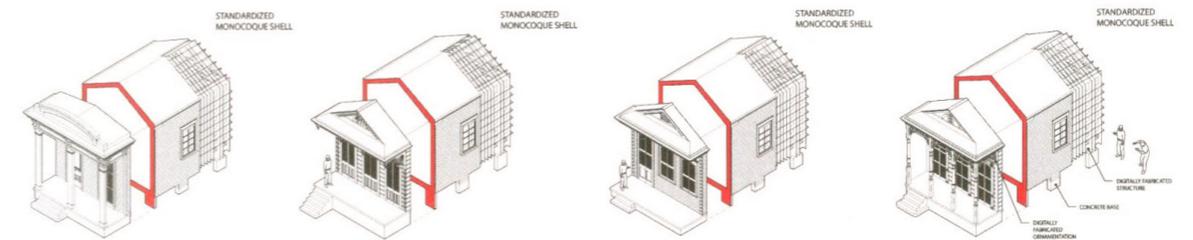


FIG. 25 Opções para customização

System 3(2008)

Oskan Leo Kawfman e Albert Rűf

O System 3 é o reflexo do trabalho persistente dos arquitetos Oskan Leo Kawfman e Albert Rűf que procuram encontrar a melhor forma de construir a melhor habitação, ao melhor preço com a melhor tecnologia. O projeto é um protótipo de uma unidade de habitação desenvolvida para potenciar a construção em blocos para grandes comunidades.

[FIG. 27]

De acordo com os arquitetos

“(...) house is a single unit consisting of two spaces types: a “serving” space and a naked space (...). The serving space refers to a completely prefabricated unit that provides all requisite functions: kitchen, bath, electricity, Internet, laundry, facilities, dishwashing, heating, cooling, ventilation, and vertical circulation in the event the units are stacked. The serving spaces comes delivered as a completely composed volume. Conversely, the naked space is formed by entirely planar elements: floor slab, walls, windows, optional “skins”, and a roof.” (Bergdoll & Christensen, 2008, p. 214) [FIG. 27]

O objetivo do projeto é fazer com que os módulos sejam entregues a um construtor que consiga fazer



FIG. 26 Axonometria

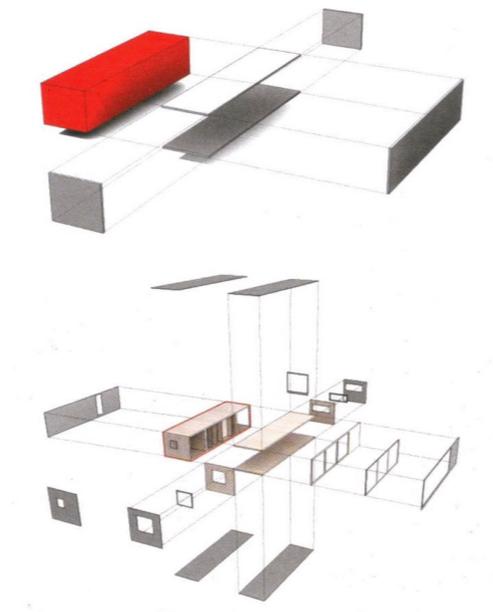


FIG. 27 Diagrama de elementos do edifício

toda a fabricação, efetuar a entrega e fazer a montagem das peças, sempre a partir de um esquema desenvolvido por um arquiteto. Todo o projeto foi pensado de forma a poder ser fabricado a partir de uma CNC, e através de entidades locais desenvolver vãos em parceria, definir os materiais locais mais apropriados, permitindo fazer uma customização do desenho inicial.

Em síntese, a habitação tem em conta as noções mais rudimentares e tradicionais que constituem uma casa prefabricada, tendo em conta o aspeto formal.

BURST*008(2008)

Jeremy Edmison/ Douglas Gauthier

“(...) BURST*008 house (...) is intended less as a statement about prefabrication than it is as a demonstration of what fabricated housing can achieve by mining the possibilities of the computer.” (Bergdoll & Christensen, 2008, p. 204)

Neste projeto, os arquitetos estão interessados em utilizar o computador e outras tecnologias como ferramentas para desenhar e produzir arquitetura. Trata-se, através de um algoritmo, não apenas de transportar o ‘desenho à mão’ para o *software*, mas transportar as decisões de projeto do arquiteto para o computador. [FIG. 28] De acordo com esta visão, o cliente e o arquiteto com a ajuda do computador podem decidir vários aspetos do projeto de forma automática, como por exemplo: o número de quartos ou a distribuição do espaço público e privado, bem como as condições do local, a exposição solar, entre outros. Com a informação dada pelo cliente, o arquiteto poderia assim abrir uma série de elementos de arquitetura (plantas, alçados e cortes) e decidir a que mais se adequa, e o computador gera um modelo 3D e em segundos a casa estava completamente desenhada. (Bergdoll & Christensen, 2008, p. 204) O modelo depois de gerado, as peças eram colocadas por um *software* em placas para otimizar espaço e posteriormente era fabricada por *laser cutters* em placas de contraplacado.

Como diz Edmiston “Prefab isn’t about saving money; it is about controlling risk.” (Bergdoll & Christensen, 2008, p. 206). O real objetivo deste projeto é dar um passo em frente no sistema de fazer o projeto utilizando as novas ferramentas, em vez da forma ou dos gastos. [FIG. 29] Os arquitetos acabaram por gastar perto do dobro do estimado para a obra. Como afirma o autor do projeto “(...) in focusing their energy on the system rather than the price point, the architects’ achievement is double.” (Bergdoll & Christensen, 2008, p. 206)

Cellophane House (2008)

Kieran Timberlake Associates

A Cellophane House [FIG. 30] é “a four-story, single family structure, makes no claims to permanence.” (Bergdoll & Christensen, 2008, p. 224) O princípio do projeto parte da filosofia defendida pelos arquitetos, que preferem a construção fora do local de implantação (*off-site*) do que prefabricação. Este ponto inicial conduziu-os a testarem uma forma de conseguirem ter uma estrutura metálica que depois de montada, não fosse posteriormente para o lixo. Em prol de um projecto mais sustentável, integraram na estrutura uma forma de assemblagem

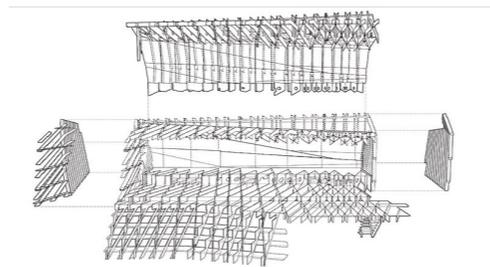


FIG. 28 Desenho construtivo das peças estruturais



FIG. 29 Fotografia do exterior

temporária em vez de uma fixa. A habitação contém ainda células fotovoltaicas integradas na fachada, uma membrana PET e a água é aquecida através de um coletor solar na cobertura.

Segundo Timberlake (2008, p.227), “Through simple modifications, the house can adapt to a range of site conditions including climatic factors, solar orientations, slopes, and adjacencies, but also to material, textural, and color options as required by the budget and tastes of the client.” Isto possibilita então que o projeto se possa produzir de forma personalizada (customizada), também pelo fato de estar desenhado utilizando o sistema de BIM.



FIG. 30 Render do exterior



**“ARCHITECTURE FOR THE PEOPLE,
BY THE PEOPLE”**
ALASTAIR PARVIN

3.1.2. WikiHouse (2013)

Architecture 00

A terceira Revolução Industrial começa, para Alastair Parvin, fundador da *WikiHouse*, na criação de novas máquinas, como a fresadora e a impressora 3D, entre outras. A existência destas máquinas em todo o mundo aliada à potencialidade do *open source* faz com que a ‘fábrica’ deixe de apenas existir num único local. Segundo a TED de Parvin (2013), “(...) the factory is potentially everywhere” [FIG. 31.1] (Parvin, 2013). Facto só possível graças à potencialidade da internet permite que a informação circule mais livremente. A nova dinâmica na produção e construção de arquitetura pode ser desenvolvida quer individualmente quer ao nível da comunidade. As preocupações que assentam no desenvolvimento deste sistema são: sociais, económicos e políticos.

“There’s a strange sub divergence happening in the field of architecture. Because increasing the kind of work we we’re doing didn’t really reflect the kind of buildings that the majority of the world’s population actually live in, and it didn’t even reflect the kinds of buildings that ourselves can afford.” (Ierodiaconou, 2014)

O rápido crescimento das cidades, atualmente já não corresponde a um crescimento baseado em arranha-céus e na construção tradicional, corresponde sim a uma construção *selfmade*, em que as pessoas são parte ativa do processo, no desenho e na construção, respondendo às suas próprias necessidades contornando quer problemas relacionados com as alterações climáticas como das condições higiénicas e culturais.

A construção tradicional deixou de conseguir dar essas respostas pois 99% da população mundial deixou de ter meios económicos para comprar casa. Como Alastair diz, “we need building tools for social economy” (2013), procurando assim que as pessoas possam construir para si mesmas a um custo mínimo.

A *WikiHouse* assenta na arquitetura para os 99% da população. Trata-se de uma população que constrói segundo as suas necessidades, porque “one size no longer fits all”. (Parvin, 2013) Segundo o que

Alastair Palain e Nick Ierodionou (cofundadores da *WikiHouse*), os arquitetos aprendem a projetar arquitetura para 1% da população. Percentagem que diminui enquanto os problemas económicos mundiais aumentam, pois se verificarmos ainda durante o final do século passado desenhávamos para os 99% da população através do Flangetério, comunismo, e durante o *boom* do imobiliário (Parvin, 2013). Se construir é a solução mais cara, então: (1) *don't built*, (2) *go small*, (3) *go amateur* (Parvin, 2013). A ideia é construir-se muito com pouco, para que a construção da cidade seja desenvolvida pelos cidadãos a baixo custo. A resposta é dada pelo criador da Wikihouse

“the only difference between tradicional/ vernacular architectural construction and open source architecture might be a web connection”. (Parvin, 2013) [FIG. 31.2]

Alastair (2013) refere, a ligação à *web* é um pormenor que faz toda a diferença, para as pessoas, para o designer e para quem constrói, que podemos apenas dizer para as pessoas, visto que passa a estar tudo concentrado na pessoa que tem a necessidade de construir, na vontade de querer fazer. Como diz Nick Ierodionou” (Gittleson, 2013) “We’ve been barn raising as a culture for hundreds of years - the difference today is that with

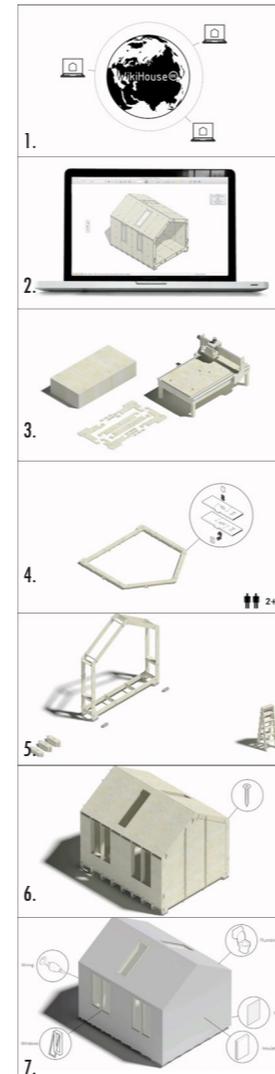


FIG. 31 Processo da WikiHouse



FIG. 32 Versão do sistema da Wikihouse



FIG. 33 Versão do sistema da Wikihouse pela Wikihouse Nova Zelândia

the internet it’s happening simultaneously around the world. A *WikiHouse* é, um sistema construtivo *open-source* que permite a qualquer pessoa partilhar “(...) designs for a house, type structures to a website and find fine designs that they want and then download them, and open them with this software.” (Ierodionou, 2014) A premissa é muito simples: (1) ficheiros acessíveis, partilha *online*, *upload/download*; aliado (2) à fácil acessibilidade aos desenhos e ferramentas, é fácil de aprender, e idealmente com acesso gratuita; (3) através de materiais recicláveis; (4) fabricação digital; e (5) assemblagem acessível a todos, fácil de construir e sem mão-de-obra especializada. (Ierodionou, 2014)

Resultando em cinco passos para o desenvolvimento da *WikiHouse*:

“(1) Install Google SketchUp, a free3-D-modeling program, and download the plug-in for WikiHouse;

(2) Choose a home design from the WikiHouse library, and click “make this house” in SketchUp to generate cutting files for its components;

(3) Use a CNC mill (or hire a machine shop) to cut the beams, panels, and other pieces from a sheet material such as plywood; [FIG. 31.3]

(4) Match the pieces to form a frame, and connect them with pegs. Raise the frame, and screw on the walls, roof, and floor panels; [FIG. 31.4, 31.5, 31.6]

(5) Plumb and wire the structure, and add insulation, windows, and cladding to weatherproof it. Now your new WikiHouse is ready for occupants.” (Goodwins, 2014)

Assim, o sistema é melhorado a cada experiência que é executada, através de novos dados relacionados com o clima, como a exposição solar e a humidade, para conseguirem perceber como é que o material e os diferentes encaixes reagem para que os possam melhorar. [FIG. 31.7] Assim, estes dados ajudam no passo seguinte que a WikiHouse quer dar: a parametrização do sistema.

“Our dream is to make WikiHouse simple to use, with parametric software that lets you say how big you want things, what material you’re using, and then generates everything.” (Goodwins, 2014)

“ARCHITECTURE IS PERSONAL AGAIN.”

DUS ARCHITECTS, 2014

3.1.3. *3D Print House Canal* (2014)

DUS Architects

“For the first time in history over a half of the world’s population is living in cities. We need a rapid building technique to keep up with the growth of the mega-cities and we think that 3D Printing can actually be that technique to provide good housing for millions of people on this planet.” - Hans Vermeulen (DUS Architects, 2014)

A criação da *3D Print Canal House* pelos DUS Architects (2014) assenta na possibilidade dos arquitetos poderem criar maquinaria necessária para a criação de projetos arquitetónicos como rampa de lançamento para a sua utilização numa maior escala. Como podemos ler na afirmação de Vermeulen, uma das preocupações passa sempre pela habitação e como é que se irá construir para a população daqui em diante.

O atelier holandês começou assim por utilizar a impressão 3D como meio para atingir o seu fim, como Hedwig Heinsman relata, “3D printing as a new craft” (DUS Architects, 2014) Como resposta à questão de como podemos construir uma casa em 3D personalizada, os arquitetos desenvolveram uma impressora 3D denominada *KamerMaker* (ou *RoomBuilder*). A *KamerMaker* se autoproclama como “world’s first movable 3D-printer pavilion” (Sacchetti, 2013), podendo imprimir áreas de 2,2 x 2,2 x 3,5 metros. O sistema é semelhante ao de uma *Ultimaker*, a escala maior. Atualmente, a impressora usa um filamento chamado *Macromelt*, um género de cola industrial desenvolvido pela empresa alemã *Henkel*, que contém 80% de óleo vegetal, combinado com plástico granulado que é derretido por uma máquina que se encontra na sala da impressora a 170 graus celsius. A ambição dos arquitetos passa pelo desenvolvimento de um filamento mais sustentável utilizando outras matérias que não o plástico, optando, por exemplo, pela madeira ou por desperdício de pedra natural. (DUS Architects, s.d.) O facto de a *KamerMaker* ser inicialmente desenvolvida dentro de um contentor de cargas ou com as suas medidas, permite que a impressora possa viajar e/ou ser distribuída por todo o mundo de forma a produzir soluções que respondam ao contexto local, com, se possível materiais locais que possam ser utilizados como filamentos para a impressora.

Porquê uma *Canal House*? [FIG. 34]

Segundo Hans Vermeulen (DUS Architects, 2014) “We like the canal house typology, is not only an ornamented facade but especially the program,”. Os arquitetos estão a desenvolver uma tipologia local com os materiais que devem ser 100% recicláveis. O objetivo é que as pessoas não vivam em casas de plástico”. (DUS Architects, 2014)

A *3D Print House Canal* começa por ser uma casa desenvolvida para uma impressora 3D com os tamanhos convencionais. Com o avanço da investigação, os arquitetos criam a *KamerMaker*, o que tornou possível a impressão da mesma à escala real. A transição de escalas não foi difícil pois trata-se



FIG. 34 Fotomontagem de uma 3D Print House Canal

apenas de uma ‘ampliação’ sem serem necessários ajustes de espessuras ou tratamento do modelo 3D. A construção da *House Canal* é feita *room by room*, em que os módulos são logo impressos com todos os elementos num só: os ornamentos, a estrutura, a fachada interior e exterior. (DUS Architects, 2014) Tal como a WikiHouse, a cada experiência, e a cada módulo construído existem sempre avanços para que se possam responder a perguntas relativas à insolação, à resistência ao fogo, e se o sistema construtivo já é o mais correto e fiável, entre outros.

Segundo Hedwig Heinsman (cofundadora DUS Architects), a impressão 3D é nos dias de hoje, tal como toda a fabricação digital, uma quebra na distância entre arquiteto-cliente-constructor, defendendo que “Architecture is personal again”. (DUS Architects, 2014)

“The future of digital fabrication in architecture therefore implies rich and varied dialogue of exploration, invention and application.” (Dunn, 2012, p. 176)

A exploração foi sempre a impulsionadora para novas descobertas, que levaram a novas invenções e por consequente novas aplicações. As novas invenções levam à quebra de barreiras na arquitectura e permitem novos avanços quer no processo quer na construção.

Hoje em dia, os arquitetos têm à sua disposição novas ferramentas que os auxiliam no desbravamento de obstáculos, promovendo formas mais arrojadas, assemblagem mais simplificada, tempo de construção e custos mais reduzido e materiais e processos sustentáveis. No entanto, nem tudo são prós, nem tudo são contras. Ao longo das últimas décadas muito se tem debatido sobre o impacto que as novas ferramentas e tecnologias têm na arquitectura, uns contra, outros a favor, uns que utilizam porque quebram barreiras que entendiam como inquebráveis, outros porque não as compreendem e rejeitam. Porém, a utilização do digital torna-se quase inevitável, mesmo para os que a rejeitam. Quantos arquitetos não utilizam o computador, o telemóvel, a porta automática, a caixa de multibanco, a internet? O digital tornou-se ubíquo.

A internet proporcionou um desenvolvimento inesperado que causou um grande impacto na sociedade. Todos nós sabemos qual é a sua importância, mas ninguém ainda se apercebeu e/ou compreendeu completamente o quanto afeta as profissões criativas. (Kolarevic, 2003, p. 262)

A fabricação digital marca outra viragem, a possibilidade de chegar a mais pessoas, tornar a ‘*architecture personal again*’ (DUS Architects, 2014). A Fabricação Digital surge num contexto em que qualquer pessoa pode desenhar, partilhar e construir. A vasta amplitude de conhecimento presente na internet permite a partilha de *data* e de informação, de forma a que qualquer pessoa possa utilizá-la, modificá-la, beneficiando o processo de customização em massa. O conceito de *open-source*, leva-nos aos projetos colaborativos desenvolvidos por equipas multidisciplinares com membros em várias partes do mundo e que são partilhados e utilizados por todos.

A possibilidade de partilha de desenhos e conhecimento, coloca então a questão: Onde é que se pode passar de um ficheiro digital para algo físico?

“The next big thing is personal fabrication - the ability to design and produce your own products, in your home, with a machine that combines consumer electronics and industrial tools. Personal fabricators are about to revolutionize the world just as personal computers did a generation ago” (Gershenfeld, 2005, p. 1)

Nem todas as pessoas que querem desenvolver os seus projetos tem acesso à maquinaria necessária, então como resposta surgiram os FabLab’s. A introdução dos FabLab’s em diferentes partes do mundo, veio ajudar na construção, agora auxiliada pelas novas ferramentas, tendo sempre presente as comunidades, materiais e técnicas construtivas locais. A mais valia em, por exemplo, comunidades mais remotas, torna-se então mais complicada, a ausência de internet, embora não seja mandatória; a eletricidade para colocar a maquinaria a funcionar; pessoas qualificadas a trabalharem com as máquinas, tudo isto são pontos de uma equação ainda por resolver. A ambição de ajudar na construção de habitação em locais mais remotos e com menos possibilidades, é partilhada por diversos projetos, para de que alguma forma seja mais rápido e mais barato construir nesses locais.

A realidade, neste momento, é a existência de muitos contras, muitas dificuldades, talvez por ainda nos encontrarmos no início de uma nova realidade, ainda há questões como:

- (1) o preço - com o preço dos materiais e o tempo de fabricação ainda elevado, as peças finais (material + tempo de fabricação + mão-de-obra) ficam demasiado caras para conseguir competir com grandes empresas;
- (2) o domínio das ferramentas: o *software* ainda não é acessível a todos, muitas das vezes os *interfaces* são demasiado complicados;
- (3) a profissão: se todos somos aptos a trabalhar com a fabricação digital e qualquer pessoa a domina, o que acontece ao arquitecto?, passará apenas a haver consultores e técnicos de máquinas?

Todas estas questões impõem-se agora, mas no futuro a resolução das mesmas é possível. Se, neste momento construir uma pequena habitação revela-se muito dispendiosa, pois o tempo de máquina e o material necessário ainda não suportam o tempo gasto. A criação de novos *softwares* mais intuitivos para a utilização das máquinas necessárias também facilitariam a aprendizagem de como trabalhar com as mesmas.

“I think digital technologies are essentially technologies of communication and not simply of manufacture. They have changed entirely the possibilities for the way architecture is developed and conceived.” - Mark Oulthorpe (Kolarevic, 2003, p. 292)

Há também que haver uma maior aceitação pela comunidade de profissionais da área, a ameaça que as novas tecnologias apresentam neste momento são as mesmas que se viveram nos anos 60 onde a dependência pelas ferramentas cegou as oportunidades que as mesmas podiam oferecer, como Mark Oulthorpe defende. (Kolarevic, 2003, p. 292)

Esta é uma recente realidade, a adaptação não é fácil e a viragem pode ser uma das mais importantes de sempre, para já, já existem algumas vitórias, como os softwares CAD - “CAD is the way to go (...) Today, no professional considers practicing without the use of a CAD system, which means there is no argument anymore about their validity.” (Kolarevic, 2003, p. 261) -, ou a internet, ou ainda a utilização em massa de dispositivos digitais, os jogos electrónicos, e os últimos passos que foram na direção da proliferação da parametrização.

Ainda há mais para vir? Sim, claro.

“The shift to a digital paradigm is the most fundamental technological shift humanity has probably ever encountered; the change from hieroglyphics to alphabetic codification, or the invention of mechanical print, are both seemingly minor by comparison.” - Mark Oulthorpe (Kolarevic, 2003, p. 292)

Como se constrói habitação para 7 mil milhões de pessoas? É a questão a que atualmente se procura responder, como é que através dos novos processos digitais podemos resolver este problema. A resposta não é uma linha reta, nem com um fim à vista, por agora é só mesmo uma reta sem fim, sabemos onde se iniciou, ainda não sabemos onde acaba.

O percurso até chegarmos aonde estamos hoje, entre o social, o tecnológico e a arquitectura, nem sempre foi linear, teve altos e baixos, avanços e desvios. Quando a conquista da máquina se deu na Revolução Industrial, pensou-se que era possível mais e foi o início da nossa partida, da viragem para mudar não só a construção e a arquitectura, mas como a sociedade olhava para os avanços tecnológicos e para a mudança que se avizinhava. Como vimos, neste primeiro patamar, a tecnologia chegou ao topo do pódio e influenciou a arquitectura e a sociedade a olhar mais à frente e a crescer com ela, sempre ansiando por mais e melhor. No século seguinte, a marca das Guerras Mundiais levou a sociedade a precisar de mais, levou os arquitetos a tentarem dar resposta aos problemas levantados, e como vimos, nem sempre foram bem sucedidos ou bem aceites. Agora, as novas tecnologias digitais e as questões sociais andam a par e passo e a arquitectura tenta dar resposta a uma, utilizando a outra, ambas como impulsionadoras.

Nos últimos capítulos da dissertação é possível perceber que o social está diretamente ligado à participação da comunidade/ cliente no processo de fazer habitação. Com esta nova atitude, uma nova relação entre cliente-arquiteto-construtor se funde numa só, pois temos todos os meios sociais e tecnológicos à disposição, o open-source, os FabLabs's, a mão-de-obra. O novo virar nem sempre é perfeito, o problema de ainda estarmos no início deste novo olhar sobre a arquitectura, é que ainda levanta muitos problemas, não só pela comunidade de profissionais mas também pela população em geral.

Os projetos apresentados e os autores citados ao longo da dissertação correspondem na sua maioria: primeiro a projetos experimentais; segundo a arquitetos que se dedicam a investigar e a testar novos processos com novas ferramentas, muitas delas partindo sempre do ensino, da partilha de conhecimento em colóquios, conferências e conversas muitas das vezes entre alunos e professores.

O passo seguinte, começa mesmo nesta nova realidade, em que a investigação, e os agora protótipos, podem ser algo mais, algo pelo qual está toda a gente à espera, Trata-se de num discurso positivo mas cheio de questões à espera de terem resposta e serem resolvidas. Poucos são os protótipos que já passaram do papel da maquete e passaram a fazer a diferença nas comunidades, mas aqueles que já o fizeram, já estão a causar um impacto positivo nas comunidades e isso está a causar ânimo e a ampliar os horizontes da comunidade profissional e das populações que recebem estes projetos.

O futuro é incerto mas entusiasmante, as questões levantadas são agora as impulsionadoras para melhorar o que já está feito na esperança de que mesmo assim, a linha sem fim nunca encontre o seu fim e de que o processo da Fabricação Digital contribua para resposta à pergunta inicial.

MONOGRAFIA, ARTIGOS PERIÓDICOS, DISSERTAÇÕES E TESES

Bergdoll, B. & Christensen, P., 2008. Home Delivery: Fabricating the modern Dwelling. New York: The Museum of Modern Art.

Dunn, N., 2012. Digital Fabrication in Architecture. London: Laurence King.

Fernández-Galiano, L., 1999. Split-Screen. *Arquitectura Viva*, Novembro/ Dezembro, pp. 17-23.

Gershenfeld, N., 2012. How to make almost anything. *Foreign Affairs*, Novembro/Dezembro, Volume 91, pp. 43-57.

Glymph, J., 2003. Evolution of the Digital Design Process. In: *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*. New York: Taylor & Francis, pp. 102-120.

Hielscher, S. & Smith, A., 2014. Community-based digital fabrication workshops: A review of the research literature. *SPRU Working Paper Series*, Maio.

Iwamoto, L., 2009. *Digital Fabrications: Architectural and Material Techniques*. New York: Princeton Architectural Press.

Kieran, S. & Timberlake, J., 2004. *Refabricating Architecture: How Manufacturing Methodologies are Poised to Transform Building Construction*. New York: McGraw-Hill.

Kolarevic, B., 2003. *Architecture in the Digital Age: Design and manufacturing*. New York: Taylor & Francis.

Kolarevic, B., 2005. *Designing and Manufacturing Architecture in the Digital Age*. s.l., Fakultě architektury ČVUT.

Oliver, P., 1997. Introduction. In: P. Oliver, ed. *Encyclopedia of Vernacular Architecture of the World*. United Kingdom: Cambridge University Press, pp. XXI-XXVIII.

Oliver, P., 2003. *Dwellings*. London: Phaidon.

Paio, A. & Silva, B., 2013. Processos Digitais: Computorização e computação. *Arqa*, Mar/ Abr, Volume 106, pp. 24-25.

Pavlidis, E., 1997. Approaches and Concepts: Architectural. In: P. Oliver, ed. *Encyclopedia of Vernacular Architecture of the World*. United Kingdom: Cambridge University Press, pp. 12-15.

Picon, A., 2010. *Digital Culture in Architecture*. Basel: Birkhauser.

Rifkin, J., 2015. Fábricas Domésticas - 3D Printers: a New Industrial Culture. *Arquitectura Viva*, Setembro, Volume 177, p. 80.

Sacchetti, V., 2013. Printable futures. *Domus*, Abril, Volume 968.

Silva, F. D. d. A., 1997. *Arquitetura e as Tecnologias de Informação: da revolução industrial à revolução digital*. Campinas: s.n.

WEBGRAFIA

Bergdoll, B., P., J., Christensen, P. & Lipps, A., 2008. Home Delivery: Fabricating the Modern Dwelling. [Online] Available at: <http://www.momahomedelivery.org/> [Acedido em Março 2015].

Department of Housing and Urban Development, U., s.d. HUD.GOV. [Online] Available at: http://www.huduser.org/portal/publications/destech/pro_cons_brkthr.html [Acedido em Agosto 2015].

DUS Architects, 2014. 3D Print Canal House. [Online] Available at: <https://vimeo.com/87843940> [Acedido em Dezembro 2014].

DUS Architects, 2014. 3D Print Canal House. [Online] Available at: <https://vimeo.com/87843940>

DUS Architects, s.d. 3D Print Canal House. [Online] Available at: <http://3dprintcanalhouse.com/> [Acedido em Dezembro 2014].

Gittleson, K., 2013. Solving the mystery of why we sleep using DIY tech. [Online] Available at: <http://www.bbc.com/news/technology-24272445> [Acedido em Outubro 2015].

Glynn, R. & Sheil, B., 2011. Fabricate: making digital architecture. s.l., Riverside Architectural Press.
Goodwins, R., 2014. Meet the people who want to print a home in a day. [Online] Available at: <http://www.popsci.com/article/technology/meet-people-who-want-print-home-day> [Acedido em Outubro 2015].

Ierodionou, 3. B. 2. N., 2014. SketchUp. [Online] Available at: https://www.youtube.com/watch?v=7m5MCp1wBDQ&list=PL-bndkJaV8A5pV_wb4kSy5tZTdlI2OqXt [Acedido em 2015 Março].

Netherlands, C. C., Premsele, D. P. f. D. a. F. & Society, W., 2012. Open Design Now. [Online] Available at: <http://opendesignnow.org/index.php/article/preface-bas-van-abel-lucas-evers-roel-klaassen/> [Acedido em Fevereiro 2015].

Netherlands, C. C., Premsele, D. P. f. D. a. F. & Society, W., 2012. Open Design Now. [Online] Available at: <http://opendesignnow.org/index.php/article/introduction-marleen-stikker/> [Acedido em Fevereiro

2015].

Netherlands, C. C., Premsele, D. P. f. D. a. F. & Society, W., 2012. Open Design Now. [Online] Available at: <http://opendesignnow.org/index.php/article/orchestral-manoeuvres-in-design-paul-atkinson/> [Acedido em Fevereiro 2015].

Parvin, A., 2013. Arquitetura para as pessoas pelas pessoas. [Online] Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=Mlt6kaNjoel> [Acedido em Março 2015].

Rocha, B. M., s.d. Arquitectura e Revolução Industrial. [Online] Available at: http://www.territorios.org/teoria/H_C_engenharia.html [Acedido em Outubro 2015].

Washington, U. o., s.d. Arch[be]log. [Online] Available at: <http://uwarch-belog.com/index.php/2014/05/operation-breakthrough-promise-and-failure-in-us-factory-built-housing/> [Acedido em Agosto 2015].

DOCUMENTÁRIO

Sketches of Frank Gehry. 2006. [Filme] Realizado por Sydney Pollack. Alemanha, EUA: American Masters, Eagle Rock Entertainment, LM Media.

- [FIG. 1], p.3 - https://classconnection.s3.amazonaws.com/499/flashcards/2158499/jpeg/crystal_palace__1851_world_exposition__london1355111779836.jpeg [online]
- [FIG. 2], p.4 - <http://lulacerda.ig.com.br/wp-content/uploads/2014/04/torre-eiffel-6.jpg> [online]
- [FIG. 3], p.10 - http://40.media.tumblr.com/tumblr_m15pp92dqS1qbycdbo1_1280.jpg [online]
- [FIG. 4], p.11 - https://mfareview.files.wordpress.com/2011/10/102602_sv.jpeg [online]
- [FIG. 5], p.13 - http://40.media.tumblr.com/c8e525ce83a588f138664760cc3d2db8/tumblr_mw0munxsn91r9xcmt01_1280.jpg [online]
- [FIG. 6], p.13 - Bergdoll, B. & Christensen, P., 2008. Home Delivery: Fabricating the modern Dwelling. New York: The Museum of Modern Art. p. 59
- [FIG. 7], p.14 - Bergdoll, B. & Christensen, P., 2008. Home Delivery: Fabricating the modern Dwelling. New York: The Museum of Modern Art. p.91
- [FIG. 8], p.15 - Bergdoll, B. & Christensen, P., 2008. Home Delivery: Fabricating the modern Dwelling. New York: The Museum of Modern Art. p.50
- [FIG. 9], p.16 - Bergdoll, B. & Christensen, P., 2008. Home Delivery: Fabricating the modern Dwelling. New York: The Museum of Modern Art. p.74
- [FIG. 10], p.16 - http://assets.wallpaper.com/wallpaper/live/galleryimages/17051102/gallery/testuser5_may2009_12_FLIWG_TO_150509_OPXBzU_yIWjkh.jpg [online]
- [FIG. 11], p.18 - Bergdoll, B. & Christensen, P., 2008. Home Delivery: Fabricating the modern Dwelling. New York: The Museum of Modern Art. p.57
- [FIG. 12], p.19 - Bergdoll, B. & Christensen, P., 2008. Home Delivery: Fabricating the modern Dwelling. New York: The Museum of Modern Art. p.63
- [FIG. 13], p.23 - http://images.adsttc.com/media/images/526a/7e79/e8e4/4e88/a000/0492/large_jpg/wdch_plans_a0_2-01_clean-aia.jpg?1382710611 [online]
- [FIG. 14], p.25 - <http://3.bp.blogspot.com/-4YBoK9VWhs0/Tue7b67PWqI/AAAAAAAAEFE/kOouzp6opqY/s1600/DSC03204.JPG> [online]
- [FIG. 15], p.25 - http://beverlypress.com/wp-content/uploads/2015/09/Nationale-Nederlanden-Building_labeled.gif [online]
- [FIG. 16], p.26 - https://farm6.staticflickr.com/5726/20834733881_80bacc5e83_o.jpg [online]
- [FIG. 17], p.37 - <http://www.big.dk/#projects-ren> [online]

- [FIG. 18], p.38 - <https://reflectiveroom2010.files.wordpress.com/2010/06/dsc08987.jpg> [online]
- [FIG. 19], p.38 - <https://reflectiveroom2010.files.wordpress.com/2010/06/dsc00160.jpg> [online]
- [FIG. 20], p.41 - https://www.triptod.com/content_images/projectdetails_Gantenbein-Vineyard-Facade_113314_468_468.jpg [online]
- [FIG. 21], p.41 - http://openbuildings.com/buildings/gantenbein-winery-profile-6166?_show_description=1#!buildings-media/6 [online]
- [FIG. 22], p.53 - <http://www.momahomedelivery.org/> [online]
- [FIG. 23], p.53 - <http://www.momahomedelivery.org/> [online]
- [FIG. 24], p.54 - <http://www.momahomedelivery.org/> [online]
- [FIG. 25], p.55 - Bergdoll, B. & Christensen, P., 2008. Home Delivery: Fabricating the modern Dwelling. New York: The Museum of Modern Art. p.203
- [FIG. 26], p.56 - <http://www.momahomedelivery.org/> [online]
- [FIG. 27], p.56 - Bergdoll, B. & Christensen, P., 2008. Home Delivery: Fabricating the modern Dwelling. New York: The Museum of Modern Art. p.214
- [FIG. 28], p.58 - <http://www.momahomedelivery.org/> [online]
- [FIG. 29], p.58 - <http://www.momahomedelivery.org/> [online]
- [FIG. 30], p.59 - <http://www.momahomedelivery.org/> [online]
- [FIG. 31], p.62 - <https://www.youtube.com/watch?v=4fB35FgKPog>
- [FIG. 32], p.63 - <http://atlasofthefuture.org/wp-content/uploads/2015/07/wikihouse.jpg> [online]
- [FIG. 33], p.63 - http://tekblog.com.br/wp-content/uploads/2015/04/WikiHouse@Meelfabriek_Leiden.jpg [online]
- [FIG. 34], p.67 - <http://3dprintcanalhouse.com/> [online]