

ISCTE-IUL  
INSTITUTO UNIVERSITÁRIO DE LISBOA

# DA PRODUÇÃO À CUSTOMIZAÇÃO EM MASSA

---

PARAMETRIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA CONSTRUTIVO WIKIHOUSE

NÍCHOLLAS CRUZ  
2016

# DA PRODUÇÃO À CUSTOMIZAÇÃO EM MASSA

---

TRABALHO TEÓRICO SUBMETIDO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ARQUITECTURA

ORIENTADORA:

PROFESSORA DOUTORA ARQUITETA ALEXANDRA PAIO \_\_ PROFESSORA AUXILIAR  
ISCTE-IUL

## ABSTRACT

What will be the role of an architect during the 'fourth industrial revolution'? To answer to that question it's needed to understand the technological advances that we are going through. The use of digital tools in architecture are changing the process of thinking and doing. The digital fabrication process CAD/CAM (Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacturing) aided by CNC machines (Computer Numerically Controlled) and 3D Printing, are giving the consumers the possibility to adapt products to their needs. The digital revolution that we are living is contributing to a bigger customization, efficiency, economy, flexibility, adaptability of experimentation process and the materialization of architectonic solutions. Digital fabrication is drawing the way to XXI century.

In the past two centuries we have been through three industrial revolutions, each have shaped the way we produce our things. In summary, before the industrialization, we would request for a craftsman: resulting in a long manufacturing process where the final customer would get a custom product adapted to its needs, but with high final values. To combat that high value, during the second industrial revolution Henry Ford introduced the mass production process: where standardization and the assembly line gave us the possibility to produce in big quantities with low final prices. However this low values are only possible by discarding the possibility of customization. With the third industrial revolution and the increasing advances in High Tech technologies, CNC machines, Internet and others, we now have the possibility to create new production and construction systems, that gives the final customer the possibility to get highly levels of customization and with lower prices of production – Mass Customization.

Given that this work explores the advanced tools to contribute to the parameterization process of the Wikihouse System.

Qual será o papel do arquiteto durante a 'quarta revolução industrial'? A resposta passa por entender o contexto e os avanços tecnológicos que estamos a viver. A integração de meios digitais em arquitetura têm alterado os processos de pensar e fazer. Os processos de fabricação digital CAD/CAM (*Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing*) apoiados por máquinas CNC (*Computer Numerically Controlled*) e impressoras 3D, estão a por nas mãos dos consumidores finais a possibilidade de adaptar os produtos as suas necessidades. A revolução digital que estamos a assistir está a contribuir para uma maior personalização, eficiência, economia, flexibilidade, adaptação dos processos de experimentação e materialização de soluções arquitetônicas. A fabricação digital está a desenhar o caminho do século XXI.

Nos últimos séculos passamos por três revoluções industriais, todas moldando e alterando a forma como os produtos, independentemente da escala, são produzidas. De forma simplificada, durante a pré-industrialização encontrávamos profissionais especialistas numa dada área, o que implicava que o consumidor para conseguir um produto adaptado às suas necessidades tinha que se sujeitar a um processo demorado a custos elevados. Para responder aos valores elevados, após a segunda revolução industrial, encontramos a linha de montagem de Henry Ford que permitiu introduzir produção em série. A estandardização e a evolução no processo de fabrico possibilitaram aos consumidores obterem os seus produtos a um custo mais baixo, no entanto, o nível de customização era nulo. Com a terceira revolução industrial e as inovações das tecnologias *High Tech*, os sistemas CNC, a Internet, entre outros, existe agora a possibilidade de se desenvolver novos sistemas de produção e construção que possibilite aos consumidores obter um grande nível de customização com baixos preços de produção - Customização em Massa.

É neste contexto que o presente trabalho explora as mais avançadas ferramentas para contribuir para o processo da parametrização do Sistema Wikihouse.

## AGRADECIMENTOS

À minha orientadora da vertente teórica, a Prof.<sup>a</sup> Arq<sup>a</sup> Alexandra Paio que, para além de estar a acompanhar o término deste percurso, esteve também presente no seu princípio, agradeço pela oportunidade, dedicação e confiança que sempre demonstrou no decorrer desta dissertação.

Ao meu professor da vertente prática, o Prof. Arq. Pedro Botelho, que com muito esforço e devoção acompanhou o desenvolvimento do trabalho prático ao longo deste ano.

A todo o corpo de docentes que fizeram parte da minha aprendizagem nos anos letivos de 2010 a 2016.

Aos meus colegas, em especial ao João Louro, Ricardo Carvalho e Rúben Soares pelas longas noites e companheirismo que sempre existiu durante o período que estivemos juntos.

Agradeço também aos colegas que me acompanharam neste último projeto, Tomás Amaral e Emanuel Freitas.

Um especial agradecimento a Raquel Nunes pela paciência, compreensão e apoio que demonstrou não só nesta reta final, mas tem demonstrado nos últimos 7 anos.

Pelo apoio e ensinamentos dados desde muito antes de este percurso começar e sem o qual não teria tido método ou forças para aqui chegar, um muito especial agradecimento a Maria Manuela de Oliveira.

Por fim, agradeço aos meus pais e a toda minha família, pois só quem realmente ama é capaz de compreender todos os esforços sacrifícios e sofrimentos que foram necessários para o culminar deste percurso.

Even the knowledge of my own fallibility cannot keep me from  
making mistakes. Only when I fall do I get up again  
*(Vincent Van Gogh)*



**CAD\_** Computer Aided Design

**CAM\_** Computer Aided Manufacture

**CNC\_** Computer Numeric Control

**NURBS\_** Non Uniform Rational Basis Spline

**DIY\_** Do-it-Yourself



O presente trabalho de investigação – Da produção à customização em massa - pretende aprofundar os estudos na evolução da técnica e dos meios utilizados na pré-fabricação desde a pré-industrialização até a atualidade.

Em 1987, Stan Davis introduz o conceito de customização em massa no seu livro: *Future Perfect* (Davis, 1987). A inovação estava nos produtos que seriam adaptados as necessidades dos consumidores, com a eficiência próxima da produção em massa. A ideia tem vindo a ganhar uma grande atenção pela academia e pelas indústrias desde então.

A ideia chave do conceito é transformar os consumidores em *co-designers*, onde este terá acesso ao processo de criação e desenvolvimento do produto. Alterando assim o processo de criação e produção de *made-to-stock* para *made-to-order*. Tudo isto tem vindo a desafiar o modo convencional de produção e comércio, passando de um modo de produção em massa (pouca variedade, grande volume, baixos preços) para um modo de customização em massa (grande variedade, pouco volume, baixos preços).

Nas últimas décadas houve um extraordinário crescimento no uso de ferramentas paramétricas, onde são os parâmetros de um determinado objeto que são definidos e não a sua forma final. Toda essa evolução, em parceria com os avanços nos *softwares* de desenho 2D e 3D, nos desenhos assistidos por computador (CAD), na manufatura assistida por computador (CAM), nas máquinas de controlo de comando numérico (CNC), na prototipagem rápida através de impressões 3D e cortes a laser, deixaram a ideia de Stan Davis mais próxima da realidade.

Apoiando-se nestas novas tecnologias e novos processos, os ateliers de arquitetura têm surgido com soluções arquitetónicas mais arrojadas e formas não euclidianas que não seriam possíveis de outra forma. Para além disso, estes avanços vieram a acelerar o processo criativo e a facilitar a comunicação entre arquiteto e cliente, o que possibilitou uma maior aproximação ao resultado desejado.

*“Three things you can depend on in architecture. Every new generation will rediscover the virtues of prefabs. Every new generation will rediscover the idea of stacking people up high. And every new generation will rediscover the virtues of subsidized housing to make cities more affordable. Combine all three a holy trinity of architectural and social ideals”* (Pearman, 2003).

O trabalho encontra-se dividido em três partes: (1) Da Pré-Fabricação à Fabricação digital; (2) *On-Demand Housing*; (3) Processo da Parametrização da Wikihouse; haverá ainda um último capítulo onde será apresentado os problemas encontrados no processo, aqueles que foram resolvidos e de que modo, e aqueles que não foram resolvidos.

Na primeira parte – Da Pré-Fabricação à Fabricação Digital – será feito um retrato desde a pré-industrialização, e quais eram os meios utilizados para a construção nessa época, passando pelas três revoluções industriais, e as influências que cada uma teve nos meios de produção, até a atualidade onde será apresentado experiências existentes no campo da fabricação digital na arquitetura.

A segunda parte – *On-Demand Housing* – será dedicado à fabricação digital na arquitetura. Onde será mais profundamente explorado alguns dos projetos e trabalhos já existentes neste campo. Neste capítulo será explorado dois projetos sendo: a Instant House, desenvolvido por Lawrence Sass, professor no MIT em parceria com Marcel Botha; e Wikihouse, desenvolvida pelo atelier Architecture oo.

Na terceira parte – Processo de Parametrização da Wikihouse – será feita uma descrição dos processos necessários para a parametrização do sistema construtivo da Wikihouse no software Grasshopper. Nesta parametrização já estará incluída as alterações efetuadas no sistema de forma a possibilitar ligações de paredes não ortogonais entre si.

Por fim, no último capítulo será efetuada uma reflexão sobre qual poderá ser o papel do arquiteto no processo de co-design e co-produção de um projeto, e como poderá afetar a indústria de manufatura.

No decorrer deste trabalho optou-se pela utilização da norma portuguesa NP 405 para fazer as referências, e pela utilização do novo acordo ortográfico. As citações utilizadas encontram-se na língua em que foram consultadas, não sendo efetuada quaisquer traduções de forma a evitar distorções no contexto.

*"Every new generation will rediscover the virtues of prefabs. Every new generation will rediscover the idea of stacking people up high. And every new generation will rediscover the virtues of subsidized housing to make cities more affordable. Combine all three a holy trinity of architectural and social ideals" (Pearman, 2003).*

---

DA PRÉ-FABRICAÇÃO À FABRICAÇÃO DIGITAL

1

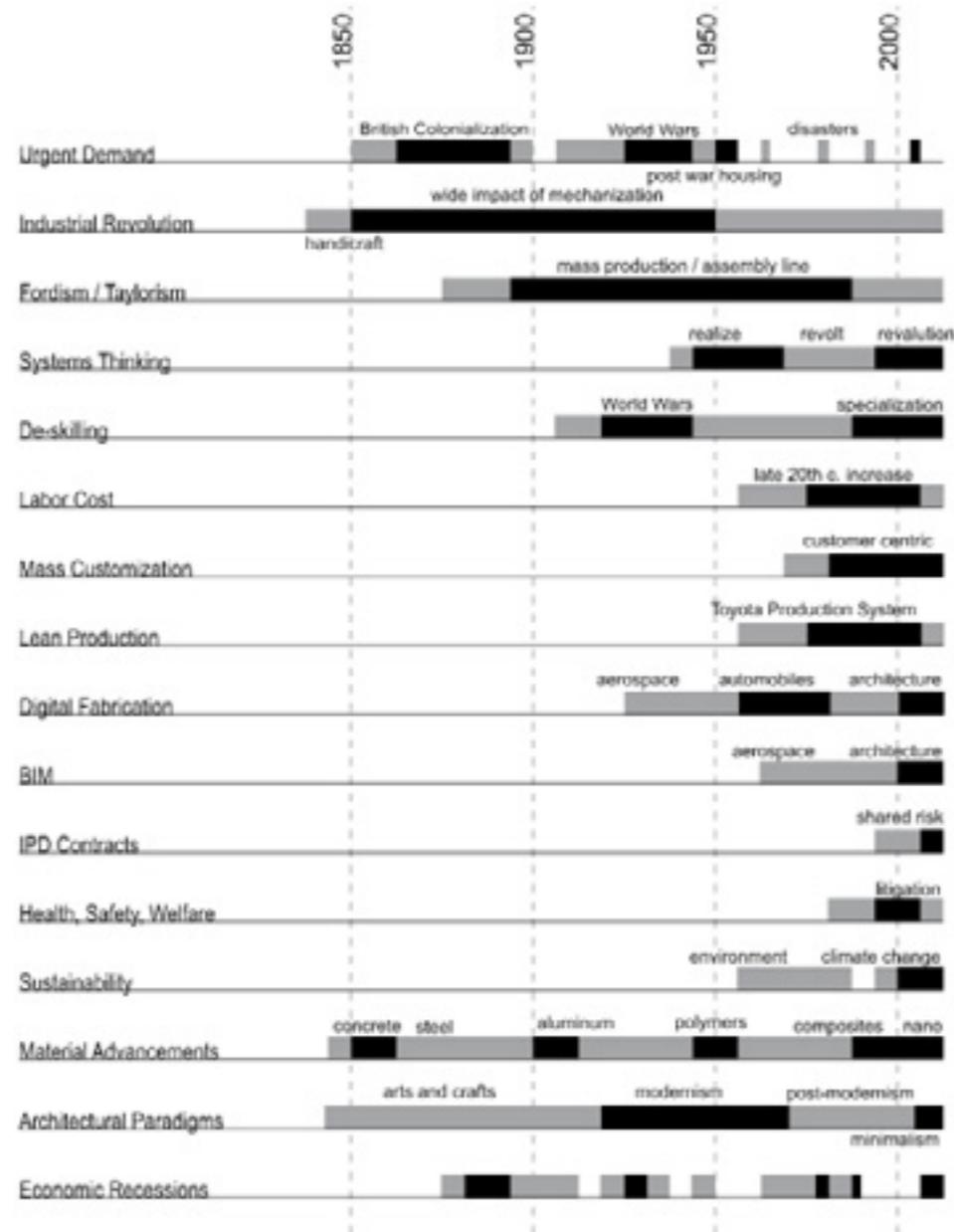


Fig. 01\_A influência da história na prefabricação em arquitetura. (Smith E, 2010)

Neste capítulo será feito um breve relato histórico da evolução dos sistemas de prefabricados ao longo dos últimos séculos, tendo por base as revoluções industriais ocorridas, procurando sempre explicar qual foram os impactos que cada uma provocou nos métodos de produção e na técnica utilizada, identificando como esses fatores influenciaram a arquitetura da sua época.

O estudo sobre os sistemas de prefabricados será aprofundado tendo por base as três revoluções industriais, sendo essas: a Primeira Revolução Industrial, que decorreu durante a segunda metade do século XVIII prolongando-se até princípios do século XIX; a Segunda Revolução Industrial, que esteve na origem de todo o desenvolvimento técnico, científico e de trabalho que ocorreu nos anos da Primeira e, principalmente, da Segunda Guerra Mundial; terminando com a Terceira Revolução Industrial, que teve início na segunda metade do século XX, e tendo por base a tecnologia de ponta (*High-Tech*) [Fig. 01].

Contudo, podemos encontrar vestígios desta técnica ainda antes de uma civilização industrializada. Apesar do termo prefabricação ainda não existir, encontramos a sua utilização desde 1624 quando os ingleses levaram para Cape Ann habitações feitas por painéis de madeira pré-fabricados para serem utilizadas pelos pescadores, que as desmontavam e montavam à medida que se deslocavam pela costa (Bouza, 2008, pp. 276).

### 1.1\_PRIMEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

A primeira revolução industrial (1780-1830) tem início na Inglaterra e é marcada principalmente pela invenção da máquina a vapor e a sua utilização na indústria têxtil, na siderurgia e na locomoção. Por volta de 1830 começou a migrar-se para o continente europeu, chegando por volta dos meados do século XIX aos Estados Unidos e ao Japão.

O ramo mais notório nesta época é o da indústria têxtil de algodão que, com o auxílio da mecanização do trabalho possibilitada pelos avanços na utilização do aço e na utilização do vapor, levou a que a produção deixasse de ser artesanal, passando a ser manufaturada, obtendo produções a uma maior escala.

Porém, também podemos encontrar a utilização de novas mecanizações do trabalho nas zonas agrícolas, onde uma máquina poderia substituir o trabalho de vários agricultores o que levou a uma elevada migração das zonas agrícolas para as grandes cidades onde, devido a inovações na indústria têxtil, havia uma maior oferta de trabalho. Dá-se assim, a transição de uma economia agrícola para uma industrial.

Um exemplo da influência do êxodo rural na arquitetura prefabricada está presente na *The Portable Colonial Cottage* (1833) desenvolvida pelo carpinteiro e construtor H. John Manning (Herbert, 1974) [Fig. 02]. O carpinteiro inglês projetou, produziu e enviou uma casa para o seu filho que estava prestes a emigrar para Austrália. A casa portátil construída por H. Manning tornou-se no protótipo daquilo que se tornou a primeira casa construída para ser facilmente transportável.

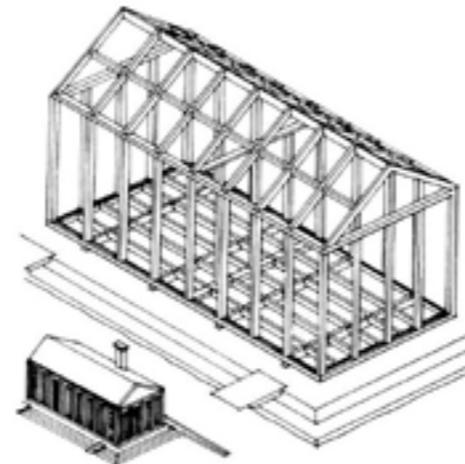


Fig. 02\_ Manning Portable Colonial Cottage para emigrantes. (Smith E, 2010)



Fig. 03\_ Manning Portable Colonial Cottage para emigrantes. (Smith E, 2010)

O desenho da casa era um melhoramento de sistemas já existentes pois estes já ofereciam uma grande facilidade na construção. O Objetivo de Manning era criar uma casa que fosse confortável, de fácil transporte e construção intuitiva (Christensen et al, 2008, pp. 40). Este tornou-se no primeiro sistema documentado de uma casa inteiramente prefabricada. O sistema foi estandardizado e era adaptável, constituía-se por painéis que se encaixavam entre barrotes de madeira que, por sua vez, eram aparafusados numa laje de betão, suportando uma cobertura de estrutura triangular. A sua construção era possível com ferramentas manuais simples, sem qualquer tipo de juntas, cortes ou pregos.

*"As none of the pieces are heavier than a man or boy could easily carry for several miles, it might be taken even to a distance without the aid of any beast of burthen"* (Christensen et al, 2008, pp. 40).

Toda essa facilidade era de extrema importância uma vez que este sistema se destinava a emigrantes, em colônias sem infraestruturas de transportes, com ferramentas e conhecimentos de construção limitados.

As conquistas técnicas da Primeira Revolução Industrial abriram também a porta para o aparecimento de novas e arrojadas estruturas arquitetônicas em ferro. O Cristal Palace (1851) é um exemplo dessas estruturas, projetado por Joseph Paxton para abrigar The Great Exhibition (1851), o edifício era composto por elementos metálicos e placas de vidro prefabricados.

No entanto, foi apenas com o aparecimento da luz elétrica e a invenção do elevador que surgiu a estrutura mais emblemática desta época: a Torre Eiffel, (1889) [Fig. 04] de Gustave Eiffel. Possuindo 324m de altura, era a estrutura mais alta até então. Foi a primeira estrutura a conseguir conciliar todos os avanços tecnológicos da Primeira Revolução Industrial, a utilização dos materiais em vogue (ferro e vidro), as novas invenções e a construção em altura num único edifício, algo sem precedência até então.

## 1.2\_SEGUNDA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

A segunda revolução industrial iniciou-se na segunda metade do século XIX e baseou-se num avanço técnico e científico da primeira revolução industrial. O constante abandono do campo e a invasão das cidades pela população rural levou à urgência de criação de sistemas construtivos acessíveis a uma população com recursos mais limitados. A indústria procurou responder a estas novas necessidades, passando a produzir em grande número as diversas partes dos edifícios, antes desses serem assembled no local da obra. Esta aposta no avanço da prefabricação associada à standardização.

Um dos primeiros arquitetos a perceber que a arquitetura tradicional não se adaptava as novas circunstâncias foi Otto Wagner (1841-1918). Wagner defendia que o belo e o prático nos edifícios formavam duas realidades que não se poderiam separar. A arquitetura deveria ter harmonia com a época onde se inseria e não com a tradição secular. Assim, os novos materiais (o aço, o alumínio, o ferro, o linóleo e o cimento) passariam a ser os materiais escolhidos pelos arquitetos para construir as novas cidades.



Fig. 04\_ Torre Eiffel (1889), Fotografia de época.  
(fonte: <http://www.tipux.com/top/374>)



Fig. 05\_ Portal Este em Karlsplatz (1898). (Fonte: <http://www.wienmuseum.at>)



Fig. 06\_ Fábrica Fagus (1912), Walter Gropius e Adolf Meyer. (Christensen et al., 2008)



Fig. 07\_ Linha de Montagem do Ford Model T em Highland Park, Michigan. (1913)

Herdando estas novas ideias, Walter Gropius (1883-1969), em parceria com Adolf Meyer, criam em 1911 a Fábrica Fagus [Fig. 06]. Em menos de um ano de construção o edifício já tinha alguma produção em atividade, graças aos novos métodos de construção aplicados. Em 1912, Carl Benscheidt, fundador da Fagus, apercebe-se que a fábrica não está a conseguir responder as encomendas feitas e autoriza uma grande expansão da mesma que terá início em 1913, sendo interrompida apenas com o princípio da primeira grande guerra mundial.

No entanto, é apenas após a primeira, e principalmente a segunda guerra mundial, que podemos encontrar a standardização e produção em massa de elementos prefabricados para a arquitetura. As principais inovações ocorridas na segunda revolução industrial baseiam-se nos ramos da metalúrgica e da química. É nesta época, com os avanços na siderurgia, que o aço se torna num material tão básico que se dá uma grande expansão na área. Com o fordismo surge a produção padronizada, isto é, em série ou em massa (Smith E, 2010) [Fig. 07].

A devastação causada pelas duas guerras mundiais nas cidades da Europa, exigiram a criação de novas habitações. Contudo, os métodos construtivos até então utilizados não tinham capacidade de responder as necessidades de construção, sendo necessário criar novos sistemas construtivos adaptando os processos inovadores de produção em massa.

Em 1945 Carl G. Strandlund recebeu apoio do governo dos EUA para desenvolver um novo tipo de habitação prefabricada. Strandlund, adaptando um sistema construtivo que a sua empresa, Chicago Vitreous Enamel, utilizava para construção de bombas de gasolina, projetou um edifício de habitação feito apenas de peças de metal

prefabricadas, nascendo assim a Lustron Corporation, Inc. As habitações eram entregues em camiões, num carregamento compacto. A montagem das casas era realizada sobre uma fundação de betão com cofragem feita no local e levava aproximadamente 8 dias [Fig. 8 e 9] (Christensen et al, 2008, pp. 102–107).

A necessidade de construir habitações rapidamente e a baixos custos influenciou vários arquitetos na época. Iniciou-se, assim, um século de experiências, conquistas e fracassos.

*"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 lines – then why is the culture of building so resistant to transformation?"* (Christensen et al, 2008, pp. 106).

Entre alguns dos arquitetos pioneiros nesta época, encontramos Frank Lloyd Wright, (1867-1959) que, ao ver o grande potencial da industrialização da habitação cria a *American System-Built Houses* [Fig. 10]. Um sistema que garantia que todos os elementos da habitação eram preparados na fábrica, evitando qualquer tipo de corte ou preparação durante a sua montagem. Todavia, Wright ambicionava que cada habitação fosse única e que os seus elementos fossem fabricados apenas uma vez. Talvez tenha sido esta a razão pela qual o projeto nunca saiu do papel, visto que implicaria uma paleta de elementos mutáveis para a qual a indústria ainda não estava preparada (Christensen et al, 2008, pp. 50).

Diversos outros casos foram surgindo um pouco por todo o mundo. Walter Gropius e Adolf Meyer desenvolveram também um sistema, ao qual chamaram de *Baukasten (Building Blocks)*[Fig. 11], que



Fig. 08\_ Casa Lustron - Modelo 2. (Christensen et al., 2008)



Fig. 09\_ Caminhão de entrega da Casa Lustron. (Christensen et al., 2008)



Fig. 10\_ American Model J902, Frank Lloyd Wright. (Christensen et al., 2008)

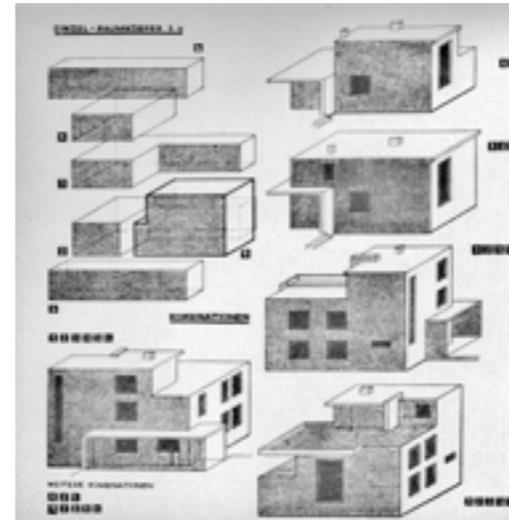


Fig. 11\_ Diagrama do sistema Baukasten (1922). (Christensen et al., 2008)

consistia na utilização de elementos standards industrialmente construídos que funcionariam num kit variável com a possibilidade de configurações quase infinitas. Gropius e Meyer acreditavam que o arquiteto iria guiar o cliente na configuração da sua habitação dependendo do número de habitantes e nas suas necessidades. No entanto este projeto também não avançou para além do papel (Christensen et al, 2008, pp. 56).

### 1.3\_ TERCEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Também conhecida como a revolução digital, teve início na década de 70 no Japão, marcando-se por ser a revolução que introduziu a tecnologia de ponta (*high-tech*). O aparecimento do computador e da internet são os acontecimentos que mais marcam esta revolução (Rifkin, 2011).

*"Em meados da década de 1990, apercebi-me de que se aproximava uma nova convergência entre comunicação e energia. A revolução da Internet e a revolução das energias renováveis emergentes estão prestes a fundir-se, dando lugar a uma nova e poderosa infraestrutura para a Terceira Revolução que mudará o mundo"* (Rifkin, 2011, pp. 14).

As novas tecnologias permitem o aparecimento de novos campos de exploração como a informática, a eletrónica, a biotecnologia, entre outras. Dá-se uma grande reestruturação da organização do trabalho, onde produtos polivalentes, flexíveis, realizados em equipa e menos hierárquicos começam a surgir.

Surge a computorização dos ateliers de arquitetura através do aparecimento de *softwares* de auxílio ao desenho 2D e 3D, permitindo uma mais fácil utilização de formas complexas e não euclidianas (Paio et al, 2013, vol. 106, pp. 24-25). Os novos *softwares* e *hardwares* vieram também a facilitar a comunicação entre arquiteto-cliente através de previsualizações dos resultados [Fig. 12].

Pioneiro nesta era, Frank Gehry (1929), ao longo da década de 80, faz algumas experiências utilizando as novas técnicas de desenho e construção, obtendo um grande sucesso quando em 1997 inaugura o Museu Guggenheim Bilbao [Fig. 13]. O projeto só foi possível devido ao uso de *softwares* CAD e sistemas de digitalização 3D para o cálculo da estrutura e desenho dos seus elementos.

Com a constante evolução da AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção) e do design inovador, ao longo dos últimos anos, podemos encontrar um renovado interesse pelos processos que envolvem a prefabricação, mas criando uma nova noção: "*mass-customization*". A noção foi primeiramente utilizada por Stan Davis em 1987. O autor defendia que o sistema de customização em massa devia ser utilizado através de uma abordagem *top-down*, ou seja, o *designer*/produtor tinha interesse em disponibilizar aos consumidores produtos que podiam ser personalizados em massa. No entanto, Stan acredita que após vinte anos, a abordagem começará a ser *botom/up*. Neste caso, é o consumidor que terá um papel mais presente na criação e produção dos elementos que irá utilizar (Davis, 1987).

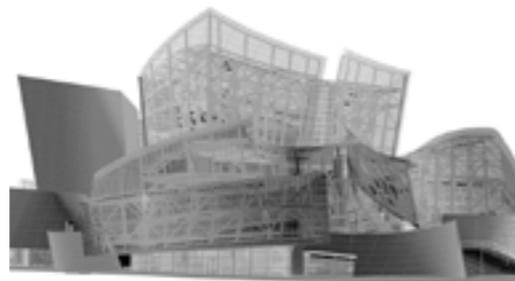


Fig. 12\_ Modelo feito no Software Catia 3D do Walt Disney Concert Hall, por Gehry Technologies (fonte: <http://archpaper.com/2014/10>)

O uso destas novas tecnologias possibilitou a produção de elementos não padronizados com rapidez e precisão, iniciando assim novas lógicas de produção e design e criando a noção de "*mass-customization*", que se opunha a noção fordista de "*mass-production*" (Silva, 2009).

A utilização de sistemas paramétricos com o recurso ao BIM (*Building Information Modelling*), oferecem aos designers a possibilidade de criar geometrias que rapidamente se alteram e adaptam consoante as suas variáveis e restrições (Eastman, 1999).

"O Uso de Ferramentas CAD e CAM (*Computer Aided Design e Computer Aided Manufacture*) redefiniram as relações entre projeto e produção na medida em que integraram conceção e construção, permitindo a projeção e a fabricação de artefactos arquitetónicos, empregando-se apenas informações digitais" (Silva et al, 2010, p. 420).

O CAD/CAM trouxe ao arquiteto um leque de ferramentas capazes de o encorajar a utilizar novos processos de desenho e construção de forma a encontrar soluções mais flexíveis ao contexto em que estão inseridas. A fabricação digital como afirma Kolarevic (2003, p. 31) "*has radically reconfigured the relationship between conception and production, creating a direct link between what can be conceived and what can be constructed. Building projects today are not only born digitally, but they are also realized digitally through 'file-to-factory' processes of computer numerically controlled (CNC) fabrication technologies*"



Fig. 13\_ Museu Guggenheim (1997), Bilbao, Frank Gehry. (fonte: <http://www.sekofotografia.es/2015/12>)

A fabricação digital refere-se às tecnologias de controlo numérico (CNC) que permitem a transferência de dados de um programa de modelação 3D para uma máquina CNC (ex: Fresadora, ou Corte laser), ou seja, produção 2D ou 3D. Esta introduz o conceito de mass-customization (customização em massa) permitindo o desenvolvimento de sistemas construtivos não padronizados digitalmente controladas (Pupo et al, 2008). As aplicações na arquitetura e construção têm sido as mais diversas. Como por exemplo, a produção de formas complexas em betão armado (Carvalho et al, 2014, pp. 482) até a produção de ornamentos esculpidos em pedra em obras de restauro [Fig. 14, 15, 16 e 17].

A arquitetura que é uma atividade prototípica, em que cada edifício é desenhado para um cliente e testado em obra (Kieran et al, 2003), passa a poder beneficiar das vantagens da produção em massa – precisão, baixo custo, simulação e teste - com as da personalização.

Contudo, Gershenfeld (2005), remete-nos para outro paradigma a “*personal fabrication*”. A “*Personal fabricators (PF’s) are about to revolutionize the world just as personal computers did a generation ago*” (Gershenfeld, 2005). A hipótese de cada pessoa poder desenhar e produzir os seus próprios produtos em casa através de máquinas que combinam eletrónica e ferramentas industriais.

Os métodos utilizados na fabricação digital são classificados como: subtrativos, aditivos ou formativos (Dunn, 2012). Os sistemas subtrativos consistem em extrair matéria-prima através de fresas, laser ou plasma. Os sistemas aditivos estão associados à solidificação ou depósito de matéria-prima em camadas. Os formativos referem-se à deformação da matéria-prima através de forças ou calor.



Fig. 14\_ Contour Crafting, Protótipo de parede, (Koshnevis, 2006)



Fig. 15\_ Free Form, Protótipo de painel construtivo, (Lim et al. 2012)



Fig. 16\_ Metodo de fabricação digital assistida por braços robóticos. (Naboni, 2015)



Fig. 17\_ Modelo tridimensional parcial da Sagrada Família, Mark Burry. (Naboni, 2015)

A aplicação da tecnologia de fabricação digital está vinculada às técnicas de materialização dos modelos físicos. As técnicas a adotar em cada projeto determinam a modelação e a geometria dos modelos tridimensionais para posterior manufatura e montagem dos componentes, formando, assim, o protótipo final (Barros, 2011).

Sass, Michaud e Cardoso, (2007) exploram maneiras de subdividir uma forma (*shape*) para a fabricação digital através de etapas de parametrização, com ênfase em objetos de superfícies estruturadas através de encaixes em madeira. Segundo (Kolarevic, 2003, pp. 17) parametrização “*can provide for a powerful conception of architectural form by describing a range of possibilities, replacing in the process with variable, singularity with multiplicity*”. O uso de parâmetros no desenho pode criar um infinito número de objetos similares de geometria variável (dimensões, relações e operações) de dependências.

Sass, Michaud e Cardoso, (2007) definem três tipos de sistemas estruturais para materializar uma forma a partir de modelos virtuais 3D: (1) camada Lateral (*Lateral layering- LL*); (2) Camada Bilateral (*Bilateral Layering- BL*); e (3) Camada Multilateral (*Multi Lateral Layering- MLL*) [Fig. 18].

A primeira técnica está associada à materialização de modelos tridimensionais, geralmente, associada com o processo aditivo. A *Bilateral Layering* é a subdivisão  $d$  e  $k$  num fator de espaçamento  $c$  e  $q$  com um travamento da geometria ao longo dos eixos  $c$  e  $q$ . O terceiro é a modelação, a manufatura e o processo de montagem estruturado em três direções. O modelo virtual é sistematicamente dividido ao longo de eixos  $c$ ,  $q$  e com espaçamento variável em  $m$ ,  $n$  e  $i$  (Barros, 2011).

A opção por um dos sistemas estruturais depende dos elementos e recursos que possibilitem a montagem e a estabilidade dos protótipos. Outro ponto importante é o domínio dos sistemas de conexões para materialização dos modelos físicos, em especial, em madeira.

Os sistemas de conexões são técnicas para unir as superfícies dos protótipos. Sass, Michaud e Cardoso, (2007) referem *snap fit* como ideal, devido à sua geometria garante a robustez das ligações e viabilizam a reversibilidade das conexões. Segundo os autores, podem ser utilizados três tipos: (1) Conexão de Borda/Aresta (*Connection Edge – CE*); (2) Conexão Perpendicular (*Connection Running – CR*); e (3) Conexão Paralelo/Lateral (*Connection Lateral – CL*) [Fig. 19]

As tecnologias de fabricação digital, com diferentes combinações entre sistemas estruturais e de conexão abrem um leque de possibilidades que implicam um maior domínio das questões

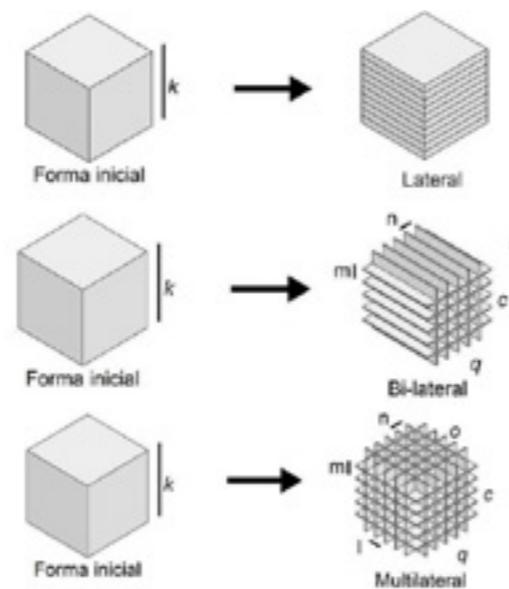


Fig. 18\_ Três tipos de sistemas estruturais para materializar uma forma a partir de modelos virtuais segundo Sass, Michaud e Cardoso. (Barros, 2011)

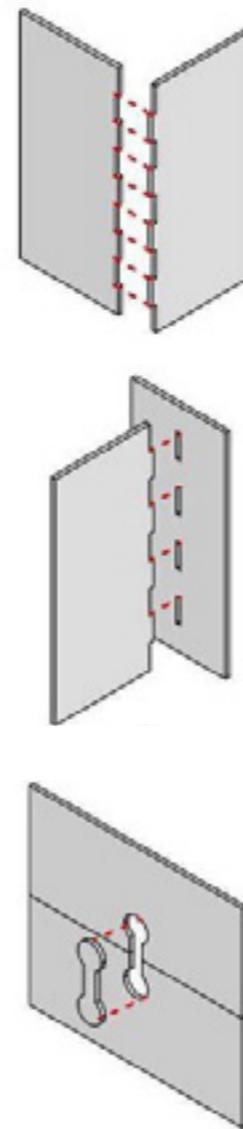


Fig. 19\_ Três tipos de conexões segundo Sass, Michaud e Cardoso. (Barros, 2011)

relativas à materialização.

De acordo com o que já foi apresentado, podemos encontrar três métodos de produção utilizados nos últimos séculos: Produção Artesanal, encontrada numa realidade pré-industrializada; Produção em Massa, encontrada numa realidade pós-industrializada; e a Customização em Massa, que apenas foi possível após a computadorização da criação e do processo de produção.

A Produção artesanal oferecia-nos produtos únicos, adaptados as escolhas do consumidor, mas sempre através de um processo lento, e com custos elevados; por sua vez, a produção em massa apresentava-nos produtos estandardizados e sem qualquer adaptação, porém a sua produção era rápida e os produtos tinham custos reduzidos; por fim a customização em massa vem a possibilitar a produção de artigos adaptáveis aos consumidores, com uma produção rápida e custos reduzidos.

A customização assume quatro processos distintos, podendo ser:

**Colaborativa** – onde a criação do produto é levada a cabo com o direto auxílio consumidor final, resultando em produtos únicos que respondem na íntegra às suas necessidades; [Fig. 20]

**Adaptativa** – onde a entidade produtora oferece um produto estandardizado que será adaptado pelos consumidores, obtendo um produto o mais próximo possível da desejado, dependendo apenas da paleta de hipóteses do processo de criação; [Fig. 21]

**Transparente**—onde após um estudo aprofundado da realidade onde o produto será comercializado, a entidade produtora cria um produto standard que melhor responde a necessidade locais; [Fig. 22]

**Cosmética**—onde a entidade produtora apresenta o mesmo produto estandardizado de forma diferente a diferentes consumidores, de modo a melhor corresponder as suas necessidades. [Fig. 23]

A questão com a qual nos deparamos neste momento é: Como pode o conhecimento de diversas técnicas de prefabricação, em parceria com estas novas tecnologias (as ferramentas digitais CAD e CAM, os processos de prototipagem rápida, as máquinas CNC), e a nova mentalidade do consumidor (uma mentalidade DIY, que cada vez mais quer interagir mais com o processo de criação) dar origem a uma nova era também para a arquitetura? Arquitetura essa que será feita por e para todos.

*"the house is never finished, it's not a finished product. With the CNC machine you can make new parts for it over its life, or even use it to make the house next door. So we can begin to see the seed of a completely open source citizen led urban development model."*  
*(Parvin, 2016)*



Fig. 24\_ Ideal de cidade para Alastair Parvin e Nick Lerodiconou, Architecture oo. (Parvin, 2016)

Neste capítulo serão apresentados dois trabalhos que já estão a ser desenvolvidos com o auxílio de ferramentas digitais: (1) The Instant House (2006), Lawrence Sass e Marcel Botha; e (2) Wikihouse Architecture oo (2011), Alastair Parvin e Nick Lerodiconou.

As ferramentas digitais trazem aos arquitetos a hipótese de explorar novos campos na arquitetura. Os limites e as dificuldades que, anteriormente existiam no desenho à mão, deixam de existir abrindo lugar para uma arquitetura desenhada por processos digitais. Estas ferramentas acarretam também maior velocidade no processo de criação e estudo de um projeto, não apenas ao nível do design, mas também nos contactos arquiteto-cliente, visto que a utilização de modelos 3D e *renders* permite uma mais direta e intuitiva compreensão do projecto.

*On-Demand Housing* é um novo conceito que vem a introduzir a possibilidade de construção de habitações que se adaptam as necessidades dos utilizadores, sem a necessidade de que o atelier onde é projetada, a fábrica onde será produzida, e o sitio onde será montada coexistam no mesmo local. O arquiteto, com o auxílio das ferramentas digitais e da Internet, consegue manter-se em contacto com o cliente a longas distancias; antes de serem montadas, as partes que compõem a habitação podem ser compactadas e facilmente transportadas ou simplesmente fabricadas na oficina mais próxima da localização final.

## 2.1\_INSTANT HOUSE LAWRENCE SASS E MARCEL BOTHA

Sass e Botha (2006) desenvolveram um sistema que responde a necessidade de construção de emergência, seja por motivos de desastres ou mesmo pela necessidade de construção de um elevado número de habitações num curto espaço de tempo. Consiste numa estrutura de prefabricado que não precisa de nada mais do que martelos de borracha para a sua construção.

*"Through a novel design production system, we have developed the ability to produce highly customized wood framed buildings for rural communities in need of designed environments. A definitive need exists for a system that rapidly deploys small buildings such as schools, small hospitals and houses while tailored for a specific design within a community"* (Sass et al, 2006, p. 110).

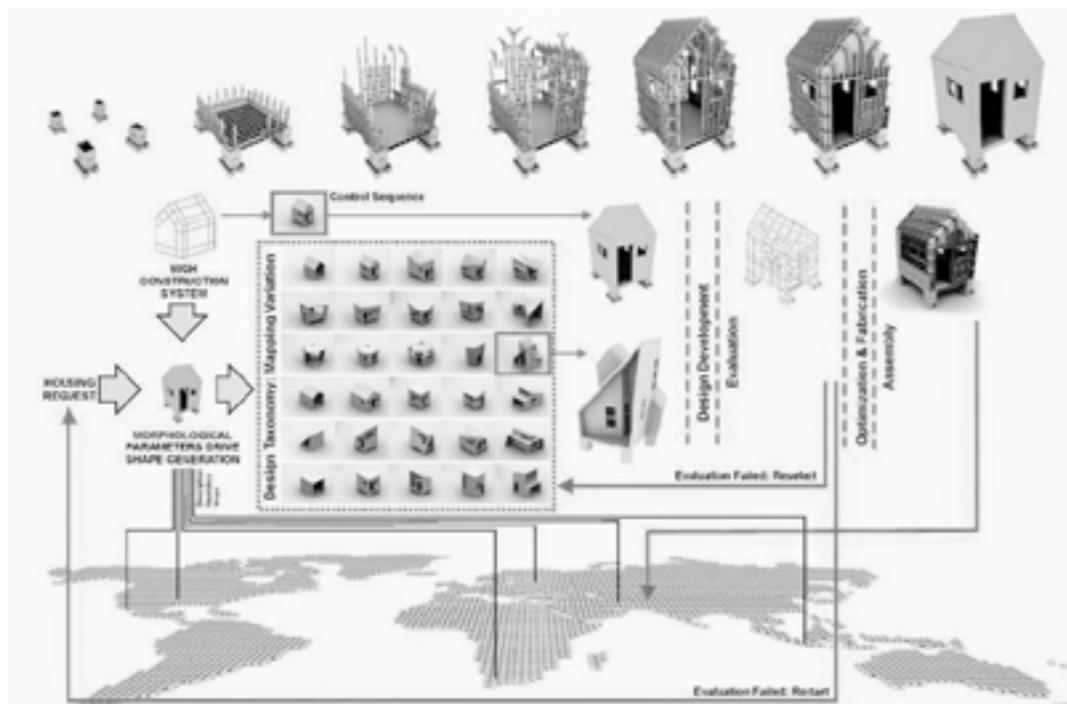


Fig. 25\_ Diagrama Instant House. (Sass, 2006)

Sass e Botha têm como objetivo chegar a um novo processo de design-digital fabrication que leve a um sistema de produção utilizado na construção de habitações customizadas em massa (*mass customised housing*), de forma a responder a inevitável necessidade de novas habitações para vítimas de futuros desastres naturais.

*"The purpose of this research is to understand ways to quickly produce a variety of designs with computer controlled machines and a traditional construction material. The process negates the use of drawings during for any stage of construction"*. (Sass et al, 2006, p. 111)

Em parceria criam um projeto que intitulam de Instant House, onde os elementos da habitação são projetados e produzidos através de processos digitais (*CAD software* e *CNC manufacture*) e assembled à mão [Fig. 26].

O processo digital consiste na produção de uma estrutura adaptável, cujos elementos são conectados através de juntas digitalmente cortadas que mantêm a sua conexão através da fricção, eliminando a necessidade do uso de pregos, parafusos ou cola durante a montagem.

Desde o desenho à construção final da habitação, o processo encontra-se dividido em cinco partes, nomeadamente: (1) Desenho da forma (*Shape Design*); (2) desenvolvimento do desenho (*Design Development*); (3) avaliação (*Evaluation*); (4) fabricação digital (*Fabrication*); e (5) construção (*Construction*).



Fig. 26\_ Sistema Instant House. (Sass, 2006)

### 2.1.1. Shape Design

O processo começa com a definição da forma desejada para o resultado final. A definição é influenciada por um conjunto de inputs de critério regional, com um conjunto de variações ligada a cada um dos parâmetros. Os parâmetros incluíam informações como: o clima, o local de implantação, restrições espaciais, influência vernacular, e variações de estilo. Com a combinação destes parâmetros é gerada uma morfologia variável. [Fig. 27]



Fig. 27\_ Variação morfológica do sistema. (Sass, 2006)

### 2.1.2. Design Development

Com base no material a ser utilizado, a forma anteriormente gerada é subdividida em 3 grupos: *Panels*, *End Walls* e *Corners*. Enquanto que os '*Corners*' definem as coordenadas absolutas da conexão entre os diversos planos; os '*End Walls*' traduz-se na geometria estrutural ligando cada plan o com os planos adjacentes; por fim, os '*Panels*' serviam como elemento de ligação entre as duas anteriores geometrias de forma a gerar uma estrutura homogenia e robusta.

Após a sua definição, cada um dos grupos de geometrias são tratados de forma a criar as suas respetivas juntas de ligação ou conexões, com base nas dimensões absolutas das placas a utilizar e da CNC onde serão cortadas [Fig. 28].

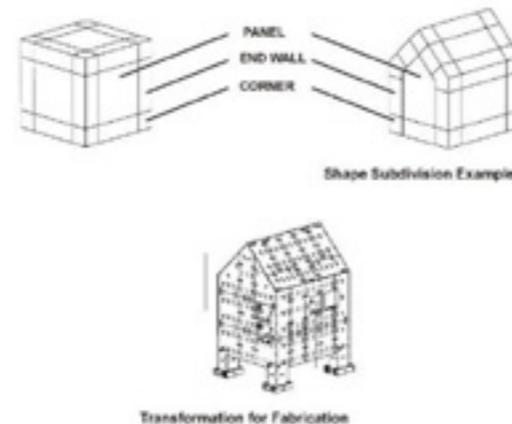


Fig. 28\_ Gramatica do sistema. (Sass, 2006)

### 2.1.3. Evaluation

Depois do processo de desenho, é cortado a laser um protótipo à escala 1:10. Esta parte do processo, ocupando apenas algumas horas, auxilia a definição da sequência de montagem e permite uma validação final de todos os encaixes. É produzida uma réplica perfeita do modelo a escala real [Fig. 29].



Fig. 29\_ Modelo a escala 1:10. (Sass, 2006)



Fig. 30\_ Fabricação dos elementos através de processos digitais. (Sass, 2006)



Fig. 31\_ Assemblagem dos elementos finais. (Sass, 2006)

Se o modelo passar em todos os testes desta etapa do processo, todos os elementos são fabricados através de máquinas CNC em contraplacado de madeira à escala real.

### 2.1.4. Fabrication

Neste processo, os desenhos 2D em CAD são exportados para o EZcam onde o *G-Code* será gerado. A máquina CNC cumpre as operações existentes no *G-Code* e, num processo rápido corta todos os elementos necessários para a habitação. Ao mesmo tempo, é deixada uma marcação em cada um dos elementos de modo a facilitar a localização e montagem dos mesmos [Fig. 30].

### 2.1.5. Construction

O processo de montagem começa pelo posicionamento dos blocos de betão para a fundação do edifício. A existência de um espaço amplo para dispor as peças aceleraria o processo, mas não é crucial. Visto que todas as peças possuem um peso individual reduzido, a utilização de gruas ou outro meio mecanizado é desnecessária. A construção inicia-se de baixo para cima montando um a um os elementos de forma a finalizar a estrutura em *waffle*. De seguida os painéis interiores são montados e fixados no local, e por fim é montado os painéis exteriores [Fig. 31].

## 2.2\_WIKIHOUSE ARCHITECTURE 00 | ALASTAIR PARVIN E NICK LERODIACONOU

**"Cities made by and for everyone"** (Parvin, 2016).

Alastair Parvin, durante uma conferência da TEDx, fala-nos de como as construções que encontramos atualmente são feitas a pensar em 1% da população, os mais ricos. Apesar deste facto apenas se estar a revelar um problema atualmente, foi sempre assim. No entanto, antigamente esse 1% construía a pensar nos outros 99%, fosse pela filantropia no século XIX, ou pelo comunismo no princípio do século XX, ou mais recentemente pelo excesso de construção nos Estados Unidos da América (*USA Housing Bubble*). [Fig. 32]

Parvin explora, também, a ideia de arquitetura em massa ser igual a arquitetura de grande dimensão, onde *'one size fits all'* é uma ideia errática pois leva a que apenas grandes empresas façam cidade. Fala-nos no conceito de cidade construída *'by the many with a bit'* em vez de *'by the few with a lot'*.

O arquiteto explica dois conceitos base que as novas tecnologias permitem desenvolver: (1) *open source* (código aberto); e (2) *DIY* (*Do it yourself*) (Faça você mesmo) [Fig 33].

De acordo com Ratti (DOMUS 948, III) "*Open Source Architecture (OSArc) is an emerging paradigm describing new procedures for the design, construction and operation of buildings, infrastructure and spaces. Drawing from references as diverse as open-source culture, avant-garde architectural theory, science fiction, language theory, and others, it describes an inclusive approach to spatial design, a collaborative use of design software and the transparent operation throughout the course of a building and city's life cycle*".



Fig. 32\_ Alastair Parvin: *Architecture for the people by the people.* (Fonte: [www.youtube.com/watch?v=Mlt6kaNjoel](http://www.youtube.com/watch?v=Mlt6kaNjoel))



Fig. 33\_ *DIY (Do It Yourself)* (Ayala Zapata, 2007)

Segundo Fernando Ayala Zapata, no seu artigo *21st Century D.I.Y. Architecture* (2007), descreve o conceito *Do it yourself* (DIY, D.I.Y.) "*Term that focus on people creating things for themselves. DIY subcultures explicitly critique consumer culture, and instead encourage people to take technologies into their own hands. A very active community use the term DIY to refer to fabricating or repairing things for home needs and home improvement done by the householder without the aid of paid professionals*".

Será com base em *open source software e open source hardware* que o projeto WikiHouse é possível ser concretizado na contemporaneidade. Levando a que a manufatura e produção esteja em toda a parte em vez de concentrada apenas nas grandes fábricas. (Parvin, 2013)

*"Our aim: to build digital tools to unlock a new sustainable, resilient and scalable volume housing industry: the 'micro' or 'citizen' sectors; increasingly recognized by governments as the next mass-housebuilding industry and an engine for sustainable, affordable, democratic development in the 21st century."* (Parvin, 2016)



Fig. 34\_ *Habitação contruída pelo sistema Wikihouse\_ Architecture 00.* (Parvin, 2016)

Wikihouse consiste num sistema de construção open source, desenvolvido pelo Atelier Architecture oo em 2012. O objetivo é que qualquer pessoa tenha possibilidade de aceder a uma base de dados online e ao fazer o *download* do modelo base, o possa adaptar as suas necessidades com o auxílio do *software* SketchUp. O modelo gera um conjunto de desenhos prontos para a fabricação digital. Ou seja, desenhos que podem ser cortados numa máquina CNC e assemblados manualmente.

A assemblagem é conseguida sem o uso de qualquer tipo de parafusos, utilizando um sistema de wedge & pegs connectors. Uma equipa de duas ou três pessoas consegue, sem qualquer conhecimento de construção e apenas com ferramentas básicas, construir a casa em pouco mais do que 24 horas. O resultado conseguido é no fundo a base estrutural de uma habitação, sobre a qual será adicionado todas as infraestruturas e revestimentos de acordo com os custos e a disponibilidade local.

*" (...)the house is never finished, it's not a finished product. With the CNC machine you can make new parts for it over its life, or even use it to make the house next door. So we can begin to see the seed of a completely open source citizen led urban development model (Parvin, 2016).*

Neste momento o processo da Wikihouse está a ser utilizado e desenvolvido um pouco por todo o mundo. Um exemplo paradigmático da sua utilização ocorreu em agosto do de 2015, quando uma família de agricultores decidiu construir a sua casa através do uso deste sistema.



Fig. 35\_ Fundação em Betão. (Nurcery, 2016)



Fig. 36\_ Elementos estrutural (porticos) em MDF. (Nurcery, 2016)



Fig. 37\_ Início da assemblagem dos porticos. (Nurcery, 2016)



Fig. 38\_ progresso após uma semana desde o início da construção. (Nurcery, 2016)



Fig. 39\_ Assemblagem dos elementos de revestimento. (Nurcery, 2016)



Fig. 40\_ Assemblagem do segundo piso. (Nurcery, 2016)

*"The plan is to build an 'agricultural worker's dwelling' within a tight budget. We have appointed Architecture oo to design the first two story Wikihouse to be lived in. The plan is that it will be built by amateurs (ourselves, friends and family) and will eventually look like an agricultural barn. If the weather is favorable it could go from nothing to weather-tight in just 14 days! The computerized animation on the Wikihouse website makes it look easy!"(Nurcery, 2015)*

*"With the help of friends and family we are about to build the first 2-storey Wikihouse as an agricultural worker's dwelling. Local contractors have put down the concrete foundations, Architecture oo have completed the design and ChopShop are cutting the house out of plywood using a CNC machine. The rest is down to us!". (Nurcery, 2015)*

Não obstante, permanecem algumas limitações no sistema wikihouse. Um dos constrangimentos à sua aplicação é que as paredes do sistema têm sempre de fazer um ângulo de 90 graus entre si, ou o facto de terem de ser sempre superfícies planas. Tal situação, tem impossibilitado a sua aplicação a soluções construtivas com geometrias mais complexas.

Assim, no âmbito deste trabalho de investigação, será descrito no capítulo seguinte alguns contributos para tornar o sistema wikihouse mais customizável. O objetivo é introduzir as alterações necessárias para possibilitar a sua aplicação a situações construtivas de base não ortogonais. O trabalho recorre à lógica algorítmica e ao auxílio de *softwares* de modelação generativa paramétrica 3D. A logica algoritmo trata-se de um procedimento lógico com etapas finitas e bem estabelecidas, para ser executado dentro de um determinado tempo.



'Algotecture' é o termo criado por (Terzidis, 2006) para definir o uso de algoritmos na arquitetura [Fig.40]. (Terzidis, 2006, p. 36) explica a sua importância no projeto de arquitetura afirmando "*In design, algorithms can be used to solve, organize, or explore problems with increased visual or organizational complexity*". A maneira inovadora de utilizar algoritmos na arquitetura está na aplicação de metodologias que possam operar, dada a sua capacidade de lidar com grandes quantidades de cálculos, interações e formas complexas, de modo similar e complementar ao raciocínio humano. (Natividade et al, 2009) [Fig.41] [Fig.42].

O maior interesse da arquitetura algorítmica reside na relação entre diferentes parâmetros no desenvolvimento da lógica do desenho [Fig.43]. É importante compreender o que significa um desenho paramétrico de forma a compreender a diferença entre desenhar um objeto e desenhar a lógica de um objeto. O desenho paramétrico utiliza um conjunto de inputs que relacionados entre si definem uma forma (Bouza, 2008). Os *softwares* para parametrização são ferramentas interativas que permitem, alterando os parâmetros, explorar diferentes hipóteses de forma a escolher a solução mais adequada.

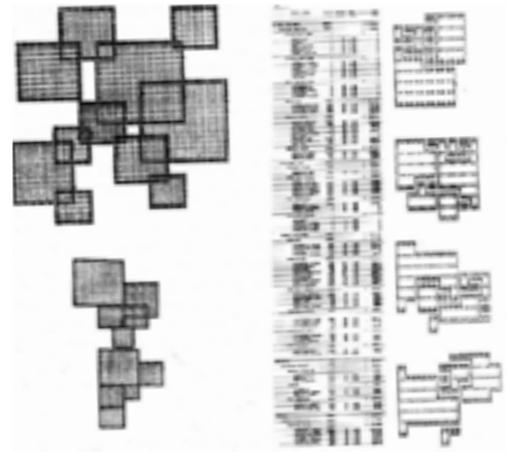


Fig. 41\_Algotecture (Terzidis, 2006)

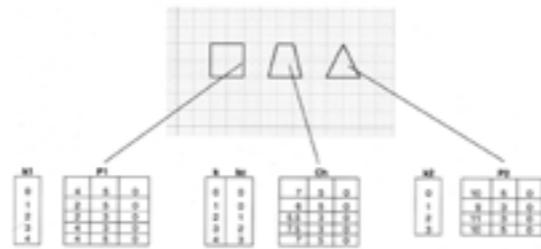


Fig. 42\_Geometrias e coordenadas (Terzidis, 2006)



Fig. 43\_Algoritmo (Tedeschi, 2014)



Fig. 44\_Lógicas do desenho (Tedeschi, 2014)

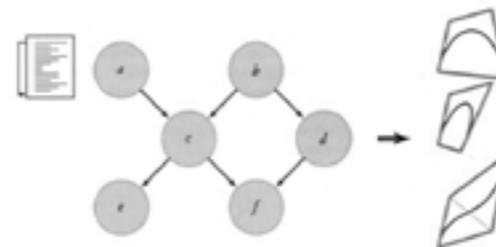


Fig. 45\_Desenho paramétrico (Woodburg, 2010)

O desenho tradicional é um processo aditivo. O desenho é conseguido através da adição de códigos e convenções sobrepostas. O desenho paramétrico "*is more about an attitude of mind than any particular software application. It has its roots in mechanical design, as such, for architects it is borrowed thought and technology. It is way of thinking that some designers may find alien, but the first requirements is an attitude of mind that seeks to express and explore relationships*" (Woodbury, 2010, pp. 1) [Fig.44] [Fig.45].

A crescente utilização de ferramentas digitais pelos arquitetos, como parte comum do processo criativo, tem aberto novas portas e possibilitado uma nova forma de pensar e desenvolver o projeto arquitetônico. Recorrer à modelação algorítmica avançada tem sido cada vez mais fácil através dessas ferramentas.

Para compreender corretamente como aplicar um processo paramétrico é necessário entender o conceito de parâmetro e como este é apropriado em arquitetura. Segundo Gabriela Celani (2003, pp.21) "Na matemática, parâmetros são valores que podem ser atribuídos a uma determinada variável, permitindo o cálculo de diferentes soluções para um problema". Para resolver um problema arquitetônico na área da computação "(...) é necessário que seja primeiramente encontrada uma maneira de descrever este problema de uma forma clara e precisa. É preciso que encontremos uma sequência de passos que permitam que o problema possa ser resolvido de maneira automática e repetitiva. Esta sequência de passos é chamada de algoritmo" (Cruz et al., 2001).

A modelação geométrica 3D com parâmetros é uma maneira poderosa de projetar na atualidade na engenharia, na arquitetura, no *design* de produto, no design gráfico. Permite a manipulação virtual de modelos 3D com parâmetros inter-relacionáveis (algoritmos) que proporcionam a criação de estruturas orgânicas e dinâmicas.

Nesta área, o *plugin* para Rhinoceros chamado de Grasshopper tem sido uma das mais valiosas ferramentas em arquitetura. Este foi desenvolvido em 2007 pelo arquiteto David Rutten, TU Delft Departamento de Arquitetura e Urbanismo.

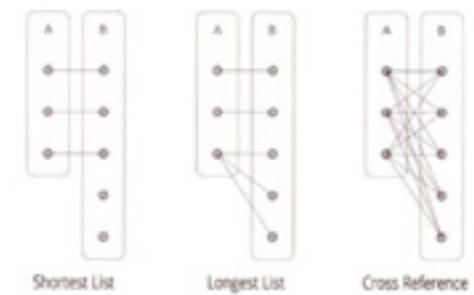


Fig. 46\_Relações entre parâmetros (Tedeschi, 2014)

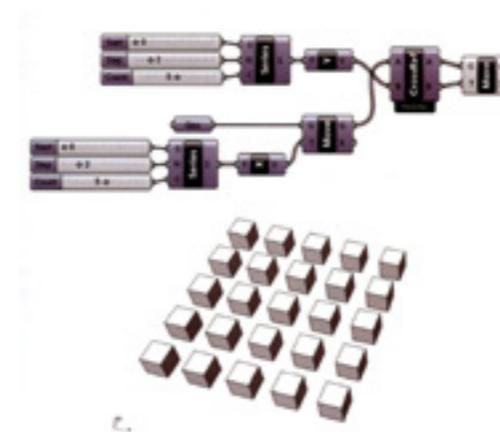


Fig. 47\_Lógica Grasshopper (Tedeschi, 2014)

"Popular among students and professionals, McNeel Associate's Rhino modelling tool is endemic in the architectural design world. The new Grasshopper environment provides an intuitive way to explore designs without having to learn to script " (AEC Magazine. February 2011).

Trata-se de um editor de algoritmos de programação visual intrinsecamente ligado as ferramentas de modelação do Rhino3D [Fig.46] [Fig.47]. No decorrer dos últimos anos tem ganhado cada vez mais utilizadores vindo a tornar-se a ferramenta para arquitetura digital, paramétrica e generativa mais utilizada por todo o mundo. A sua interface de "*nodes and Strings*" torna o Grasshopper de fácil aprendizagem e de utilização simples. O processo da parametrização do sistema Wikihouse, desenvolvido neste estudo e descrito nas próximas páginas, vai desde o desenho 3D até a montagem do protótipo final.

O processo de construção passa por cinco fases: (1) Definição da Forma; (2) Análise da Base; (3) Verificação do Resultado; (4) Fabricação Digital; (5) Assemblagem.

### 3.1. Definição da Forma

Durante esta fase foi definida a forma desejada para o modelo a ser construído. O programa em uso é o Rhino3D que consiste num software de modelação tridimensional que utiliza a tecnologia NURBS. Devido aos limites do processo, a forma da base a ser criada tem de ser um polígono de quatro lados podendo assumir qualquer forma. Por sua vez, devido as mesmas, a face superior do sólido tem de ser paralela a face inferior, por outras palavras: a lógica apenas está preparada para resultados que têm como base um quadrilátero, regular ou não, de cobertura plana. [Fig. 48]

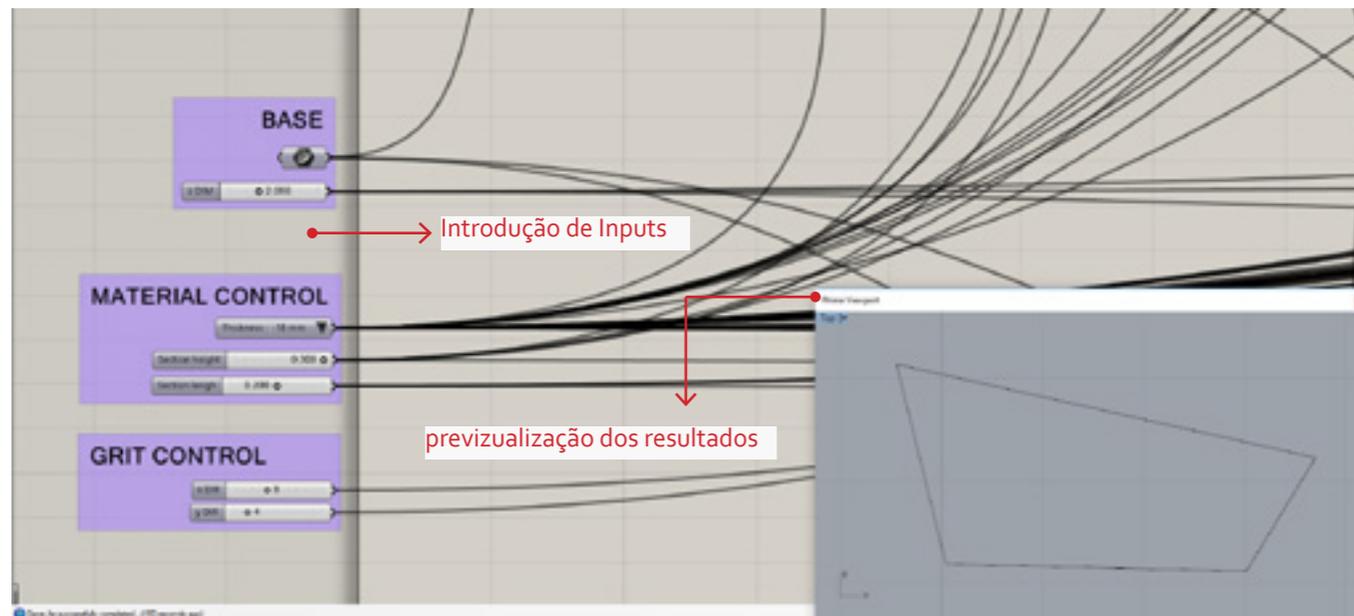


Fig. 48\_ Princípio da definição Grasshopper\_ < Painel de Controlo dos parametros, >Previzualização dos resultados no Rhino3D.

### 3.2. Análise da Base

A utilização do Grasshopper no desenvolvimento deste processo possibilitou a criação de uma lógica paramétrica que, após serem introduzidas todas as informações necessárias (*inputs*), são automaticamente geradas todas as partes necessárias para a produção do protótipo final através de processos de fabricação digital.

Os parâmetros necessários para a concessão da estrutura são: (i) a base da forma gerada na fase anterior [*BASE*] tendo de ser introduzida no Grasshopper como uma polylinha fechada; (ii) a dimensão máxima no eixo z [*z DIM*]; (iii) a espessura e profundidade do perfil dos pórticos [*Section height*] e [*Section length*]; e (iv) por fim a espessura das placas de madeira a utilizar [*Thickness*] [Fig. 48].

Sendo um processo evolutivo onde uma alteração no princípio da lógica afeta todo o processo que se segue, esta definição encontra-se dividida em nove procedimentos consecutivos:

- [1]. Gerar os encaixes base de forma independente;
- [2]. Análise do perímetro em estudo;
- [3]. Gerar os pórticos necessários para o perímetro em questão;
- [4]. Planificação do resultado;
- [5]. Posicionar os encaixes no pórtico de maior dimensão;
- [6]. Posicionar os encaixes nos restantes pórticos com o mesmo alinhamento do primeiro;
- [7]. Redimensionamento dos conectores verticais e horizontais;
- [8]. Gerar o revestimento interior e exterior;
- [9]. Identificação de todas as peças geradas.

[1]. Numa primeira fase são gerados todos os encaixes base existentes na estrutura da Wikihouse. São sete diferentes encaixes no total que estão parametricamente dependentes dos *inputs*, podendo variar consoante a dimensão desejada para o perfil das vigas, (altura e profundidade), e consoante a espessura dos painéis de madeira utilizados. [Fig. 49]

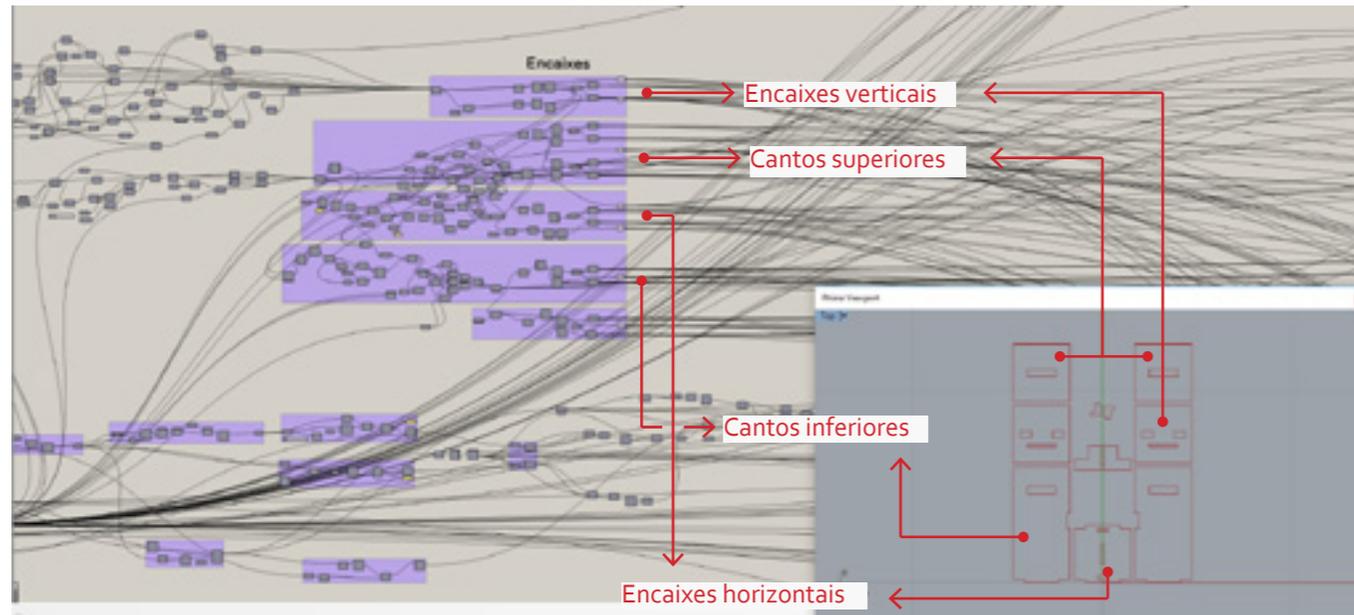


Fig. 49\_ Definição dos encaixes base do sistema.

[2]. Em seguida, após ser introduzido o perímetro do edifício em estudo, é identificado o seu maior lado e calculado o número necessário de pórticos paralelos, de forma a manter uma distância uniforme entre pórticos que não ultrapasse os 70 cm de dimensão. Essa distância está também dependente da espessura dos painéis utilizado e da profundidade desejada para os pórticos. [Fig. 50 e 51]

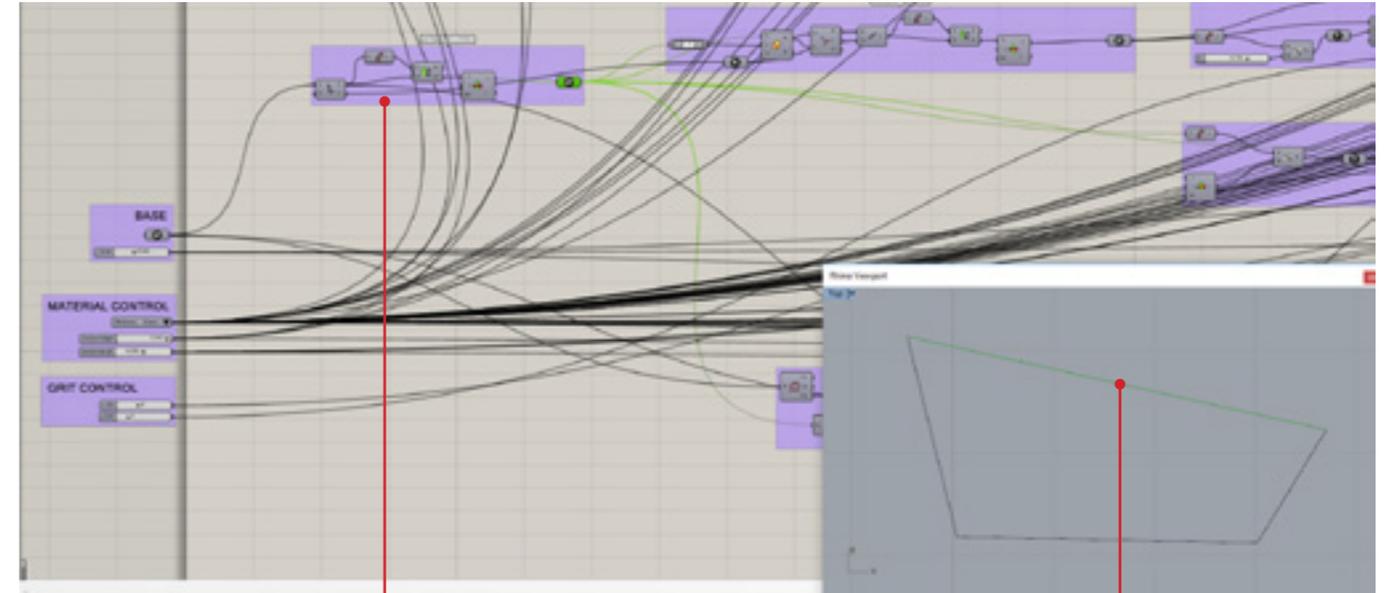
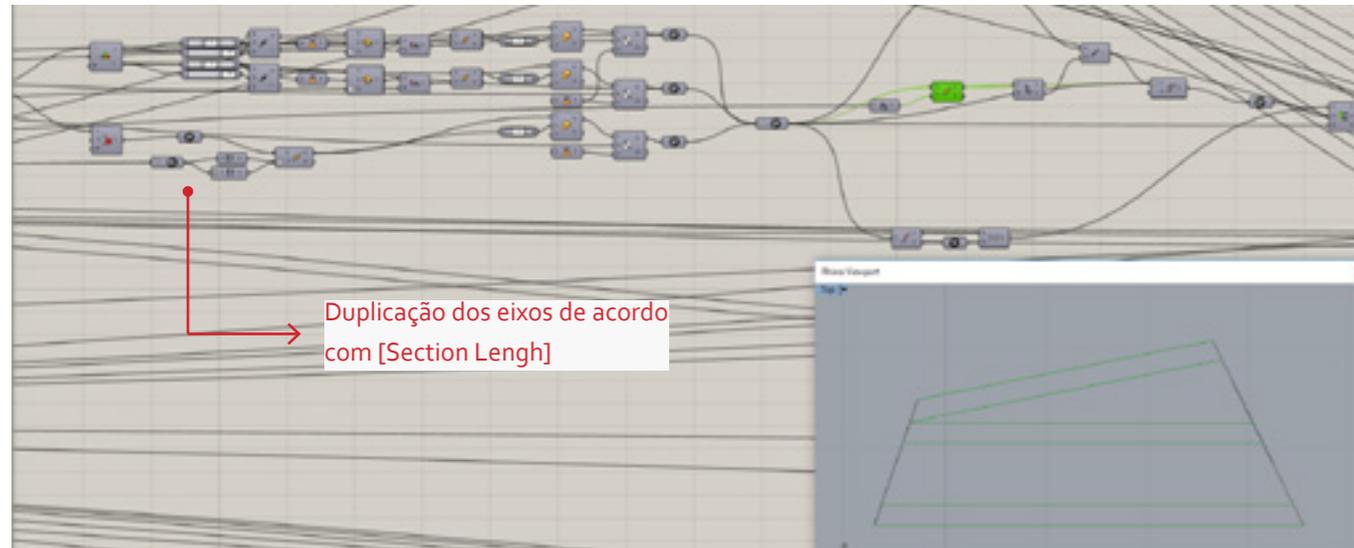


Fig. 50\_ Identificação da Aresta de maior dimensão da Base.



Fig. 51\_ Rotação da Base orientando a Aresta de maior dimensão com o eixo x. Divisão dos pórticos.

[3]. A partir do valor identificado no ponto anterior é então gerado o contorno aparente dos pórticos, resultando em retângulos de orientações e dimensões variadas que também estão dependentes de *inputs* introduzidos no início da definição. Variando consoante o valor indicado em [Z Dim]. [Fig. 52 e 53]



Duplicação dos eixos de acordo com [Section Lengh]

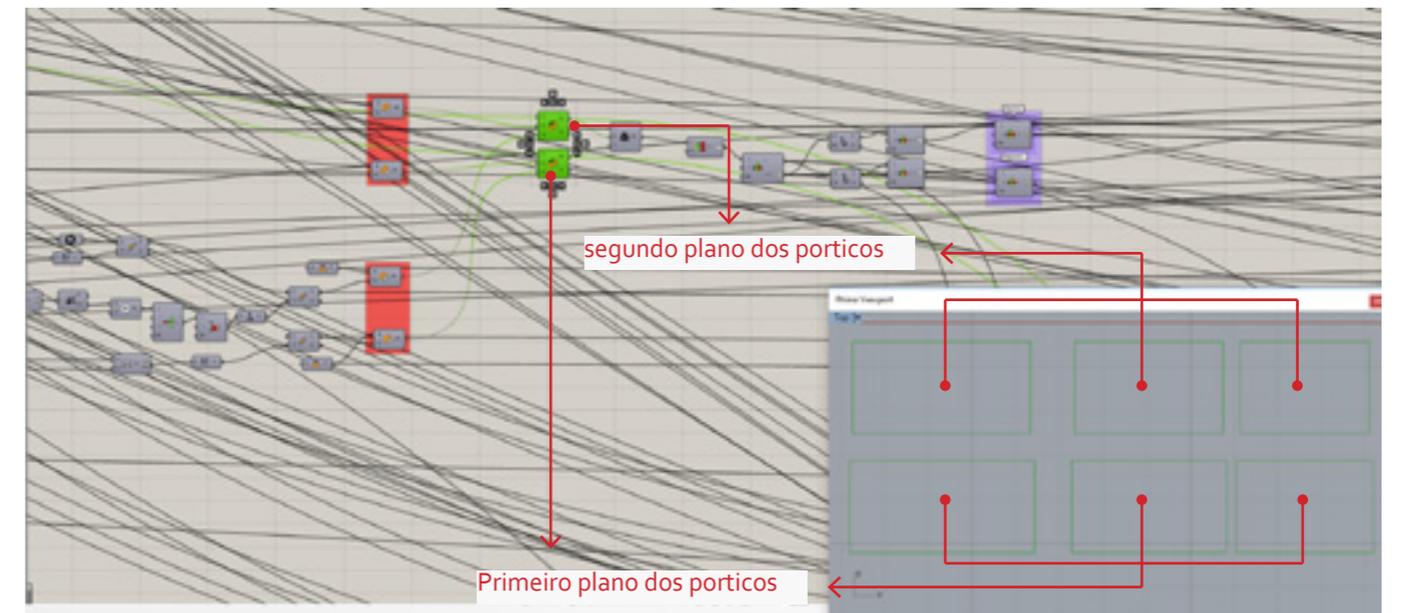
Fig. 52\_ Eixo dos planos que compõe os porticos. Dependente do input [Section Lengh]



previzualiação 3D

Fig. 53\_ Contorno exterior dos planos que compões os porticos. Dependente do input [Z Dim]

[4]. Posteriormente, esses retângulos são reorientados de forma a estarem todos planejados num plano único. Isso permite ao Grasshopper um processamento mais fácil dos resultados uma vez que já não terá de lidar com planos inclinados e sim apenas com o plano "xy". [Fig. 54]



segundo plano dos porticos

Primeiro plano dos porticos

Fig. 54\_ Planificação do contorno aparente dos porticos no plano "xy".

[5]. De seguida é posicionado no pórtico de maior dimensão todos os encaixes gerados no primeiro ponto da definição. Visto que os encaixes seguem uma regra fixa entre si, que não pode ser adaptada aos pórticos gerados no passo anterior, encontramos os restos identificados na imagem. Esses restos deixam de existir caso a dimensão máxima dos pórticos seja múltipla de 30 cm, que representa a unidade para os encaixes base. [Fig. 55]



Fig. 55\_ Orientação dos encaixes no primeiro plano do portico de maior dimensão.

[6]. Tendo o posicionamento de todos os encaixes no maior pórtico, é traçado um alinhamento para todos os outros pórticos para que no final todos os encaixes base estejam alinhados entre si, mesmo que estejam em pórticos diferentes. Uma vez que os pórticos têm dimensões diferentes entre si, surgem novos restos nas extremidades de cada um dos pórticos. [Fig. 56]

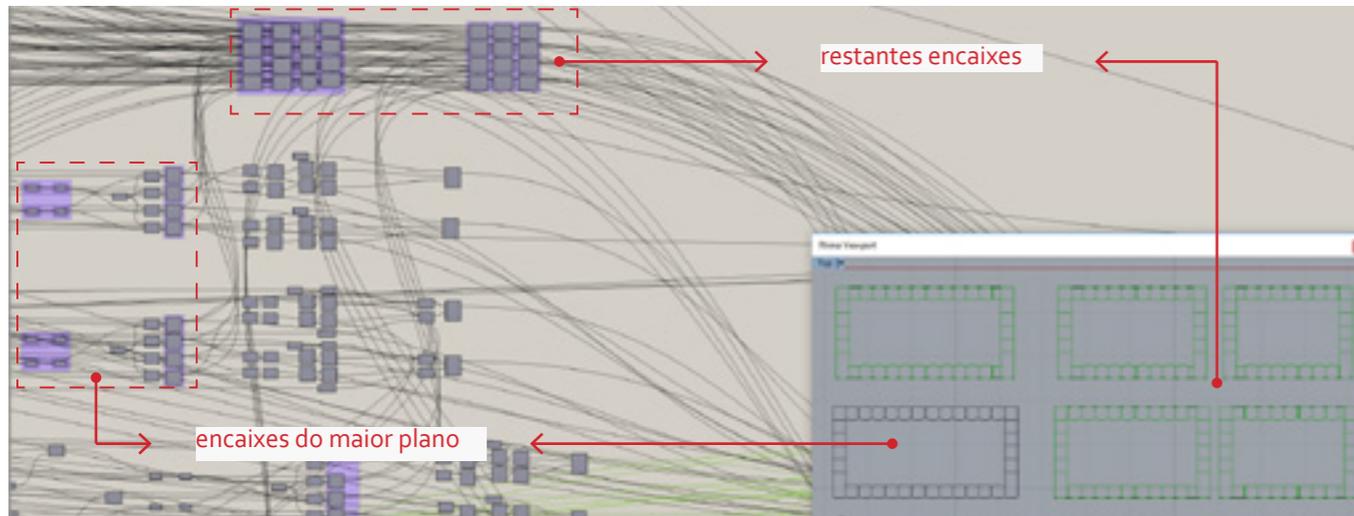


Fig. 56\_ Orientação dos encaixes nos restantes planos.

[7]. Após o encaixe base, é feito o redimensionamento dos conectores verticais e horizontais. Enquanto que os horizontais apenas estão dependentes da distancia entre pórticos, os conectores verticais são os que definem e estruturam as paredes laterais com os ângulos desenhados. Para a sua definição, foi calculado o angulo formado entre o primeiro pórtico e cada uma das paredes horizontais e a amplitude que esse formava entre pórticos [Fig. 57].

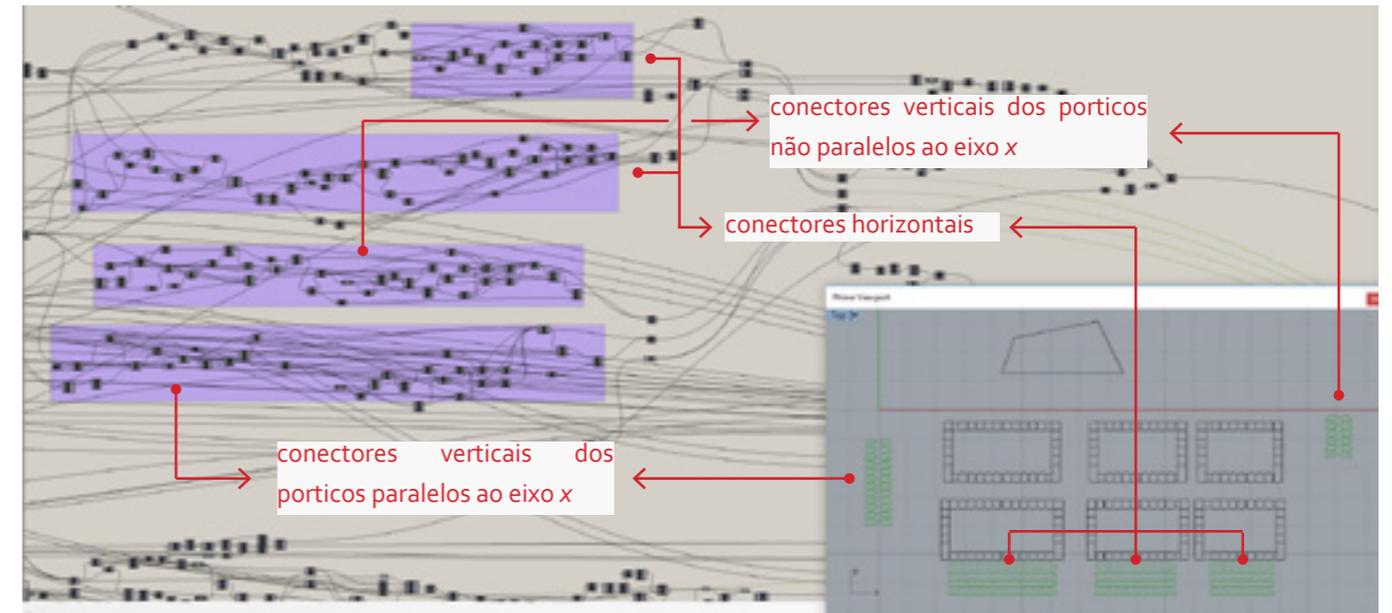


Fig. 57\_ Definição dos conectores horizontais e verticais. Dependente do [Section Lengh].

[8]. Neste ponto toda a estrutura portante do sistema já se encontra definida, restando apenas definir os revestimentos interiores e exteriores. [Fig. 58]

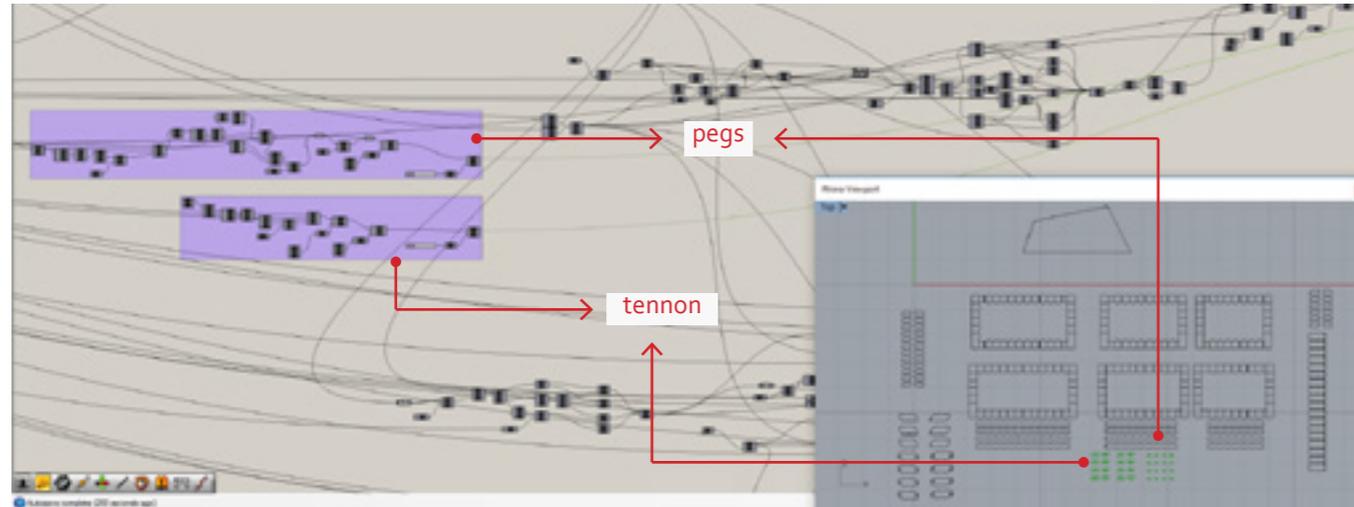


Fig. 58\_ Definição dos pegs e tennons

[9]. Com todos os elementos necessários para a construção do modelo definidos, estes são transportados para uma segunda lógica, cuja função é apenas fazer o *labelling* dos elementos. [Fig. 59]



Fig. 59\_ Fim da definição Grasshopper\_ Outpus para fabricação digital

### 3.3. Verificação do Resultado

Após o desenho de todas as peças estar concluído, é feito um protótipo a uma escala mais reduzida. O modelo à escala 1:10 é executado com o auxílio de uma máquina de corte a laser. O objetivo é fazer uma verificação de todas as peças e encaixes identificando qualquer problema ou constrangimento. Durante esta fase é também estudada a melhor sequência de assemblagem, e o consumidor final pode de uma forma visual indicar as alterações desejadas. [Fig. 60 e 61]

Esta processo é repetido as vezes necessárias até chegar-se ao resultado final desejado. [Fig. 62]

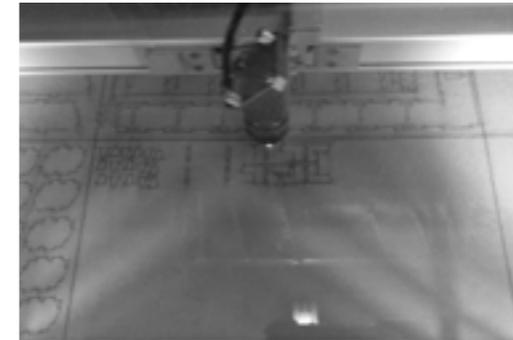


Fig. 60\_ Corte a laser no Vitruvius FabLab

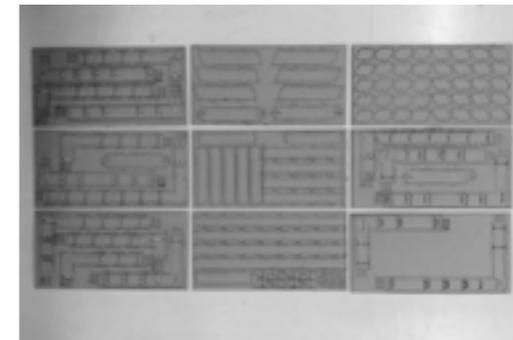


Fig. 61\_ Resultado das peças cortadas a laser

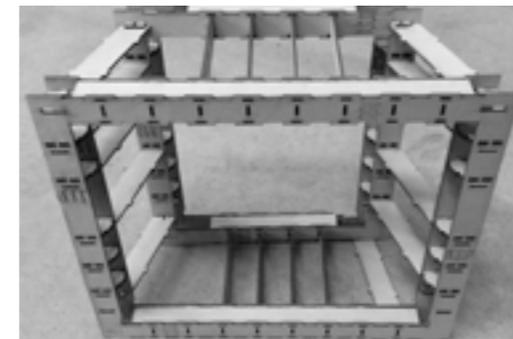


Fig. 62\_ Modelo a escala 1:10

### 3.4. Fabricação digital

Após a validação do resultado, os desenhos vetoriais da habitação são organizados, de forma eficiente, no material a ser cortado tendo em conta a dimensão máxima do material e a máquina CNC em uso [Fig. 63].

Depois da organização do ficheiro é introduzido, neste caso, no *software* CAM (ex: Vectric Aspire), onde é gerado o *G-Code* e onde é indicado quais serão as fresas a ser utilizada para gravação do labeling e as que serão utilizadas para o corte.

Em seguida, o ficheiro formado pelo Vectric Aspire, em formato .nc, é introduzido no software de controlo numérico, neste caso o InoControl, o qual irá ler o *G-Code* presente no ficheiro e controlar a CNC de modo aos elementos desenhados serem cortados. [Fig. 64]

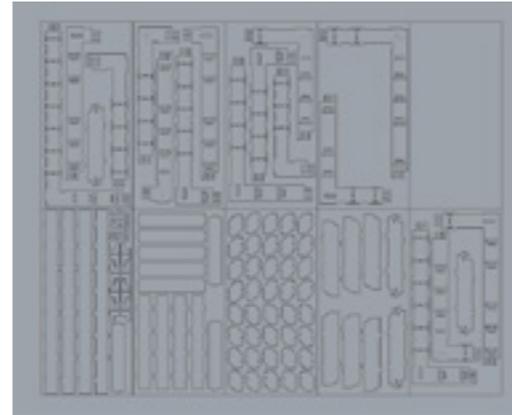


Fig. 63\_ Planificação dos resultados feita no Software Rhinoceros 3D

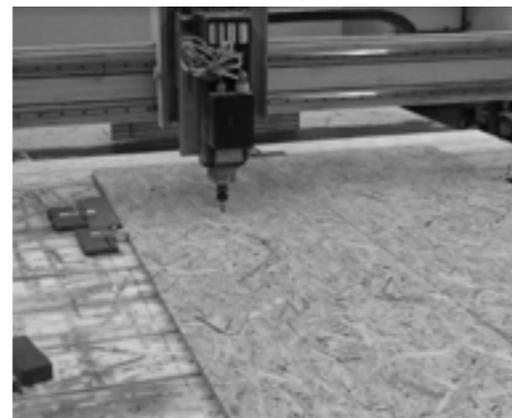


Fig. 64\_ Corte na Fresadora efectuado no Vitruvius FabLab



Fig. 65\_ Assemblagem do modelo a escala 1:1

### 3.5. Assemblagem

Architecture oo conseguiu simplificar o sistema de tal forma que todas as peças podem ser montadas sem recorrer a nenhuma ferramenta elétrica ou conhecimento de construção. A única ferramenta necessária é um martelo de madeira ou borracha que, no primeiro caso, pode ser impresso junto com os elementos da habitação.

Uma vez que este sistema continua a seguir praticamente todos os encaixes existentes nos desenhos originais da Wikihouse 4.3, a sua assemblagem é conseguida de igual forma. Necessitando apenas de duas ou três pessoas para fazer de forma rápida e fácil a montagem de todas as peças existentes. [Fig. 65]



*"Every new generation will rediscover the virtues of prefabs. Every new generation will rediscover the idea of stacking people up high. And every new generation will rediscover the virtues of subsidized housing to make cities more affordable."* (Pearman, 2003)

O papel do arquiteto tem sempre acompanhado os avanços tecnológicos na produção e construção dos edifícios. Estes avanços têm permitido que cada nova geração surja com novas e mais adaptadas soluções para os problemas da sua época.

As três revoluções industriais e as inovações e descobertas que as possibilitaram, tais como a máquina a vapor e a mecanização, o betão armado, os avanços na siderurgia e o aparecimento da internet entregaram aos arquitetos as ferramentas que estes precisavam para responder as necessidades da época.

Segundo Parvin (2016) *"Over the last two decades the web has profoundly changed our economy and our society, putting the tools to produce information into the hands of everyone. We have moved from a world dominated by big, centralized producers to one where the few big can be outperformed by the many small; the long tail"*. (Parvin, 2016)

Estamos a chegar novamente a um ponto de viragem, e desta vez não é apenas o meio e a técnica que têm evoluído, a vontade e motivação do cliente está cada vez mais virada para um processo de co-working ou até mesmo de do-it-yourself. A acompanhar essa evolução, cada vez mais surgem oficinas de fabricação digital abertas ao público, espaços como os FabLabs ou Maker Spaces.

A Wikihouse Foudation leva essa ideia ainda mais a frente ambicionando uma fragmentação do espaço de fabricação, onde os elementos necessários para a sua construção poderiam ser produzidos mais próximos pelo próprio consumidor final.

*"WikiHouse components can be digitally manufactured not just in large centralized prefabrication factories, but by a distributed network of small businesses and makerspaces; using widely available tools & materials"* (Parvin, 2016).

Esta é a actual realidade. As pessoas cada vez mais querem fazer parte do processo de criação e para além disso, o software e hardware open source está cada vez mais ao alcance de todos e, talvez num futuro próximo, seja possível a produção dos elementos necessários na nossa própria garagem.

*"Digital fabrication tools such as CNC machines and 3D printers are putting the capability to produce and control physical products into the hands of everyone. It has been called the 'fourth industrial revolution' and it's going to transform our economy even more profoundly"* (Parvin, 2016).

Durante o processo de desenvolvimento desta tese, foi realizado um estudo mais aprofundado sobre o sistema da Wikihouse de modo a identificar quais eram os seus limites e tentar chegar a possíveis soluções para os mesmos. Limites como a incapacidade de lidar com uma planta não regular ou com superfícies complexas.

Ao mesmo tempo, com o auxílio do *plugin* Grasshopper, foi realizada uma lógica paramétrica que integrasse o sistema tradicional com todas as alterações que fossem realizadas. O desenvolvimento da lógica foi um processo de aprendizagem onde tentou-se responder a algumas das limitações identificadas.

O objetivo foi desenvolver uma lógica que tornasse o sistema Wikihouse paramétrico respondendo ao problema das plantas não regulares com a criação de novos elementos para o sistema e a alteração de elementos já existentes. No entanto, não é resolvido o problema relacionado com as superfícies complexas. O que leva ao limite das coberturas planas na lógica criada. Contudo, esse limite talvez poderá ser resolvido utilizando processos computadorizados para tornar a madeira num material mais flexível em ambas as direções.

O resultado conseguido encontra-se ainda incompleto e com alguns bugs, devido a algumas decisões tomadas no principio do processo, complicando toda a lógica. Tal como foi dito, o processo foi desde o principio de aprendizagem, e talvez o próximo passo seja uma reprogramação do principio da lógica, onde os bugs até agora identificados sejam corrigidos.

Em futuros desenvolvimentos deste projeto talvez seja possível a integração dos encaixes em falta que permitam a criação de múltiplos pisos, utilização de escadas e das superfícies complexas, ou até mesmo a integração de cálculos estruturais que automaticamente introduzam novos apoios verticais nos pórticos caso seja identificado a necessidade do mesmo.

Qual será o papel do Arquiteto? A resposta será semelhante à que tem sido aplicada ao longo do tempo: Adaptar-se às condições e utilizar as ferramentas que tem a sua disposição para responder aos desafios que surgirem. A adaptação a esta nova realidade não será fácil, mas já existem algumas conquistas como podemos verificar com o sistema da Instant House e o da Wikihouse.



## BIBLIOGRAFIA

AYALA ZAPATA, Fernando - 21st Century D.I.Y. Architecture. In Virtual Conference on Sustainable Architectural Design and Urban Planning, 2007.

BARROS, Alexandre Monteiro De - Fabricação digital : sistematização metodológica para o desenvolvimento de artefatos com ênfase em sustentabilidade ambiental. [S.l.] : Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011

BOUZA, Luis Eduardo - WITHOUT A HITCH: NEW DIRECTIONS IN PREFABRICATED ARCHITECTURE. Em Parametrics, Performance and (Pre) Fabrication. Massachusetts : University of Massachusetts, Amherst, Architecture+Design Program, 2008

CARVALHO, Pedro; SOUSA, José Pedro - Digital Fabrication Technology in Concrete Architecture 32. . Porto : [s.n.] (Relatório n.1).

CELANI, Gabriela - CAD criativo. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2003.

CHRISTENSEN, Peter; BERGDOLL, Barry - HOME DELIVERY: Fabricating the Modern Dwelling. [S.l.] : The Museum of Modern Art, New York, 2008. ISBN 9780870707339.

CRUZ, Adriano; KNOPMAN, Jonas - Apostila Disciplina Projeto e Desenvolvimento de Algoritmos, 2001. Disponível em: <<http://equipe.nce.ufjf.br/adriano/algoritmos/apostila/algoritmos.htm>> [25/10/2016].

DAVIS, Stan - Future Perfect. Massachusetts : Addison Wesley Longman, Inc, 1987. ISBN 0-201-32795-3.

Day, Martyn - AEC Magazine. Retrieved 7 February 2011.

DUNN, Nick - Digital Fabrication in Architecture. London : Laurence King, 2012. ISBN 9781856698917.

EASTMAN, Charles M. - Building product models: computer environments Supporting Design and Construction. NEW York : CRC Press LLC, 1999. ISBN 9780849302596.

GERSHENFELD, Neil - FAB: The Coming Revolution on Your Desktop--from Personal Computers to Personal Fabrication. New York : Basic Books, 2005. ISBN 0-465-02745-8.

KIERAN, Stephen; TIMBERLAKE, James - Refabricating Architecture: How Manufacturing Methodologies are Poised to Transform Building Construction. Georgia : Published by McGraw-Hill Education, 2003. ISBN 9780071433211.

KOLAREVIC, Branko - Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing. New York : Spon Press, 2003. ISBN 978-0415381413.

NATIVIDADE, Verônica; VENTURA, Alessandro - Arquitetura Algorítmica. Uma abordagem conceitual. Em . São Paulo : Sigradi, 2009

NURCERY, Lindsey - First Wiki Farmhouse: The world's first Wikihouse home [on line], atual. 2015. [Consult. 15 ago. 2016]. Disponível em WWW:<[URL:https://awikifarmhouse.wordpress.com/](https://awikifarmhouse.wordpress.com/)>.

PAIO, Alexandra; SILVA, Brimet - Processos digitais Computorização e computação. Arqa. 2013).

PARVIN, Alastair - Alastair Parvin: Architecture for the people by the people [online], atual. 2013. [Consult. 28 set. 2016]. Disponível em WWW:<[URL:https://www.youtube.com/watch?v=Mlt6kaNjoel](https://www.youtube.com/watch?v=Mlt6kaNjoel)>.

PARVIN, Alastair - WikiHouse \_ This is for everyone [online], atual. 2016. [Consult. 20 set. 2016]. Disponível em WWW:<[URL:http://www.wikihouse.cc/WikiHouse\\_Partners\\_2016\\_v1.7.1.pdf](http://www.wikihouse.cc/WikiHouse_Partners_2016_v1.7.1.pdf)>.

PEARMAN, Hugh - Creative Lego: are prefabricated homes architecture or building? The Sunday Times. 2003).

PUPO, Regiane; CELANI, Gabriela - Gráfica Digital - Integración y Desarrollo. Em Implementando a fabricação digital e a prototipagem rápida em cursos de arquitetura: dificuldades e realidades. Havana : Sigradi, 2008

RATTI, Carlo - Open Source Architecture. Domus 948 (<http://www.domusweb.it/en/op-ed/2011/06/15/open-source-architecture-osarc-.html>)

RIFKIN, Jeremy - The Third Industrial Revolution. [S.l.] : Palgrave MacMillan, 2011. ISBN 978-0230341975.

SASS, Lawrence; BOTHA, Marcel - The Instant House:A Model of Design Production with Digital Fabrication. International Journal of Architectural Computing. . ISSN 1478-0771. 4:4 (2006) 109–123. doi: 10.1260/147807706779399015.

SASS, Lawrence; MICHAUD, Dennis; CARDOSO, Daniel - Materializing a Design with Plywood. Em . [S.l.] : Digital Design and Fabrication Group, MIT, 2007

SILVA, Robison Canuto Da - Urbanismo Paramétrico: Parametrizando Urbanidade. [S.l.] : Universidade Federal de Pernambuco, 2009

SILVA, Robson Canuto Da; AMORIM, Luiz Manuel Do Eirado - Da Arquitetura Paramétrica ao Urbanismo Paramétrico. Em . Colombia : [s.n.]

SMITH E, Ryan - Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction - New Jersey : John Wiley & Sons, Inc, 2010. ISBN 978-0-470-27561-0.

TEDESCHI, Arturo- AAD\_Algorithms-Aided Design. Parametric Strategies Using Grasshopper. Le penseur publisher, 2014. ISBN 978-88-95315-30-0.

TERZIDIS, Kostas - Algorithmic Architecture. New York : Taylor & Francis, 2006. ISBN 978-0-7506-6725-8.

WOODBURY, Robert - Elements of Parametric Design. New York : Routledge, 2010. ISBN 0-415-77986-3.

**Fig. 01\_ SMITH E, Ryan** - Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction - New Jersey : John Wiley & Sons, Inc, 2010. ISBN 978-0-470-27561-0.

**Fig. 02\_ SMITH E, Ryan** - Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction - New Jersey : John Wiley & Sons, Inc, 2010. ISBN 978-0-470-27561-0.

**Fig. 03\_** <http://quonset-hut.blogspot.pt/2012/v12/the-manning-portable-colonial-cottage.html> [online]

**Fig. 04\_** <http://www.tipux.com/top/374/photos-artistiques-de-la-tour-eiffel> [online]

**Fig. 05\_** <http://www.wienmuseum.at/en/locations/otto-wagner-pavillon-karlsplatz.html> [online]

**Fig. 06\_** <http://www.harvardartmuseums.org/art/53174>

**Fig. 07\_** <http://www.ford.ie/AboutFord/CompanyInformation/Heritage/TheEvolutionOfMassProduction>

**Fig. 08\_** <http://www.handeyesupply.com/blogs/hes/41950593-lustron-the-all-steel-house>

**Fig. 09\_** <http://www.handeyesupply.com/blogs/hes/41950593-lustron-the-all-steel-house>

**Fig. 10\_ CHRISTENSEN, Peter; BERGDOLL, Barry** - HOME DELIVERY: Fabricating the Modern Dwelling. [S.l.] : The Museum of Modern Art, New York, 2008. ISBN 9780870707339.

**Fig. 11\_ CHRISTENSEN, Peter; BERGDOLL, Barry** - HOME DELIVERY: Fabricating the Modern Dwelling. [S.l.] : The Museum of Modern Art, New York, 2008. ISBN 9780870707339.

**Fig. 12\_** <http://archpaper.com/2014/10/together-but-individual/>

**Fig. 13\_** <http://www.sekofotografia.es/2015/12/guggenheim-bilbao.html>

**Fig. 14\_ CARVALHO, Pedro; SOUSA, José Pedro** - Digital Fabrication Technology in Concrete Architecture32. . Porto : [s.n.] (Relatório n.1)

**Fig. 15\_ CARVALHO, Pedro; SOUSA, José Pedro** - Digital Fabrication Technology in Concrete Architecture32. . Porto : [s.n.] (Relatório n.1)

**Fig. 16\_ NABONI, Roberto; PAOLETTI, Ingrid** - Advanced Customization in Architectural Design and Construction. NEW York : Springer Cham Heidelberg, 2015. ISBN 978-3-319-04422-4

**Fig. 17\_ NABONI, Roberto; PAOLETTI, Ingrid** - Advanced Customization in Architectural Design and Construction. NEW York : Springer Cham Heidelberg, 2015. ISBN 978-3-319-04422-4

**Fig. 18\_ BARROS, Alexandre Monteiro De** - Fabricação digital : sistematização metodológica para o desenvolvimento de artefatos com ênfase em sustentabilidade ambiental. [S.l.] : Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011

**Fig. 19\_ BARROS, Alexandre Monteiro De** - Fabricação digital : sistematização metodológica para o desenvolvimento de artefatos com ênfase em sustentabilidade ambiental. [S.l.] : Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011

**Fig. 24\_ PARVIN, Alastair** - WikiHouse \_ This is for everyone [online], atual. 2016. [Consult. 20 set. 2016]. Disponível em WWW:<URL:[http://www.wikihouse.cc/WikiHouse\\_Partners\\_2016\\_v1.7.1.pdf](http://www.wikihouse.cc/WikiHouse_Partners_2016_v1.7.1.pdf)>.

**Fig. 25\_ SASS, Lawrence; BOTHA, Marcel** - The Instant House:A Model of Design Production with Digital Fabrication. International Journal of Architectural Computing. . ISSN 1478-0771. 4:4 (2006) 109–123. doi: 10.1260/147807706779399015.

**Fig. 26\_ SASS, Lawrence; BOTHA, Marcel** - The Instant House:A Model of Design Production with Digital Fabrication. International Journal of Architectural Computing. . ISSN 1478-0771. 4:4 (2006) 109–123. doi: 10.1260/147807706779399015.

**Fig. 27\_ SASS, Lawrence; BOTHA, Marcel** - The Instant House:A Model of Design Production with Digital Fabrication. International Journal of Architectural Computing. . ISSN 1478-0771. 4:4 (2006) 109–123. doi: 10.1260/147807706779399015.

**Fig. 28\_ SASS, Lawrence; BOTHA, Marcel** - The Instant House:A Model of Design Production with Digital Fabrication. International Journal of Architectural Computing. . ISSN 1478-0771. 4:4 (2006) 109–123. doi: 10.1260/147807706779399015.

**Fig. 29\_** <https://www.behance.net/gallery/7111259/Digitally-Fabricated-Instant-Cabin> [online]

**Fig. 30\_** <https://www.behance.net/gallery/7111259/Digitally-Fabricated-Instant-Cabin> [online]

**Fig. 31\_** <https://www.behance.net/gallery/7111259/Digitally-Fabricated-Instant-Cabin> [online]

**Fig. 32\_ PARVIN, Alastair** - Alastair Parvin: Architecture for the people by the people [online], atual. 2013. [Consult. 28 set. 2016]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.youtube.com/watch?v=Mlt6kaNjoel>>.

**Fig. 33\_ AYALA ZAPATA, Fernando** - 21st Century D.I.Y. Architecture. In Virtual Conference on Sustainable Architectural Design and Urban Planning, 2007.

**Fig. 34\_ PARVIN, Alastair** - WikiHouse \_ This is for everyone [online], atual. 2016. [Consult. 20 set. 2016]. Disponível em WWW:<URL:[http://www.wikihouse.cc/WikiHouse\\_Partners\\_2016\\_v1.7.1.pdf](http://www.wikihouse.cc/WikiHouse_Partners_2016_v1.7.1.pdf)>.

**Fig. 35\_ NURCERY, Lindsey** - First Wiki Farmhouse: The world's first Wikihouse home [on line], atual. 2015. [Consult. 15 ago. 2016]. Disponível em WWW:<URL:<https://awikifarmhouse.wordpress.com/>>.

**Fig. 36\_ NURCERY, Lindsey** - First Wiki Farmhouse: The world's first Wikihouse home [on line], atual. 2015. [Consult. 15 ago. 2016].

Disponível em WWW:<URL:<a href="https://awikifarmhouse.wordpress.com/">https://awikifarmhouse.wordpress.com/>.>

**Fig. 37\_NURCERY**, Lindsey - First Wiki Farmhouse: The world's first Wikihouse home [on line], atual. 2015. [Consult. 15 ago. 2016]. Disponível em WWW:<URL:<a href="https://awikifarmhouse.wordpress.com/">https://awikifarmhouse.wordpress.com/>.>

**Fig. 38\_NURCERY**, Lindsey - First Wiki Farmhouse: The world's first Wikihouse home [on line], atual. 2015. [Consult. 15 ago. 2016]. Disponível em WWW:<URL:<a href="https://awikifarmhouse.wordpress.com/">https://awikifarmhouse.wordpress.com/>.>

**Fig. 39\_NURCERY**, Lindsey - First Wiki Farmhouse: The world's first Wikihouse home [on line], atual. 2015. [Consult. 15 ago. 2016]. Disponível em WWW:<URL:<a href="https://awikifarmhouse.wordpress.com/">https://awikifarmhouse.wordpress.com/>.>

**Fig. 40\_NURCERY**, Lindsey - First Wiki Farmhouse: The world's first Wikihouse home [on line], atual. 2015. [Consult. 15 ago. 2016]. Disponível em WWW:<URL:<a href="https://awikifarmhouse.wordpress.com/">https://awikifarmhouse.wordpress.com/>.>

**Fig. 41\_TERZIDIS**, Kostas - Algorithmic Architecture. New York : Taylor & Francis, 2006. ISBN 978-0-7506-6725-8.

**Fig. 42\_TERZIDIS**, Kostas - Algorithmic Architecture. New York : Taylor & Francis, 2006. ISBN 978-0-7506-6725-8.

**Fig. 43\_TEDESCHI**, Arturo- AAD\_Algorithms-Aided Design. Parametric Strategies Using Grasshopper. Le penseur publisher, 2014. ISBN 978-88-95315-30-0.

**Fig. 44\_TEDESCHI**, Arturo- AAD\_Algorithms-Aided Design. Parametric Strategies Using Grasshopper. Le penseur publisher, 2014. ISBN 978-88-95315-30-0.

**Fig. 45\_WOODBURY**, Robert - Elements of Parametric Design. New York : Routledge, 2010. ISBN 0-415-77986-3.

**Fig. 46\_TEDESCHI**, Arturo- AAD\_Algorithms-Aided Design. Parametric Strategies Using Grasshopper. Le penseur publisher, 2014. ISBN 978-88-95315-30-0.

**Fig. 47\_TEDESCHI**, Arturo- AAD\_Algorithms-Aided Design. Parametric Strategies Using Grasshopper. Le penseur publisher, 2014. ISBN 978-88-95315-30-0.

**Fig. 48\_ Imagem Captada \_ Rhinoceros 3D / Grasshopper**

**Fig. 49\_ Imagem Captada \_ Rhinoceros 3D / Grasshopper**

**Fig. 50\_ Imagem Captada \_ Rhinoceros 3D / Grasshopper**

**Fig. 51\_ Imagem Captada \_ Rhinoceros 3D / Grasshopper**

**Fig. 52\_ Imagem Captada \_ Rhinoceros 3D / Grasshopper**

**Fig. 53\_ Imagem Captada \_ Rhinoceros 3D / Grasshopper**

**Fig. 54\_ Imagem Captada \_ Rhinoceros 3D / Grasshopper**

**Fig. 55\_ Imagem Captada \_ Rhinoceros 3D / Grasshopper**

**Fig. 56\_ Imagem Captada \_ Rhinoceros 3D / Grasshopper**

**Fig. 57\_ Imagem Captada \_ Rhinoceros 3D / Grasshopper**

**Fig. 58\_ Imagem Captada \_ Rhinoceros 3D / Grasshopper**

**Fig. 59\_ Imagem Captada \_ Rhinoceros 3D / Grasshopper**

**Fig. 60\_ Fotografia do autor**

**Fig. 61\_ Fotografia do autor**

**Fig. 62\_ Fotografia do autor**

**Fig. 63\_ Imagem Captada \_ Rhinoceros 3D**

**Fig. 64\_ Fotografia do autor**

**Fig. 65\_ Fotografia do autor**

# DA PRODUÇÃO À CUSTOMIZAÇÃO EM MASSA

---

PARAMETRIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA CONSTRUTIVO WIKIHOUSE