



## José Pinto Duarte

Professor Catedrático, Faculdade de Arquitectura, Universidade Técnica de Lisboa  
Investigador, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa  
Cientista Visitante, MIT Design Lab

Telf.: + 351 (21) 361 5839 | E-mail: [Jduarte@atfa.utl.pt](mailto:Jduarte@atfa.utl.pt) | CV: [pdf](#) | [English](#)

José Pinto Duarte tem a Licenciatura pela Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa (FA/UTL), o Mestrado em Métodos de Projecto e o Doutoramento em Arquitectura Computacional pelo MIT, EUA. É actualmente Professor Associado na FA/UTL, Investigador no Instituto Superior Técnico (IST) e Cientista Visitante no MIT.

Na FA foi coordenador do Curso de Doutoramento em Arquitectura e é membro da Comissão Científica do Curso de Doutoramento em Urbanismo e do Conselho Científico da FA. No IST foi coordenador da Secção de Arquitectura do IST e fundador dos Laboratórios de Investigação em Arquitectura do IST (ISTAR Labs: <http://www.civil.ist.utl.pt/istar>). No MIT, trabalhou no projecto Changing Places (antigo House\_ n) como coordenador do projecto Personalização da Habitação em Série (Mass Customization of Housing) e actualmente é membro do projecto Living Labs. Foi ainda Investigador do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e Arquitecto no Atelier de Manuel Taíña antes de abrir o seu próprio atelier.

Os seus principais interesses no domínio de investigação são a personalização da produção em arquitectura, urbanismo e design e o desenvolvimento de métodos de projecto baseados nas novas tecnologias. Actualmente a sua investigação incide sobre o uso de métodos de projecto de base computacional na elaboração de planos urbanos flexíveis, capazes de responder a variações do contexto, sendo coordenador do projecto City Induction financiado pela FCT.

Sobre estes temas, é autor de um número considerável de capítulos em livros e de artigos em revistas científicas e conferências internacionais. É também o autor de “Personalizar a Habitação em Série” (prefácio de Siza Vieira, FCG, 2007) e “Tipo e Módulo” (LNEC, 1995) e co-editor de “Lisbon Charrette” (com J. Bento and W.J. Mitchell, IST Press 1999), “A Cadeira de Vidro” (com M. Heitor, IST Press, 2001), “Personalizar a Habitação em Série: uma experiência de projecto” (com J. N. Beirão, CEFA, 2003) e “Collaborative Design and Learning” (com J. Bento, M. Heitor e W. J. Mitchell, Praeger 2004).

Tem sido orador convidado a nível internacional, destacando-se as palestras públicas mais recentes proferidas no American Institute of Architects em Nova York e na Universidade de Bauhaus em Weimar (2010); na Universidade Estadual de Campinas (2009); no Korean Advanced Institute of Science and Technology em Seul (2008). Foram publicados artigos sobre o seu trabalho em revistas de grande circulação como A+U (Japão); Popular Science (EUA) e New Scientist (RU).

É membro do conselho editorial das revistas *Urban Design International* (UDI), *Pesquisa em Arquitetura e Construção* (PARC) e *Arquitetura Revista*, bem como membro regular dos conselhos científicos das revistas *Environment and Planning B* (EPB), *International Journal of Architectural Computing* (IJAC) e *Artificial Intelligence in Engineering Design, Architecture and Manufacturing* (AIEDAM), entre outras.

Em 2008 recebeu o prémio UTL/ Santander de investigação em arquitectura.

# Personalização em Série:

## Modelos e Algoritmos

### Preâmbulo

Esta apresentação foi concebida para ser a apresentação introdutória de uma disciplina de Projecto de Arquitectura Assistido por Computador que tenho vindo a leccionar na Universidade Técnica de Lisboa. Esta disciplina tem como características principais a abordagem de problemas de projecto complexos, desenvolvida em colaboração com a indústria e o recurso às novas tecnologias como forma de atingir uma resolução eficaz de tais problemas.

Um dos temas abordados na disciplina tem sido a *personalização em série* da habitação. Esta lição descreve modelos e algoritmos desenvolvidos para possibilitar a produção em série de objectos personalizados, dois conceitos aparentemente contraditórios. A contradição é aparente porque, com a tecnologia disponível até recentemente, não era possível conciliar a produção em série de objectos com a sua personalização. De facto, produzir em série significava produzir objectos em grandes quantidades com recurso à repetição exaustiva para baixar os custos de produção, o que eliminava a possibilidade de se produzirem objectos diferenciados, atributo essencial da produção artesanal. O que nesta apresentação se pretende mostrar é que com a tecnologia hoje disponível, nomeadamente, a tecnologia de informação, é possível conciliar a produção em grande quantidade com a produção de objectos personalizados, isto é, de objectos adaptados aos seus utilizadores. Assim, personalização em série da habitação significa produzir, em grande quantidade e a um custo acessível, habitações adaptadas às exigências específicas dos agregados familiares a que se destinam.

### Introdução

A utilização das novas tecnologias em arquitectura não tem sido pacífica. O termo é ambíguo e amiúde reduzido ao computador ou mesmo ao software de Desenho Assistido por Computador vulgarmente designado por CAD, do inglês *Computer Aided Design*. Confrontados com a sua existência, os arquitectos cedo assumiram posições díspares. Num extremo, encontravam-se aqueles que pensavam que o computador seria o fulcro do processo de projecto. No outro, posicionavam-se aqueles que recusavam atribuir-lhe qualquer papel. Este radicalismo de posições foi confirmado por Omer Akin no final dos anos 80 (Akin 1989) que afirmou ser possível identificar duas posições distintas sobre o uso do computador em arquitectura. Uma apoiada pelos pioneiros do CAD, defendia que o computador acabaria por substituir os projectistas humanos; a outra, assumida pelos mais cépticos dizia que o computador podia, quando muito, apoiá-los. Akin, porém, tinha uma visão diferente; acreditava que mais do que substituir ou apoiar os arquitectos, o computador acabaria por transformar a forma de projectar.

Nesta lição, iremos descrever vários esforços, sucessivos e incrementais, desenvolvidos com o intuito de resolver um problema de projecto, com tradição na história da arquitectura e que suportam a visão de Akin. O problema é a provisão de habitação em série e a sua resolução contém um paradoxo: por um lado, é necessário produzir em grande quantidade de forma seriada para baixar os custos e, por outro, exige-se a satisfação das necessidades únicas de cada agregado familiar para garantir a qualidade. A tentativa de resolução deste paradoxo conduziu ao desenvolvimento de investigação que resultou numa abordagem algorítmica ao processo de projecto.

Testada e aferida na prática profissional, esta abordagem permite a personalização em série de habitação. A sua natureza algorítmica conduziu naturalmente ao uso de instrumentos computacionais, frequentemente designados por novas tecnologias. A aplicação da abordagem proposta no ensino de arquitectura levou à concepção e implementação de um conjunto de “ferramentas” curriculares, incluindo vários laboratórios e disciplinas, que exigiram uma reflexão sobre o papel das novas tecnologias de projecto.

O objectivo da personalização de habitações em série é fornecer habitações de alta qualidade, a custos acessíveis. A definição de qualidade inclui três aspectos. Primeiro, implica a satisfação dos requisitos funcionais definidos pelos regulamentos da construção. Segundo, requer a satisfação de requisitos estéticos codificados numa determinada linguagem de projecto. Terceiro, tem como objectivo a satisfação de requisitos que podem ser funcionais, estéticos ou estar relacionados com o custo e que são especificados pelo cliente. Em resumo, qualidade é definida como a satisfação das necessidades do utilizador. Um elevado nível de personalização conduz a uma elevada satisfação do utilizador, evitando custos associados a alterações pós-ocupação. O controle de custos de produção é garantido através do recurso a técnicas que implicam uma elevada sistematização do processo de construção.

Quando um projectista tem de conceber uma grande urbanização, a solução habitual é conceber um número limitado de tipos habitacionais e repeti-los tendo por base uma análise de mercado. Existem duas razões para este procedimento. A primeira é que o projectista não é capaz de elaborar o projecto de cada habitação individualmente devido à quantidade elevada de informação que seria necessário processar. Segundo, as técnicas de produção tradicionais exigem repetição para baixar os custos de acordo com economias de escala. O processo proposto tem como objectivo ultrapassar tais limitações, através do recurso a processos de projecto de produção assistidos por computador. A ideia é conferir às habitações produzidas em série algumas das qualidades associadas às habitações concebidas individualmente. O mercado-alvo deste processo não consiste na minoria de clientes que tradicionalmente procura o arquitecto para a concepção da sua habitação, mas sim, na maioria que não recorre a arquitectos.

A investigação desenvolvida demonstrou que a personalização em série de habitação, pode ser alcançada por duas vias: uma a que chamamos personalização combinatória padronizada e outra que se distingue desta por não ser padronizada. Na primeira, as soluções personalizadas obtêm-se por combinação diferenciada de componentes padronizados pré-definidos em resposta a contextos diferentes. Esta via pode ser alcançada com os meios tradicionais de projecto e produção, embora o recurso a sistemas informáticos facilite a exploração de soluções combinatórias e a gestão de informação para fabrico e montagem dos componentes. Na segunda via, as soluções são geradas em função do contexto e posteriormente decompostas em componentes não padronizados. Esta via dificilmente se atinge sem o recurso às novas tecnologias, uma vez que está dependente de métodos de produção assistida por computador para produzir tornar viável técnica e financeiramente a produção de componentes diferenciados.

Os esforços para encontrar uma solução para o problema da personalização em série repartiram-se por três actividades que se influenciaram mutuamente: investigação, prática e ensino. De facto, o trabalho de investigação levou ao desenvolvimento de metodologias de projecto que foram depois testadas e afinadas na prática profissional. Os resultados destes dois esforços foram posteriormente aplicados no ensino de arquitectura que alimentou, por sua vez, novo trabalho de investigação e assim sucessivamente. Espera-se desta forma demonstrar aos alunos a interdependência e a importância das três actividades no domínio do projecto. Esta apresentação tem, assim, três partes. Na primeira, descrevemos o contexto que levou à abordagem do problema da personalização em série de habitação. Na segunda parte, explicam-se os esforços desenvolvidos com a finalidade de encontrar uma solução para o problema. Finalmente, na terceira parte, descrevem-se as ferramentas criadas com o intuito de incorporar a solução desenvolvida e as novas tecnologias no ensino de arquitectura.

## Parte I

### Contexto

#### Da natureza algorítmica da arquitectura

A observação da realidade constitui o primeiro passo para a inquirição e a descoberta. Diz-se que Newton foi motivado a investigar a acção da gravidade ao ser atingido por uma maçã quando dormitava à sombra de uma macieira<sup>2</sup>. Este evento e a sua curiosidade levou-o a estudar o fenómeno e a propor a teoria da gravidade.

Em meados dos anos 80, Lisboa possuía a maior mancha urbana de génese ilegal da Europa. Recorrendo a formas de planeamento informais num período relativamente curto, com cada morador a decidir individualmente sobre a sua habitação, o bairro apresentava uma profusão de formas, cores e materiais que lhe conferiam um aspecto caótico e desagradável. As habitações, porém, eram personalizadas na medida em que ou eram construídas pelos próprios moradores ou existia uma forte participação destes nos projectos quando elaborados por designers. Em contraste, o bairro da Portela de Sacavém, situado uns quilómetros mais à frente, apresentava um aspecto monótono e repetitivo. Planeado em meados dos anos 70 e também construído num período relativamente curto, o bairro era constituído por uma série de edifícios paralelos e idênticos, com modelos de apartamentos iguais. O nível de personalização das habitações era por este motivo muito baixo. Diferente destes dois casos era a situação de Óbidos, uma vila acastelada cuja origem remonta ao século XII. No interior do castelo, as habitações são todas diferentes mas aparentam ter a mesma linguagem arquitectónica. Construída de forma incremental ao longo de séculos, a vila apresenta um equilíbrio entre ordem e diversidade, que lhe confere um aspecto harmonioso.

A constatação das diferenças entre estes três tipos de aglomerados foi a motivação para iniciar uma investigação com o objectivo de descobrir se seria possível desenvolver uma metodologia de projecto que permitisse conferir aos aglomerados planeados algumas das características dos aglomerados de crescimento espontâneo, em particular dos que se desenvolveram ao longo de séculos. Por outras palavras, o objectivo era desenvolver algoritmos que permitissem projectar aglomerados com ordem e diversidade e habitações personalizadas. Uma estratégia possível seria descobrir primeiro os algoritmos subjacentes à génese dos aglomerados não planeados e a partir daí desenvolver os algoritmos de projecto. Mas será que o crescimento dos aglomerados obedece a regras precisas, passível de codificação?

Na natureza, o código de DNA contém as instruções, ou seja, o algoritmo para gerar seres vivos. Pequenas alterações ao código conduzem a espécies diferentes ou a seres vivos com características diferentes dentro da mesma espécie. As variações do código não são arbitrárias. Segundo a teoria da evolução das espécies de Darwin (1859), a evolução dos seres vivos faz-se de forma a conduzir a uma melhor adaptação ao meio. Se é possível detectar e identificar algoritmos subjacentes à obra de Deus, sendo esta uma tarefa incompleta das ciências naturais, será possível fazer o mesmo para a obra do ser humano?

No final dos anos 60, o prémio Nobel Herbert Simon (1969) postulou que da mesma forma que se conseguira descobrir as leis que governam os sistemas naturais, originando as ciências naturais, seria possível descobrir as leis subjacentes aos sistemas artificiais resultantes da actividade do ser humano. A este novo sistema de leis, Simon chamou as Ciências do Artificial. Contudo, podem-se identificar esforços para desenvolver algoritmos de projecto desde a antiguidade.

Um algoritmo é um conjunto de instruções precisas para cumprir uma determinada tarefa, por exemplo, uma receita de culinária. O objectivo de um algoritmo é garantir um determinado resultado sempre que as instruções especificadas sejam seguidas. A origem do termo remonta a uma tradução errónea efectuada no século XII numa obra em árabe do astrónomo persa Al-Khwārizmī, publicada em 825. Intitulada “Do cálculo com números hindus”, a obra viria a ser traduzida para latim com o título

“Algoritmi de numero indorum”, significando provavelmente “Livro de Algoritmi sobre números hindus”, mas levou a que o termo fosse interpretado como cálculo.<sup>3</sup> Os algoritmos são essenciais ao funcionamento dos computadores, já que um programa de computador é essencialmente um algoritmo que especifica os passos necessários para que o computador efectue uma dada tarefa. A ligação entre algoritmos e computadores é tal que certos autores definem mesmo algoritmo como um processo computacional passível de ser executado por uma máquina de Turing (Blass e Gurevich, 2000). A máquina universal de Turing (Turing, 1936) é um dispositivo capaz de simular qualquer outro tipo de máquina e é considerada como base do funcionamento dos modernos computadores (Davis, 2000). O uso de algoritmos em arquitectura não é novo. A arquitectura clássica é extremamente regrada e os tratados de arquitectura podem ser considerados como sistemas de algoritmos que explicam detalhadamente como desenhar e construir edifícios. O tratado clássico mais conhecido da antiguidade é o “Dez livros de Arquitectura” do arquitecto romano do século I antes da era cristã, Marcus Vitruvius Pollo. Este tratado, contém instruções precisas para desenhar desde elementos como colunas, até edifícios como templos ou teatros. As regras de desenho são tão precisas que é efectivamente possível escrever programas de computador para desenhar automaticamente edifícios clássicos. Em meados dos anos 90, com base em vários tratados de arquitectura clássica, escrevi um programa capaz de desenhar em três dimensões vários tipos de templos clássicos. Outro exemplo, particularmente notável, é um programa desenvolvido por alunos na disciplina de DAC II, de que falarei mais à frente, o qual, dados o número de espectadores, desenha em três dimensões um teatro romano de dimensão apropriada, segundo as regras definidas no tratado de Vitruvius.

Os tratados de arquitectura clássica proliferaram em Itália durante Renascimento, tiveram um impacto em toda a Europa e mesmo nos territórios colonizados pelos europeus. Contudo, a escrita de tratados ou de livros tentando explicar como projectar e construir edifícios não é singular da cultura ocidental do Renascimento. Existem tratados de arquitectura escritos noutras culturas e noutras épocas. Por exemplo, em 1103 na China durante a dinastia Song (960-1127), Jie Li (c. 1065-1110), vicedirector de construção na corte do imperador Huizong (reinado: 1101-1125), publicou o *Yingzao Fashi* ou Método de Construção. Este tratado aborda assuntos desde a preparação do local e de alvenarias para a construção até ao cálculo de materiais e de mão-de-obra a utilizar. Descreve também com enorme precisão as regras para o desenho de edifícios em madeira, incluindo elementos estruturais (colunas, vigas, lintéis, etc.) e elementos não estruturais (portas, janelas, divisórias, tectos, etc.). A natureza algorítmica do *Yingzao Fashi* foi posta em evidência por Andrew Li (2002) ao propor uma gramática da forma e um programa de computador que permite gerar estruturas em madeira de acordo com as regras descritas.

A abordagem algorítmica ao projecto de arquitectura não se esgota nestes tratados, que se caracterizam por abordar aspectos estilísticos e descrever as regras de projecto de edifícios com programas conhecidos e bem definidos, em alguns casos desde a antiguidade. No início do século XIX e na continuidade do esforço iluminista de clarificar a actividade humana, o arquitecto francês J.N.L. Durand tentou ir mais longe. No seu “*Precis des leçons d'architecture données à l'école polytechnique*” (1802-1805), Durand analisa os diferentes tipos de edifícios que compõem a cidade e propõe um método para compor projectos independentemente do tipo de edifício. Este método parte duma grelha sobre a qual se começa por traçar as linhas mestras da composição da planta do edifício, as quais é sucessivamente acrescentada informação até se obter uma planta detalhada, constituindo por isso um esforço para desenvolver um algoritmo de projecto.

O *Precis* de Durand influenciou o método de ensino de arquitectura nas escolas de Belas-Artes até ao advento do movimento Moderno no início do século XX. Este, ao defender, por um lado, que cada arquitecto devia possuir uma forma de projectar própria, e por outro, a necessidade de padronização para se atingir a produção em série, veio obscurecer por algum tempo a abordagem algorítmica ao projecto de arquitectura. No entanto, são evidentes as tentativas, em vários momentos e em várias

culturas, de sistematizar o projecto de arquitectura, isto é, de definir regras claras e sequenciais para desenhar edifícios. Em algumas abordagens, o grau de definição das regras é tal, que o algoritmo é claro o suficiente para permitir o desenvolvimento programas de computador para aplicar as regras e gerar edifícios.

### **Da personalização em série da habitação**

O êxodo rural em direcção às cidades que se iniciou com a revolução industrial em finais do século XVIII, provocou a necessidade de construir grande quantidade de habitações para albergar estes cidadãos que procuravam na cidade trabalho e melhores condições de sobrevivência. Durante o século XIX, a resposta a este problema não provocou alterações significativas dos métodos de projectar e construir, se exceptuarmos os arranha-céus de aço na América. Os métodos até então existentes foram aplicados de forma sistemática e exaustiva para conseguir construir em larga escala. Primeiro, de uma forma algo desordenada e depois, quando se verificaram os problemas de salubridade levantados pela excessiva densidade, dum modo mais ordenado, controlado pela legislação que foi então criada. Contudo, a necessidade de construir com alguma rapidez estruturas para albergar um número elevado de habitantes não é um problema que tivesse surgido com a revolução industrial. O que foi diferente no caso do crescimento das cidades que se seguiu à revolução industrial foi a escala do fenómeno que atingiu grandes proporções e abrangeu uma distribuição geográfica quase generalizada. O problema existe desde a antiguidade, por exemplo, na fundação de cidades pelos romanos nos territórios que iam sendo incorporados no império. Outro exemplo com algumas semelhanças, é a criação de cidades pelos europeus nas suas colónias no novo mundo. O problema também se encontra presente na reconstrução de cidades destruídas por catástrofes. O exemplo mais conhecido é o plano da reconstrução de Lisboa após o terramoto de 1755 (França, 1983). Este plano é exemplar, quer do ponto de vista algorítmico, quer da produção em série, tanto ao nível urbano como ao nível dos edifícios. Ao nível urbano, assenta na criação duma malha base ortogonal sobre a qual se traçam os arruamentos de acordo com regras que controlam as dimensões do espaço público e dos quarteirões de modo a definir uma hierarquia clara. Esta é acentuada pelo tratamento dado às fachadas, mais elaborado nas praças e ruas principais e mais simples nas ruas secundárias e nos largos. Ao nível do edifício, assenta numa estrutura reticulada em madeira concebida para resistir aos sismos, formada por componentes modulares e padronizadas, fáceis de montar. A modulação e padronização também se encontra presente nas fachadas, quer nas dimensões das fachadas cuja largura se media pelo número de vãos, quer nos elementos que compunham as cantarias dos próprios vãos. O recurso à modulação e padronização permitiu articular as diferentes escalas de projecto e agilizar o processo de construção.

Seria preciso esperar até ao início século XX para que a tentativa de produção em série de arquitectura se tornasse consciente e generalizada, adquirindo um papel central na preocupação dos arquitectos. O conceito de produção em série foi popularizado por Henry Ford nos Estados Unidos para a produção do Ford T na segunda década do século XX (Bachelor 1994). A produção em série caracteriza-se pela padronização de componentes e pela sistematização de processos.

Estes organizam ao de forma linear, de tal modo que o objecto vai sendo sucessivamente completado ao longo duma linha, dita de produção, até surgir acabado no final. A repetição de componentes e de operações permite baixar consideravelmente os custos, por se atingirem economias de escala. A moldagem é o principal processo de produção seriada e o custo dos moldes representa a parcela mais significativa deste processo. Quanto mais objectos forem produzidos pelo mesmo molde, menor será o custo de produção de cada um, pois o custo do molde é repartido por um número maior de objectos. A repetição de processos permite a cada operário adquirir uma grande especialização e eficácia na execução das tarefas implicadas no processo. Por isso, na produção em série, grupos de operários dispostos ao longo da linha de montagem executam sempre as mesmas tarefas. O sucesso da adopção

da produção em série na produção do Ford T baixou o custo de tal forma que no final dos anos 10, a maior parte dos carros nos Estados Unidos eram deste modelo.

O sucesso da indústria automóvel levou à adopção progressiva da produção em série por outras indústrias, acabando por influenciar os arquitectos, que viram neste paradigma a forma de resolver os problemas de habitação causados pelo êxodo rural que afligiam as cidades do mundo industrializado. Por isso a partir dos anos 20, os arquitectos modernistas tentaram aplicar o paradigma à arquitectura. Dois exemplos conhecidos destas tentativas são a urbanização concebida por Walter Gropius entre 1926 e 1928 para Torton, nos arredores de Dessau, na Alemanha, e a urbanização projectada por Le Corbusier entre 1926 e 1929 em Pessac, em França. O aspecto comum a estes projectos é o desejo de conceber um esquema para gerar habitação acessível, recorrendo à industrialização como forma de baixar os custos.

Tanto num caso como noutro, a estratégia seguida foi propor vários tipos de habitação prefabricada que seriam depois repetidos na formação do tecido urbano. Gropius recorreu à repetição exaustivamente, concebendo quatro tipos de habitação para um total de 316 habitações (Kupfberger, 1974). Le Corbusier, apesar do recurso à repetição, preocupou-se mais em gerar variedade, concebendo quatro tipos de habitação para um total de 200 habitações projectadas, das quais só 51 viriam a ser construídas. A sua preocupação com variedade foi mais notória ao nível urbano ao agrupar as casas de formas diferentes, como peças de um jogo de dominó. Contudo, “se compararmos os vários interiores após transformação pelos habitantes com o projecto original de Le Corbusier, torna-se imediatamente aparente que o conceito se presta a subsequente modificação” (Boudon, 1979).

As abordagens deste período entre as duas guerras, tiveram um carácter experimental e um alcance limitado. Seria no período após a 2ª Guerra Mundial que a produção em série seria usada em profundidade na reconstrução das cidades destruídas pela guerra. Na Europa de Leste, até à queda do muro de Berlim em 1989, governos centralizados e sociedades igualitárias facilitaram a introdução e aceitação deste processo de produção. Os sistemas de pré-fabricação usados eram sistemas fechados, isto é, a mesma fábrica produzia todas as componentes necessárias à construção da habitação, desde a estrutura às portas e às janelas, não existindo permutabilidade de componentes entre diferentes sistemas. Na Europa Ocidental, logo que o défice habitacional causado pela guerra foi ultrapassado, o grau de repetição inerente a este processo de produção de habitações tornou-se inaceitável por uma sociedade cada vez mais focada na escolha e liberdade individuais. Consequentemente, esta abordagem foi sendo progressivamente abandonada.

Nos Estados Unidos, no período a seguir à guerra, também houve a necessidade de construir habitação em grande escala. Não porque as cidades se encontrassem devastadas e fosse preciso reconstruí-las, mas porque o retorno dos soldados Americanos e a consequente onda de casamentos que seguiu fez disparar o número de famílias e a procura de habitação. Porém, as forças do mercado conduziram ao desenvolvimento de um novo paradigma para a produção em série de habitações, chamado *kit of parts* (sistema de componentes). Enquanto que nos sistemas fechados da Europa, não existia a possibilidade de permutabilidade de componentes, nos Estados Unidos, a necessidade dos construtores evitarem ficar dependentes de um único fornecedor, fez com que se evoluísse gradualmente para sistemas abertos (Clark, 1986). Estes sistemas exigiam uma coordenação considerável para conseguir integrar componentes oriundos de diferentes fornecedores. Os custos de produção eram reduzidos porque cada empresa ao centrar-se na produção de um único componente conseguia otimizar o processo. Contudo, dificuldades de comunicação não permitiam garantir uma permutabilidade de componentes perfeita, constituindo uma barreira à integração e à redução de custos.

A partir dos anos 60, a monotonia excessiva e a impessoalidade das habitações e zonas urbanas levaram a que se procurasse desenvolver outros métodos de projecto e produção, que permitissem a participação do utilizador e a geração de ambientes urbanos mais diversos. Um dos exemplos mais articulados e influentes foi a teoria de suportes desenvolvida por John Habraken (1974), na Holanda, no

seio do SAR (Fundação para a Investigação em Arquitectura). Esta teoria distinguia entre suporte e *infill*. O suporte coincidia com a parte rígida do edifício que os futuros moradores concordavam em não alterar. Incluía não só a estrutura, como as infraestruturas básicas e outros elementos da construção. O *infill* era a parte flexível do edifício que podia ser sujeita a modificações subsequentes pelos moradores. O projecto de edifícios de acordo com a teoria de suportes seguia um método preciso que incluía uma malha tartan, com dois módulos, sendo um maior com 30 cm, e outro menor com 15 cm, sobre o qual se posicionavam as paredes. Incluía ainda a definição de três bandas funcionais paralelas à fachada, sendo duas destinadas aos compartimentos habitáveis, situadas nos extremos próximo das fachadas, e uma banda de serviços, situada no meio. Marginando estas bandas existiam quatro bandas secundárias que podiam servir para circulação, para varandas ou como suplemento de área dos compartimentos habitáveis. A teoria de suportes e o método SAR providenciavam um conjunto de regras que podiam ser aplicadas no projecto de variados tipos de habitações e edifícios, permitindo um certo grau de personalização.

Entretanto, o paradigma da produção em série de Henry Ford foi entrando progressivamente em falência numa sociedade dominada pelo consumo individual. A partir dos anos 70, outro paradigma de produção emergiu na indústria automóvel com a Toyota, chamada produção ágil ou *lean production* (Womack et al. 1990). A produção ágil procura reduzir o tempo e os custos de produção, evitando o desperdício presente na produção em série. Uma das formas que preconiza para eliminar o desperdício é recorrer à produção *just-in-time* ou simplesmente JIT. Este processo evita o armazenamento de peças ao iniciar a produção apenas quando existe necessidade. Um das formas de otimizar este processo é recorrer a sistemas de informação que ligam o cliente directamente à fábrica, de modo a que logo que o cliente se decida pela compra é emitida a ordem de produção. A produção JIT permite aumentar o grau de personalização, uma vez que a satisfação das necessidades dos clientes deixa de estar dependente da existência de determinados produtos em armazém. Outro aspecto da produção ágil é evitar a linha de montagem. Em vez de se ter grupos de operários especializados dispostos ao longo da linha a executar sempre as mesmas tarefas, têm-se equipas a trabalhar em torno do objecto e a produzi-lo do princípio ao fim. A execução de tarefas variadas em vez de repetitivas, aumenta a motivação das equipas e a sua produtividade. O recurso à produção ágil permitiu à Toyota tornar-se no primeiro construtor mundial. À semelhança do que aconteceu com a produção em série, outras indústrias têm vindo a adoptar o paradigma da produção ágil, mas este não é o caso da indústria da construção.

Lentamente, com a emergência da produção ágil começou a formar-se um novo paradigma: o da personalização em série. O conceito foi antecipado por Alvin Toffler em 1970 no seu livro “O Choque do Futuro” e detalhado em 1980 em “A Terceira Vaga”. Mas o termo propriamente dito, foi proposto por Stanley Davis em 1987 no seu livro “Future Perfect” e os métodos para se atingir a produção em série só viriam a ser sistematizados por Joseph Pine em 1993. Foi neste contexto que iniciei em 1984 a investigação desenvolvida com o objectivo de alcançar a produção em série de habitação, descrita na parte seguinte.

## Referências

- Akin, Ö: 1989, Computational design instruction: toward a pedagogy, *in* Proceedings of the CAAD Futures Conference, Cambridge (Massachusetts, USA), pp. 302-316.
- Bachelor, Ray: 1994, *Henry Ford: mass production, modernism and design*, Manchester University Press, Manchester, UK.
- Blass, A; Gurevich, Y: 2003, Algorithms: a quest for absolute definitions, *in Bulletin of European Association for Theoretical Computer Science* 81.
- Boudon P: 1979, *Lived-in architecture, Le Corbusier's Pessac revisited*, MIT Press, Cambridge, USA.
- Clark jr, E: 1986, *The American Family Home*, MIT Press, Cambridge, USA.



- Darwin, C: 1859, *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*, John Murray, London, UK.
- Davis, M: 2000, *Engines of Logic: Mathematicians and the origin of the Computer*, W. W. Norton & Company, New York, NY, USA.
- Davis, SM: 1987 *Future Perfect*, Addison-Wesley, New York, NY.
- Durand, JNL: 1809, *Précis des leçons d'architecture données à l'École Royale Polytechnique*, Chez l'auteur, Paris, France.
- França, JA: 1983, *Lisboa pombalina e o iluminismo*, Bertrand Editora, Lisboa, Portugal.
- Habraken, NJ: 1988, Type as a social agreement, in *Proceedings of the Asian Congress of Architects*, Seoul, South Korea.
- Habraken, NJ: 1974, *El diseño de soportes*, Gustavo Gili, Barcelona, Spain.
- Kupferberg E: 1974, Gropius Bauhausbauten Dessau, Laszlo Moholy-Nagy, Berlin, Germany.
- Li, AI: 2002, Algorithmic architecture in twelfth-century China: the yingzao fashi, in Rodrigues, F; Williams, K, *Nexus IV: architecture and mathematics*, Kim Williams Books, Fucechio, Italy, pp. 141–150.
- Li, J: 1035-1110. 李誠, 1035-1110. *Ying zao fa shi* / [Li Jie bian xiu]. 營造法式 / [李誠編修]. Beijing: Zhonghua shu ju, 1992. 北京: 中華書局, 1992.
- Pine II, BJ: 1993, *Mass Customization: the new frontier in business competition*, Harvard Business School Press, Boston, MA, USA.
- Simon, H: 1969, *The Sciences of the Artificial*, MIT Press, Cambridge, MA, USA.
- Toffler, A: 1970, *Future Shock*, Random House, New York, NY, USA.
- Toffler, A: 1980, *The Third Wave*, Morrow, New York, NY, USA. Edição Portuguesa: A Terceira Vaga. Lisboa, Livros do Brasil, 1984.
- Turing, A: 1936, *On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem*, in *Proceedings of the London Mathematical Society* 42 (2). Reprinted in *The Undecidable* pp.115-154.
- Womack; Jones; Roos, D: 1990, *The Machine That Changed The World*, Rawson & Associates, Published by Simon & Schuster, New York, NY, USA.