



**Design Paramétrico e consequentes  
paradigmas emergentes**

**Miguel Batista**



# **Design Paramétrico e consequentes paradigmas emergentes**

Miguel Filipe Rodrigues Batista

Versão final após defesa  
Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Design Industrial

Abril 2021



# **Design Paramétrico e consequentes paradigmas emergentes**

**Miguel Filipe Rodrigues Batista**

Versão final após defesa  
Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Design Industrial**  
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Júlio Londrim

**Abril de 2021**







## Agradecimentos:

### *Aos companheiros de viagem...*

Esta dissertação é dedicada a todos aqueles que, das mais diversas formas, acompanharam e contribuíram para a conclusão deste trabalho.

É, em primeiro lugar, dedicada aos meus pais que, com toda a dedicação e sacrifício, são as pessoas que há mais tempo me acompanham nesta viagem. A eles o meu obrigado por me ajudarem a remar mesmo nos momentos de estagnação.

À Hélia por ter embarcado comigo nesta viagem rumo a um destino comum demonstrando que tudo é mais fácil a dois.

É também dedicada ao meu orientador, Professor Júlio Londrim, não só pelo acompanhamento e disponibilidade — mesmo quando este trabalho se pareceu revelar infundável — mas sobretudo pelo interesse demonstrado pelo tema desenvolvido, ajudando frequentemente a atenuar momentos de maior insegurança.

Ao Dr. Mário Barros pela gentileza de facultar a sua tese de doutoramento a qual foi um contributo de extrema relevância para o desenvolvimento desta dissertação.

A todos aqueles que de diferentes formas, contribuíram para a minha formação académica e pessoal, em particular ao Professor Afonso Borges, pela capacidade de notar aspectos\* sobre o meu trabalho que a mim próprio me passaram despercebidos e ao Professor Denis Alves Coelho, pela motivação e por depositar confiança nas minhas capacidades.

Aos meus irmãos e sobrinhas que desde cedo acompanharam o meu trajecto, e aos amigos, quer os de longa data, quer os adquiridos no decurso da vida académica, em especial ao Pedro, Pinheiro e Daniela aos quais peço igualmente desculpa pelas minhas constantes ausências ao longo destes últimos anos.

A todos vós o meu obrigado

---

\* Por opção do autor na redacção do presente documento não são usadas as regras do novo acordo ortográfico.



## Resumo

O design paramétrico é uma metodologia usada para criar mecanismos lógicos que possibilitam derivar variações geométricas e composicionais a partir da mesma ferramenta algorítmica. Nesta dissertação são exploradas as possibilidades trazidas por esta abordagem, nomeadamente ao nível das novas expressões estéticas e aplicacionais (*workflow* e interface), resultantes de uma intensa integração tecnológica e convergência com outras áreas do conhecimento, destacando-se a biomimética. Em simultâneo, são analisadas as implicações desta metodologia em projecto e no sistema produtivo na área do Design. Como tal, analisaram-se também as distintas perspectivas dos vários autores (nas áreas da teoria e prática) tendo sido classificadas diferentes abordagens de trabalho projectual assim com categorizadas três principais posições sobre esta o carácter do design paramétrico.

### **Palavras-chave:**

Design paramétrico, biomimética, convergência, digital design,



## **Abstract**

Parametric design is a methodology used to create logic mechanisms that enables to derive geometrical and compositional variations through the same algorithmic tool. In this dissertation are explored the possibilities brought by this approach, namely in what concerns to new aesthetics and applications (workflow and interface) resulting from an intense technological integration and convergence with different fields of knowledge, particularly Biomimetics. Moreover, the implications of this methodology for the project practice and productive system in the Design domain are analyzed. As such the different views of various authors (from the theoretical and practical realms) were also analyzed, having been classified different approaches to the projectual practice and categorized three main positions in what concerns to the character of parametric design.

### **Keywords:**

Parametric design; biomimetics; convergence, digital design,



# Índice

Introdução .....	1
1 - Paradigmas emergentes no Design .....	7
1.1 - Design paramétrico .....	7
1.1.1 - Em busca de uma definição de design paramétrico .....	13
1.1.1.1 - A origem do termo Paramétrico: da relação com a matemática ao seu surgimento e aplicação no domínio do Design .....	13
1.1.1.2 - Design paramétrico: Uma definição complexa. ....	14
1.1.1.3 - Definição de modelação paramétrica .....	16
1.1.1.4 - Definição de modelo paramétrico.....	17
1.1.1.5 - Definindo design paramétrico .....	19
1.1.1.6 - Design paramétrico e Parametricismo: do método à evocação de um novo estilo de época reflexo da uma civilização desenvolvida tecnologicamente .....	21
1.1.2 - Contexto e História .....	24
1.1.2.1 - Proto-parametrismo ou Parametrismo analógico.....	24
1.1.2.2 - Parametrismo digital .....	29
1.1.3 - Ciências da Computação como base do design paramétrico.....	34
1.1.3.1 - Software.....	34
1.1.3.2 - Software Paramétrico .....	38
1.1.3.3 - Grasshopper® 3D.....	39
1.1.3.4 - Acessibilidade: Lógica intuitiva e libertação do código: .....	42
1.1.3.5 - Primeiras incursões nos sistemas CAD .....	42
1.1.3.6 - SketchPad de Ivan Sutherland .....	43
1.1.3.7 - Primeiros programas de modelação sólida 3D – CATI® e CATIA® .....	44

1.1.3.8 - Computador pessoal e minicomputadores como agentes de democratização dos sistemas CAD .....	45
1.1.3.9 - Software de animação e a exploração de novas possibilidades ...	46
1.1.3.10 - A importância do CAM e da Fabricação Digital .....	49
1.1.3.11 - Considerações finais sobre o impacto das ciências da computação no design paramétrico.....	51
1.1.4 - Principais áreas de Intervenção e Aplicações.....	52
1.1.4.1 - Design paramétrico e a sua relação com as novas tecnologias de fabricação .....	58
1.1.4.2 - Novos métodos produtivos e de fabricação .....	58
1.1.4.3 - Fabricação aditiva vs subtractiva .....	59
1.1.4.4 - Impressão 4D (o que é? Vantagens e Limitações) .....	60
1.1.4.5 - Vantagens e limitações da tecnologia aditiva.....	62
1.1.4.6 - Novos desafios e necessidades para o designer .....	63
1.2 - Biomimética .....	65
1.2.1 - Biomimética ( <i>Biomimicry</i> ): Definição e Abordagem.....	67
1.2.2 - Contexto.....	69
1.2.2.1 - História, origem e evolução.....	69
1.2.2.2 - Distinção entre biomimética, biónica, biofilia e biomorfismo....	72
1.2.2.3 - Posicionamento dentro do design para a sustentabilidade.....	76
1.2.3 - Principais áreas de intervenção e aplicações .....	77
1.2.3.1 - Exemplos de aplicações resultantes de uma abordagem biomimética.....	78
1.2.3.2 - Design bio-inspirado: da reivindicação ao correcto uso dos princípios naturais .....	89
1.2.3.3 - Uma reflexão sobre o impacto da biomimética na prática do design .....	91
2 - O design paramétrico enquanto modelo .....	95
2.1 - Diferentes níveis de parametrização .....	95

2.2 - Impactos de uma abordagem paramétrica para o Design .....	101
2.2.1 - Prós e contras de uma abordagem paramétrica ao design .....	101
2.2.2 - Design paramétrico e as novas possibilidades .....	110
2.2.3 - Limitações do design paramétrico .....	115
2.3 - Correlação entre design paramétrico e biomimética .....	117
2.3.1 - Um lugar comum para a biomimética e o design paramétrico na história do Design .....	118
2.3.2 - A eficiência e a aptidão como medidas universais .....	121
2.3.3 - Material First .....	122
2.3.4 - Convergência: a replicação dos mecanismos da natureza no contexto do design paramétrico .....	123
2.3.5 - Design paramétrico como alavanca da inovação inspirada pela natureza .....	123
2.4 - Problemáticas emergentes .....	126
2.4.1 - Produção em massa vs customização em massa .....	127
2.4.2 - Automação e desumanização do Design .....	128
2.4.3 - O lugar do designer na era do algoritmo e da inteligência artificial .	129
2.5 - Possibilidades para o futuro .....	132
2.5.1 - Da produção em massa à individualização em massa .....	132
2.5.2 - Novos métodos produtivos e de distribuição .....	134
2.5.3 - Materiais avançados .....	137
2.5.4 - Design informado: da <i>BigData</i> à Internet das coisas .....	140
2.5.5 - Evolutive Design: uma abordagem à genética no Design por via de modelos digitais evolutivos .....	146
3 - Conclusão .....	151
3.1 - Not Digital, Not Hadid .....	152
3.2 - Pluralidade .....	153
3.3 - Diferentes perspectivas contextuais .....	158

3.4 - O design paramétrico na era da Convergência .....	160
3.5 - Design paramétrico e tecnologia: Uma relação de (in)dependência .....	162
3.6 - Vantagens e desvantagens da implementação de uma abordagem paramétrica .....	162
3.7 - Perspetivas futuras .....	163
Bibliografia .....	165
Apêndice .....	181
Apêndice 1 .....	183
Apêndice 2 .....	185

## Lista de Figuras

1.1 – Abu Dhabi Performing Arts Center (PAC) .....	7
1.2 – Basílica de Santa Maria Novella .....	8
1.3 – Esquema para criação de coluna .....	9
1.4 – Cobertura para o parque olímpico de Munique .....	10
1.5 – Cesto de papeis “Garbo”, cadeira “Bobject” e cadeira “Infinity” .....	10
1.6 – Cadeira “Lockheed Lounge” .....	11
1.7 – Cadeira “Grown” .....	11
1.8 – Cadeira “Diatom” .....	12
1.9 – “Serac Bench” .....	12
1.10 – Estudos sobre estruturas dos cristais criados por James Dana .....	13
1.11 – “Stadio per il nuoto” .....	14
1.12 – Modelo flexível gerado em Grasshopper .....	17
1.13 – Exemplo de variáveis dependentes e independentes.....	19
1.14 – Exemplos de diferentes formas de algoritmos .....	20
1.15 – Diferentes terminologias usadas no contexto do design paramétrico .....	21
1.16 – Complex Variegated Order via multi-author coherence .....	22
1.17 – Modelos suspensos .....	25
1.18 – Pavilhão da Sicília em Génova .....	25
1.19 – Modelo do Estádio N .....	27
1.20 – Experimentos com membrana da película de sabão .....	28
1.21 – Modelo suspenso da Sagrada Família .....	28
1.22 – Timothy E. Johnson procedendo a uma demonstração do Sketchpad .....	30
1.23 – Cadeira “Ravioli” .....	33
1.24 – Cadernos com esquiços de Ross Lovegrove .....	33
1.25 – Museu Guggenheim de Bilbao .....	35
1.26 – Modelo digital do Museu Guggenheim de Bilbao .....	35
1.27 – Objectos criados por Ron Arad com recurso à tecnologia de impressão 3D.....	35
1.28 – Garrafa de plástico para a marca Tÿ Nant .....	36
1.29 – Diversos elementos da produção da garrafa para a Tÿ Nant .....	36
1.30 – Modelo digital da garrafa de plástico criada para a marca Tÿ Nant .....	36
1.31 – Estrutura do Pavilhão espanhol para a Expo Shanghai .....	37
1.32 – Pavilhão espanhol para a expo Shanghai .....	37
1.33 – Sapatos “Ilabo” .....	39
1.34 – Interface do editor gráfico de algoritmos Grasshopper® 3D .....	40

1.35 – Representação de <i>data flow</i> em Grasshopper® .....	41
1.36 – Node, Link, Input e Output .....	41
1.37 – Ivan Sutherland procedendo a uma demonstração do Sketchpad .....	43
1.38 – CATIA® V1 .....	44
1.39 – Metaball .....	48
1.40 – <i>Embryological House</i> .....	48
1.41 – Bokka Lamp e Kapsule Chair .....	48
1.42 – CATIA® e fresadora controlada numericamente .....	50
1.43 – Cadeira "Osso" .....	52
1.44 – Cadeira "Branca" (Processo de fabrico) .....	53
1.45 – Cadeira "Branca" (Detalhe) .....	53
1.46 – Cadeira "Branca" .....	53
1.47 – Cadeira de rodas "Go" .....	54
1.48 – Cadeira "Diamond" .....	55
1.49 – Centro Pompidou de Metz .....	56
1.50 – Estação de funicular em Hungerburggahn .....	56
1.51 – Metropol Parasol .....	57
1.52 – "Silk Wall" .....	57
1.53 – Blocos e instrumentos usados na construção de "Silk Wall" .....	58
1.54 – The Cube .....	59
1.55 – Fabricação aditiva e fabricação substractiva .....	60
1.56 – "Liquid printed pneumatics" .....	61
1.57 – Transformação de uma estrutura fabricada por impressão 4D .....	61
1.58 – Ortótese .....	63
1.59 – "Anthozoa" .....	63
1.60 – Casa atelier Victor Horta .....	65
1.61 – Cadeira "Tulip" .....	65
1.62 – "Antibodi" .....	66
1.63 – "Algae" .....	66
1.64 – PAX .....	68
1.65 – Turbina eólica WhalePower .....	68
1.66 – Esquissos com estudos para máquinas voadoras .....	69
1.67 – Cristal Palace e Imagem de raio-x de uma folha de nenúfar .....	70
1.68 – Semente de bardana e Estrutura do Velcro .....	71
1.69 – Cascata do Aeroporto Changi .....	73
1.70 – "Wing Armchair" .....	74
1.71 – Bicicleta "Spacelander" .....	74

1.72 – Cadeira “Orgone” .....	74
1.73 – Cadeira “Corolised” .....	75
1.74 – Ralação entre os termos e abordagens do design bio-inspirado .....	75
1.75 – Fragmentação do Design para a sustentabilidade .....	76
1.76 – Pormenor da parte central de um girassol e Ilustração da fórmula de Vogel	79
1.77 – Gemasolar .....	79
1.78 – Comboio bala (Shinkansen) .....	80
1.79 – Detalhe das bordas serrilhadas características das asas de coruja .....	81
1.80 – Pantógrafos do comboio .....	81
1.81 – Guarda-rios e Estudo esquemático do bico do guarda-rios .....	82
1.82 – Eiji Nakatsu junto a uma locomotiva da serie 500 .....	82
1.83 – Dentículos cutâneos do tubarão-limão .....	83
1.84 – Dentículos cutâneos e a micro-textura criada pela Sharklet Technologies .....	83
1.85 – Borboleta Morpho .....	85
1.86 – Micrografias de asas de borboleta .....	85
1.87 – Mirasol E-Reader .....	86
1.88 – Gotículas de água sobre a superfície de uma folha de lótus .....	87
1.89 – Folha de lótus e Micrografia da superfície de uma folha de lótus .....	87
1.90 – “Montreal Biosphere” .....	88
1.91 – Ovo de borboleta Belargus .....	89
1.92 – Speedo LZR swimming suit .....	90
1.93 – Secção transversal de um ninho de térmitas e Eastgate Centre .....	91
2.1 – Fachada responsiva das Al-Bahr Towers .....	98
2.2 – Cadeira “TAMU” .....	98
2.3 – Estrutura dinâmica criada por impressão 4D .....	99
2.4 – “Les objets programmables” .....	100
2.5 – “Vaulted Willow” .....	103
2.6 – “Vaulted Willow” (esquema) .....	103
2.7 – Vigas e uniões do centro Pompidou de Metz criado por Shigeru Ban .....	104
2.8 – Terminal internacional de Waterloo .....	106
2.9 – Modelo paramétrico do terminal internacional de Waterloo .....	106
2.10 – Exemplos de diferentes configurações obtidas parametricamente .....	107
2.11 – Estudos para cadeira desenvolvida pelo ZHA, Altair e a Stratasys .....	107
2.12 – Estratégia de <i>form-finding</i> estrutural com base em CAE .....	108
2.13 – Cadeira impressa com tecnologia de fabricação 3D com multimateriais .....	108
2.14 – Cadeira desenvolvida pelo Grupo de investigação Zaha Hadid CO DE .....	109

2.15 – “Beast” .....	112
2.16 – “BioLogic” .....	112
2.17 – Protótipo para motor de foguete .....	114
2.18 – “This Fits Me” .....	115
2.19 – Comparação entre a estruturas geodésicas .....	117
2.20 – Raízes de árvore vs calçada .....	118
2.21 – Cobertura do Palazzetto dello Sport e raio-x de uma folha de nenúfar .....	119
2.22 – Michael Pawlyn e Mesa de apoio .....	121
2.23 – “Calgat (Can a Lily Grow a Telephone)” .....	125
2.24 – Intersecção ou convergência entre design paramétrico e biomimética.....	126
2.25 – Edifício construído por fabricação aditiva .....	135
2.26 – Bioprinting .....	135
2.27 – “Gemini” .....	139
2.28 – “Swarm Bridge” .....	143
2.29 – “Living Kitchen - The Future of Matter” .....	145

## Lista de Tabelas

3.1 – Diferentes formas de implementação de estratégias paramétricas ao longo da história e influência da tecnologia na criação de objectos paramétricos, suas propriedades e capacidades.....	153
--	-----



## **Lista de Acrónimos**

ABS – Acrilonitrila butadieno estireno

AI – Artificial Intelligence

API – Application programming interface

BIM – Building information modeling

CAD – Computer-aided design

CAE – Computer-aided engineering

CAM – Computer-aided manufacturing

FEA – Finite element analysis

IoT – Internet of things

OOP – Object-oriented programming

PLA – Polylactic acid

PTC – Parametric Technology Corporation

SLS – Selective Laser Sintering

VPF – Variable property fabrication

ZHA – Zaha Hadid Architects



## Introdução

Desde a década de 50 do século XX, o surgimento e desenvolvimento de novos campos do conhecimento contribuiu para a produção de um significativo corpo teórico e tecnológico que, no Design, estimulou novas abordagens e permitiu explorar diferentes soluções aplicacionais e linguagens estéticas fortemente alicerçadas nas novas ferramentas da técnica<sup>1</sup>.

O surgimento dos equipamentos informáticos e um entendimento mais robusto sobre os processos naturais, complementado por uma maior aptidão para os replicar, surgem como conquistas que ajudaram a alicerçar novas formas de interpelar o Design em diversas disciplinas, entre as quais o design industrial e a arquitectura.

No presente, alavancadas pelos recursos do novo milénio, vertentes como o design paramétrico e a biomimética ganham visibilidade graças aos trabalhos icónicos produzidos nas últimas décadas e ao progresso tecnológico que propiciou o desenvolvimento das ferramentas fundamentais à sua concretização. Ainda assim, embora promissoras, estas abordagens permanecem pouco exploradas, mantendo-se limitadas a um nicho de especialistas que frequentemente se encontram integrados em núcleos de investigação e desenvolvimento no seio da academia. Consequentemente, para o Design, e sobretudo para os profissionais do sector externos a esses círculos, estas vertentes assumem inevitavelmente um carácter de novidade.

Posicionando-se no que pode ser descrito como uma zona limítrofe de acção, na qual são produzidos novos conhecimentos e conceitos pioneiros são explorados — muitos dos quais numa fase embrionária de desenvolvimento — estas detêm um potencial transformador sobre o Design e os métodos convencionais usados no projecto e produção de produtos de carácter industrial.

O design paramétrico assume-se como um potencial factor de desenvolvimento dessa transformação permitindo colocar termo a um paradigma produtivo ultrapassado marcado pela produção em massa e impessoal de artefactos, implantando no seu lugar um novo modelo caracterizado pela customização em massa, permitindo a produção industrializada de produtos individualizados. Esta vertente reflecte como a tecnologia vem progressivamente a introduzir modificações de carácter permanente no Design e na sua

---

<sup>1</sup> Segundo Lewis Mumford (2001, p. 19), “a técnica começou quando o homem usou pela primeira vez os dedos como tenazes ou uma pedra como projectil...ela radica-se na utilização que o homem faz do seu próprio corpo”. Não obstante, Mumford acrescenta que o homem tem vindo a desenvolver as suas habilidades técnicas, algo notório principalmente nos últimos dois séculos, alargando o alcance e a potência de muitas das suas aptidões orgânicas, algo para o qual a máquina contribuiu.

prática (Bürdek, 2015, pp. 254-5), mas também ao papel do designer que, em razão da crescente complexidade e especialização originada nesse processo, deixou, segundo Bürdek (2015, p. 243), “de ser inventor de produtos para passar a ser intérprete de novas tecnologias”.

“Thus it is clear that increasing complexity and specialization leave designers no longer the inventors of products, but the interpreters or visualizers of new technologies.”

**Bürdek, 2015**

No entanto, se anteriormente foi a microelectrónica e a tecnologia de CAD-CAM<sup>2</sup> a assumir um papel determinante nesta transformação, actualmente são campos como a ciência dos materiais, inteligência artificial (AI) ou a biomimética que emergem como potenciais agentes de mudança, prometendo uma vez mais introduzir significativas alterações ao Design e à sua prática.

---

<sup>2</sup> O rápido desenvolvimento da microelectrónica na década de 90 (Bürdek, 2015, pp. 254-5) assim como o surgimento do CAD-CAM — que permitiu integrar as fases de projecto e produção, encurtando o intervalo de tempo entre ambas — tiveram um efeito catalisador neste processo de transformação. Em diversos campos, estas tecnologias estabeleceram a base instrumental que impulsionou a inovação e permitiu concretizar ideias e conceitos de uma sofisticação inédita, particularmente, quando novas ferramentas como *Computer Aided Simulation* ou *Digital Construction* se juntaram à equação.

## **Objectivos**

O âmago desta dissertação prende-se com a exploração de um novo paradigma, o design paramétrico e sua dimensão convergente com a biomimética, visando a sua definição e contextualização, assim como a assimilação de conceitos inerentes ao seu domínio e exercício para, em seguida, indagar sobre as implicações destas vertentes no Design e sua prática, nomeadamente:

- Quais os novos desafios e necessidades para esta disciplina projectual, assim como para os profissionais que a integram;
- Que possibilidades — presentes e futuras — resultam tanto de uma metodologia paramétrica aplicada ao design, como da conjugação desta com outros campos do conhecimento;
- Quais as problemáticas que emergem da aplicação de conceitos inerentes a estas vertentes;
- Como os conceitos introduzidos por estas abordagens e as transformações por estas induzidas se reflectem nos artefactos industriais;
- Quais os pontos comuns que ligam o design paramétrico e a biomimética;

Além do mais, pretende-se compreender como o progresso tecnológico contribuiu para o desenvolvimento destas vertentes, em especial os dispositivos informáticos, software e equipamentos de fabricação.

## **Metodologia**

Para atingir os objectivos estabelecidos, procedeu-se à recolha e revisão da literatura seguida de uma selecção dos conteúdos considerados relevantes para a linha condutora desta dissertação, tendo em vista a obtenção de uma visão contextualizada sobre as temáticas tratadas, bem como a identificação das posições mais proeminentes, seus autores e, dentro destas, pontos comuns e divergentes. Este exercício foi complementado pelo levantamento, análise e interpretação de exemplos de metodologias, estratégias e projectos — concretizados ou em diversos estágios de desenvolvimento — inseridos no contexto de cada uma destas vertentes ou resultantes da sua confluência.

Teoria e casos práticos foram analisados paralelamente permitindo que a capacidade ilustrativa dos artefactos e técnicas — concretos ou hipotéticos — contribuísse para a obtenção

de um entendimento efectivo de conceitos teóricos próprios de cada abordagem. O cruzamento e análise comparativa dos conteúdos reunidos, permitiu identificar aspectos comuns a ambas as temáticas, viabilizando a discussão e reflexão acerca das implicações que estas vertentes acarretam para o Design, seus profissionais e para a esfera dos artefactos.

## **Estrutura**

Esta dissertação está estruturada em três capítulos. O primeiro capítulo é dedicado aos conceitos de design paramétrico e biomimética, o segundo capítulo aborda as possibilidades, limitações e consequências no Design, e, o terceiro capítulo é reservado às conclusões.

O primeiro capítulo compõe o enquadramento teórico e foi dividido em dois temas: design paramétrico e biomimética focando aspectos relacionados com a sua definição, história, evolução, assim como, áreas de intervenção e aplicação.

Relativamente ao design paramétrico o texto encontra-se dividido em quatro secções:

- A primeira secção é dedicada a definir e distinguir conceitos centrais referentes ao tema, entre os quais: design paramétrico, modelo paramétrico e modelação paramétrica segundo definições avançadas por Daniel Davis (2013a), Mário Barros (2015) e Robert Woodbury (2010).
- A segunda secção aborda o contexto histórico desta vertente, focando as suas fases analógica e digital, assim como figuras pioneiras, projectos e diferentes técnicas implementadas que configuram estratégias paramétricas.
- A terceira e quarta secções tratam o contexto tecnológico e fazem referência às principais tecnologias conotadas à implementação de estratégias paramétricas e concretização de projectos. Na terceira secção, aborda-se o surgimento e evolução dos equipamentos informáticos e do software rumo a uma conjuntura de acessibilidade tanto económica, como ao nível de uma utilização mais intuitiva, sendo a quarta secção dedicada às tecnologias de fabricação.

Relativamente à biomimética, o texto encontra-se dividido em três secções:

- A primeira secção trata de definir o termo biomimética e sua abordagem relativamente ao Design reunindo os contributos de Benyus (1997), Wahl (2006) e Vincent (2009; 2014).

- A segunda secção foca a história, evolução e posicionamento deste campo, bem como a sua especificidade em relação a temas aparentemente similares.
- A terceira secção explora as áreas de intervenção, acção e implementação desta disciplina recorrendo a exemplos de casos práticos.

O segundo capítulo da dissertação compõe a discussão crítica elaborada a partir da análise à literatura paralelamente com o que mais recente e actual existe nestes campos.

Este foi dividido em cinco secções:

- Na primeira secção são identificados diferentes níveis de parametrização através de uma análise comparativa entre objectos classificados segundo as suas propriedades.
- A segunda secção aborda as implicações da metodologia paramétrica no Design expondo os prós e contras associados à sua implementação, as possibilidades emergentes desta vertente e da sua confluência com outros campos, mas também as limitações que lhe são inerentes.
- Na terceira secção explora-se a correlação entre design paramétrico e biomimética partindo da análise de casos práticos para encontrar pontos comuns e interdependências.
- A quarta secção trata das problemáticas emergentes.
- A quinta secção foca as possibilidades futuras resultantes da integração de novas tecnologias na prática do design paramétrico e decorrentes das sinergias com outros campos do conhecimento.

No terceiro capítulo são expostas as principais conclusões decorrentes da investigação desenvolvida. Estas constituem uma reflexão crítica resultante tanto do estudo da literatura existente sobre as temáticas, análise e cruzamento de opiniões de diversos autores fluentes nos temas, como da avaliação de casos aplicacionais realizados quer no âmbito do design paramétrico, como no âmbito da biomimética ou ainda resultantes da intersecção de ambas as abordagens.



# 1 - Paradigmas emergentes no Design

O desenvolvimento da técnica facultou novos instrumentos que no domínio do Design permitiram explorar novas abordagens resultantes de uma convergência com outros campos do conhecimento. O design paramétrico e a biomimética são duas vertentes que através de uma integração de tecnologias e conhecimentos de distintos campos, procuram derivar soluções inovadoras mediante a implementação de estratégias e métodos alternativos aos comumente adoptados na prática projectual em Design.

## 1.1 - Design paramétrico

De (A)lberti a (Z)aha Hadid

Formas orgânicas, linhas curvas, superfícies irregulares, são algumas das características comumente associadas ao design paramétrico. Porém, será a atracção por esta linguagem estética suficiente para descrever esta abordagem ou, por outro lado, estamos perante uma visão redutora que, como frequentemente apontado, tende a descrever apenas uma preferência estilística de determinadas individualidades dos campos da arquitectura e Design, como é exemplo a arquitecta e designer iraquiana Zaha Hadid (Gage, 2016, pp. 128-33)?

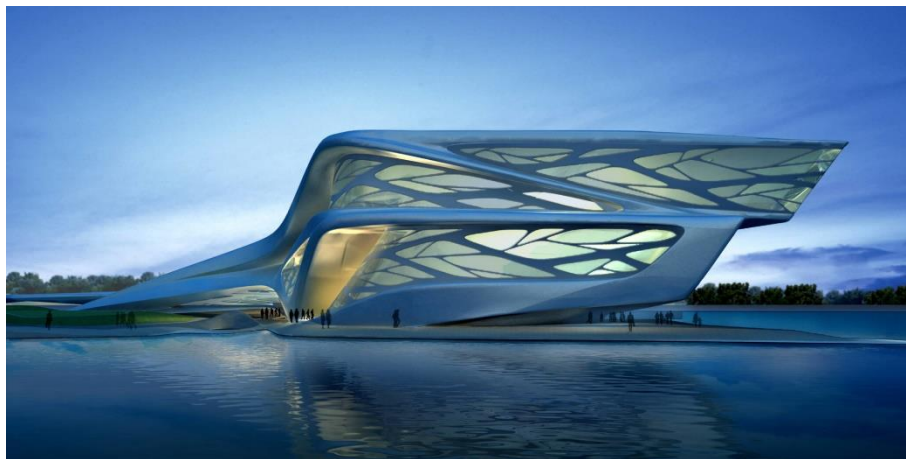


Figura 1.1 – Abu Dhabi Performing Arts Center (PAC). Zaha Hadid, Emirados Árabes Unidos, 2007 (Zaha Hadid Architects, s.d.)

Zaha Hadid, que adoptou a fluidez das superfícies e a irregularidade da forma como a sua linguagem e imagem de marca (Figura 1.1), foi em parte responsável pela ascensão do design paramétrico no fim do século XX e princípios do século XXI (Gage, 2016, pp. 130-1). Da mesma forma, a notoriedade alcançada pela sua obra fez despertar o interesse por esta abordagem que na actualidade ganha cada vez mais seguidores.

Porém, a relevância que o nome de Zaha Hadid adquiriu no contexto desta vertente não deve conduzir à noção errónea que o design paramétrico foi criado por Hadid, ou, tão pouco, que o mesmo se limita à sua obra. Factualmente a carreira de Hadid foi prolifera criativamente, tendo a arquitecta iraquiana marcado a cena do Design e arquitectura contemporânea. Com um acervo vasto, que inclui desde edifícios a mobiliário ou peças de uso pessoal, Zaha Hadid contribuiu significativamente para que esta abordagem alcançasse uma posição de notoriedade. Todavia, uma abordagem paramétrica ao design precede Hadid e, portanto, não é descabido afirmar que a importância do contributo da arquitecta iraquiana para o design paramétrico deve-se principalmente ao facto desta o ter ajudado a evidenciar, segundo Mark Foster Gage (2016, pp. 130-31), “com um sentido de *timing* perfeito”.

Sobre o tema do design paramétrico, no entanto, é possível recuar até ao século XV e partir dos manuscritos deixados por Leon Battista Alberti (Figura 1.2) nos quais o arquitecto renascentista descreveu em detalhe regras sobre proporções e empilhamentos de módulos para a construção de colunas clássicas (Figura 1.3) (Carpo, 2016, p. 28; Gage, 2016, p. 130)<sup>3</sup>.

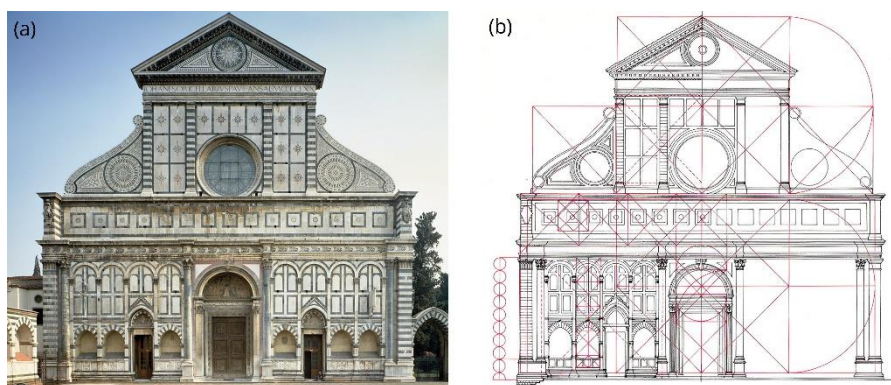


Figura 1.2 – Basílica de Santa Maria Novella. Leon Battista Alberti, Florença, Itália, 1470  
(a) Fachada frontal (Bencini, s.d.); (b) Proporções geométricas (design milk, 2017)

À mediada que nos aproximamos do século XX surgem exemplos como António Gaudí e Frei Otto (figura 1.4) que, na opinião de Mark Burry (2016, pp. 30-5), são figuras pioneiras no que diz respeito à implementação de uma lógica paramétrica. A estes, reúne-se Luigi Moretti, arquitecto italiano que ainda na década de 40 do mesmo século se referiu explicitamente à sua obra como paramétrica<sup>4</sup> (Frazer, 2016, p. 19)<sup>5</sup>.

<sup>3</sup> Seguindo a mesma lógica é igualmente possível fazer referência a Vitruvius e à sua obra “Dez Livros sobre a Arquitectura” datada do século I a.C que, segundo Mark Foster Gage (2016, p. 130), conjuntamente com a obra de Alberti, representa um manual de receitas de cariz algorítmico.

<sup>4</sup> Embora Gaudí ou Frei Otto, sejam frequentemente referidos como precursores de uma abordagem paramétrica, Luigi Moretti destaca-se pelo facto de surgir como a primeira figura a classificar o seu trabalho como tal, sendo que nos casos de Gaudí e Frei Otto o carácter paramétrico atribuído à sua obra resulta de uma análise à posteriori elaborada por terceiros e, em alguns casos, questionável (Frazer, 2016, p. 19).

<sup>5</sup> Sublinha-se o facto de, até este ponto, se ter apenas feito referência a nomes ligados à arquitectura e anteriores à era digital. Avançando cronologicamente é possível observar o uso de uma abordagem paramétrica aplicada

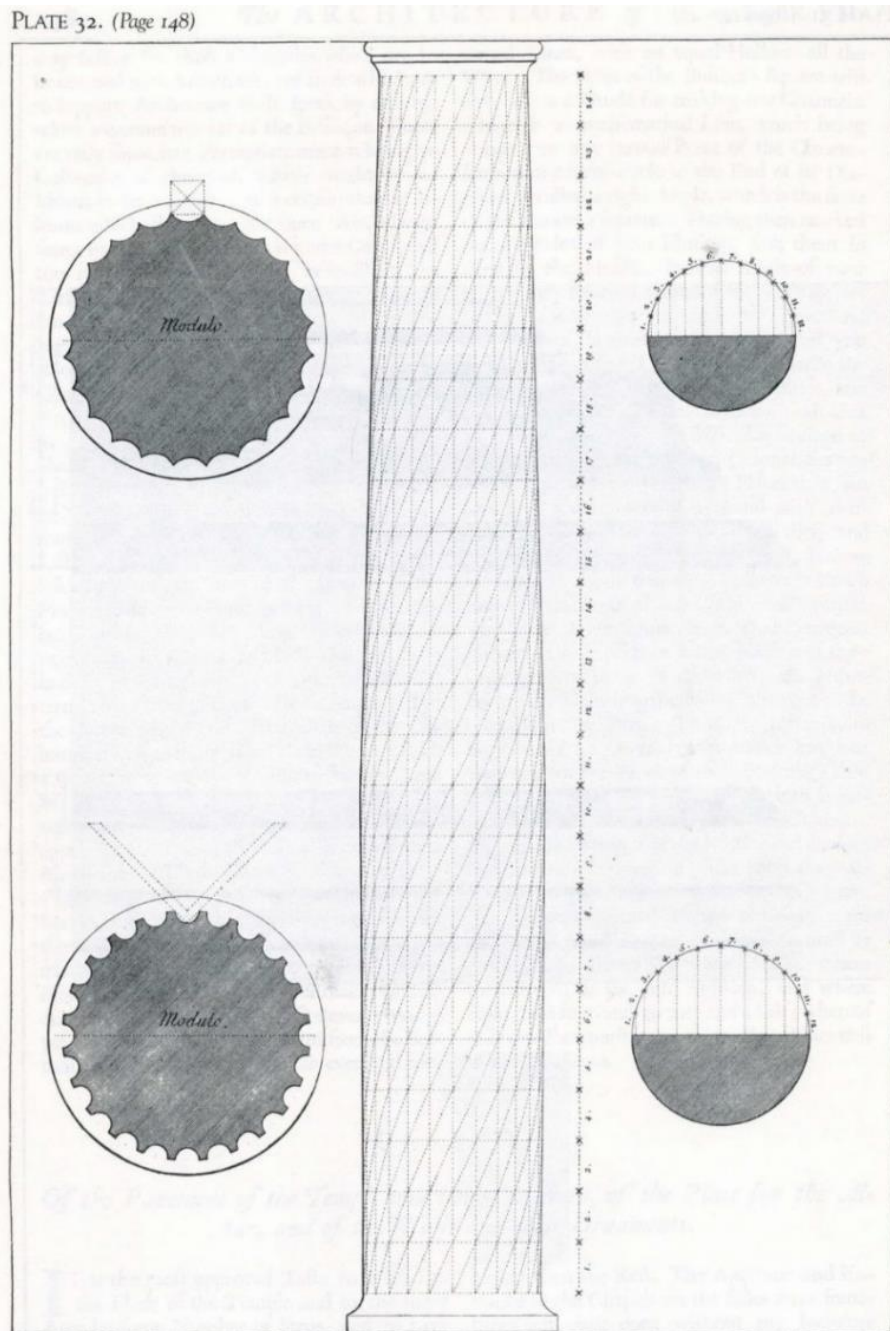


Figura 1.3 – Esquema para desenho de uma coluna clássica com base nos textos de cariz algorítmico escritos por Alberti no seu tratado de arquitectura *De Re Aedificatoria* (A arte de construir) em 1452. Imagem retirada de “The Ten Books of Architecture: The 1755 Leoni Edition” (Alberti, Bartoli, & Leoni, 1986)

ao Design. Neste ponto, e antes de prosseguir, é importante alertar para dois aspectos: Primeiro, frisar o surgimento do design Paramétrico no campo da arquitectura como um facto incontornável. E, em seguida, referir que traçar uma linha divisória nítida que separe a arquitectura do Design não faz parte dos objectivos desta dissertação sendo, neste contexto, a arquitectura considerada como uma forma de Design, uma abordagem igualmente usada por Schumacher em *Design as Second Nature* (2018).



Figura 1.4 - Cobertura para o parque olímpico de Munique. Frei Otto, 1972. (Campbell-Dollaghan, 2015)

É, contudo, na era digital que o design paramétrico encontra o médium ideal para se exprimir. O surgimento dos primeiros sistemas informáticos e programas de modelação tridimensional, emergiram como ferramentas inovadoras. Nestas novas ferramentas, muitos designers viram novas possibilidades com potencial criativo que viriam a resultar em muitos dos objectos que marcaram o panorama do Design no final do século XX e início do século XXI.

Talvez seja Karim Rashid, designer que juntamente com Greg Lynn surge como um dos nomes ligados à criação do Blobismo, quem primeiro soube tirar proveito do potencial dos programas de modelação tridimensional para fins criativos (Waters, 2003, pp. 8-11). Estes novos recursos foram o suporte da linguagem estilística corajosamente expressiva e pouco racional que compõe muitos dos objectos de formas inusitadas que celebrizaram Rashid. Para tal o designer recorreu a programas de modelação oriundos das áreas da animação e efeitos especiais (ibid). Do processo experimental realizado pelo designer egípcio, surgiram objectos como o icónico “Garbo” de 1996 ou as cadeiras Blobject de 1999 e Infinity de 2004 (Figura 1.5).

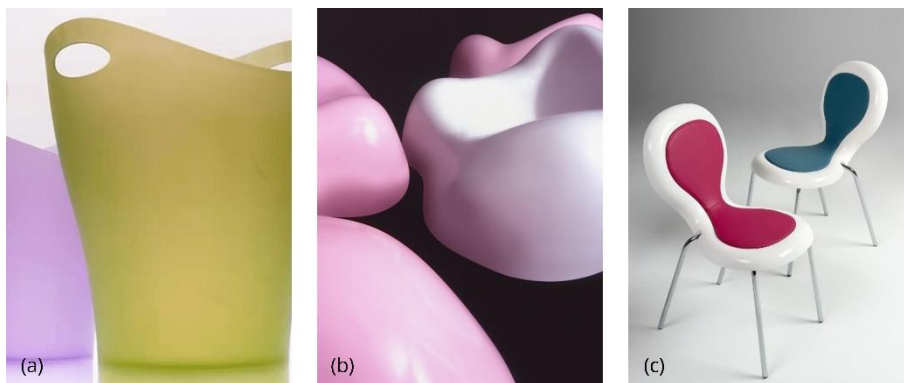


Figura 1.5 - (a) “Garbo” para Umbra, 1996 (Core Magazines, 2019), (b) cadeira “Blobject”, 1999 (Blobject Chair, s.d.) e (c) cadeira “infinity” para Label, 2004 (Rashid, s.d.) de Karim Rashid

É igualmente a estética blobista que define muitos dos trabalhos mais célebres do designer australiano Marc Newson<sup>6</sup> (Figura 1.6). Newson (2008), que refere que muito do seu processo de trabalho passa ainda pelo esquisso e pelos suportes analógicos, não dispensa, contudo, os modelos digitais e o recurso à tecnologia de prototipagem rápida para muitos dos seus projectos mais recentes como é exemplo a cadeira “Grown” (Figura 1.7).



Figura 1.6 – “Lockheed” *Lounge chair*. Marc Newson, 1988 (Newson, Lockheed Lounge, s.d.)

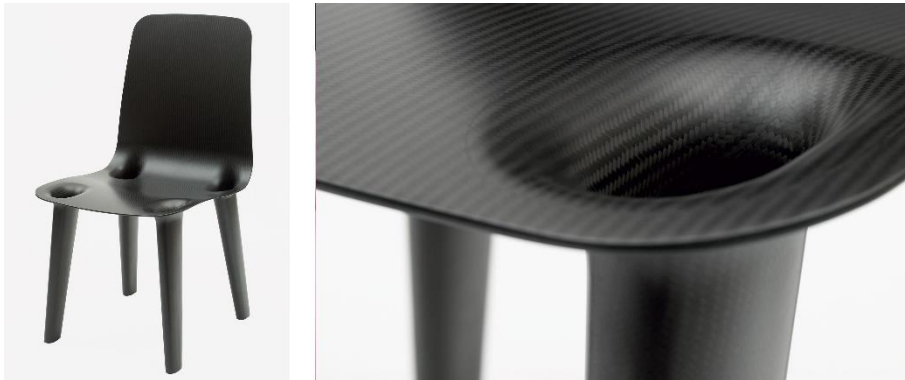


Figura 1.7 – “Grown” *carbon fiber chair*. Marc Newson, 2008. (Newson, Carbon fiber chair, s.d.)

Aos nomes já referidos é possível fazer ainda referência a Ross Lovegrove, designer sobejamente conhecido pelos seus objectos de superfícies fluidas e orgânicas. Lovegrove (2016, p. 103) vê no design paramétrico uma ferramenta de optimização cujas potencialidades traduz em objectos como a sua cadeira “Diatom” criada para a Moroso (Figura 1.8).

---

<sup>6</sup> Embora alguns dos trabalhos mais precoces que celebrizaram Newson, como a icónica Lockheed Lounge (Figura 1.6), apresentem uma estética blobista, a sua produção não envolveu modelação digital ou técnicas avançadas de fabricação. No caso específico da “Lockheed”, Newson (2008) refere que o processo produtivo envolveu um intenso trabalho manual com recurso a técnicas como a produção de um molde em poliestireno esculpido à mão, e a posterior manipulação da chapa por via de um processo igualmente manual.



Figura 1.8 - Cadeira “Diatom”. Ross Lovegrove para a Moroso, 2014. (designboom, 2014)

Não obstante, pela exuberância das formas por si criadas, não podemos ignorar que foi definitivamente com Zaha Hadid que o design paramétrico ganhou visibilidade. Não só através dos seus projectos de arquitectura, mas igualmente dos objectos de Design da sua autoria (Figura 1.9) alicerçados na linguagem digital do século XXI (Gage, 2016, p. 131).

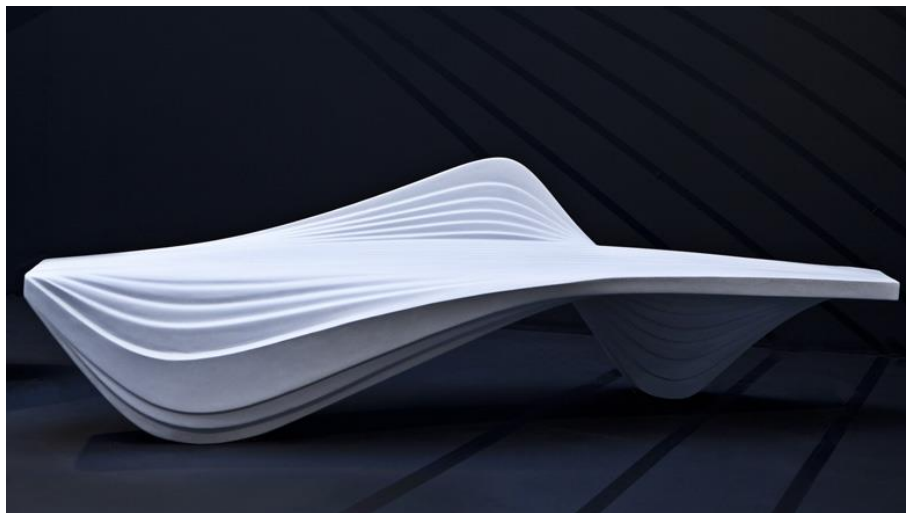


Figura 1.9 – “Serac Bench”. Zaha Hadid para Lab23 (Dezzen, 2013)

Aqui chegados, a apresentação de exemplos visuais e nomes sonantes conotados com esta vertente, embora sirva o propósito de ilustrar o tema, é insuficiente, sobretudo quando se procura responder a questões fundamentais, como a história ou origem desta abordagem no Design, ou avançar uma definição de design paramétrico. Questões centrais que até agora não foram abordadas.

### 1.1.1 - Em busca de uma definição de design paramétrico

#### 1.1.1.1 - A origem do termo Paramétrico: da relação com a matemática ao seu surgimento e aplicação no domínio do Design

A palavra paramétrico está incontestavelmente ligada à matemática. Esta noção consensual é descrita quer por Davis (2013a, p. 18), quer por Mário Carpo (2016, p. 26) quando este último afirma que “o parametrismo nasceu na página 26 do livro *The Fold* de Gilles Deleuze”. Da mesma forma, a existência desta relação pode ser corroborada quando Robert Woodbury (2010, p. 5) traz para o domínio do design paramétrico a notação matemática. No entanto, esse é um consenso que não se estende ao surgimento do termo “paramétrico” no domínio do Design, facto que levou Daniel Davis a aprofundar a sua pesquisa procurando datar a primeira vez que o termo foi aplicado no contexto desta disciplina ou áreas análogas.

Na sua tese, Davis (2013a, pp. 19-21) faz referência ao trabalho de James Dana, datado de 1837, no qual Dana descreve passo a passo, e recorrendo a uma linguagem ligada por parâmetros, variáveis e rácios, o processo que permite desenhar uma série de estruturas de cristais (Figura 1.10). Davis (2013a, p. 21) alerta, contudo, para o facto de Dana nunca ter descrito os seus desenhos como paramétricos fazendo uso deste termo apenas no seu sentido matemático<sup>7</sup>. Não obstante, com base na sua pesquisa conclui que o trabalho de James Dana surge como o exemplo mais antigo da aplicação do termo “paramétrico” no contexto do desenho (ibid, p. 19).

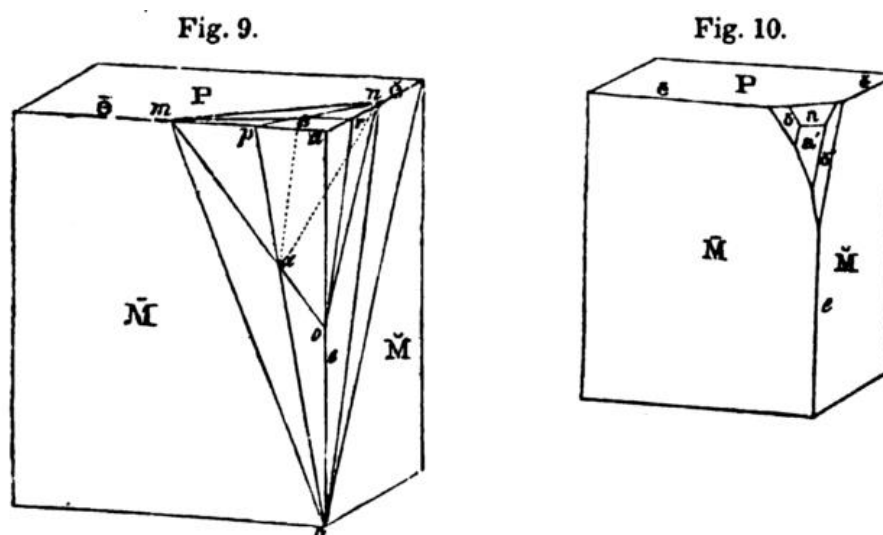


Figura 1.10 - Estudos sobre estruturas dos cristais criados por James Dana mostrando o impacto da alteração da taxa de chanfro das arestas (Davis, 2013b)

<sup>7</sup> “Em matemática, “paramétrico” significa uma serie de equações que expressa um conjunto de quantidades como funções explícitas de um número de variáveis independentes conhecidas como parâmetros” ou resumidamente, um conjunto de quantidades expressas como uma função explícita de um número de parâmetros (Davis, 2013a, p. 21).

Ao exemplo de James Dana, Davis reúne Maurice Ruiters, apontado como o primeiro autor a aplicar o termo “paramétrico” num artigo da sua autoria denominado *Parametric Design*<sup>8</sup> em 1988<sup>9</sup> (Davis, 2013a, p. 18). No entanto, talvez seja Luigi Moretti (Figura 1.11) a surgir como um exemplo sólido da aplicação do termo paramétrico no contexto do Design. Frequentemente referenciado por diversos autores, esta é, adicionalmente, uma tese defendida por Robert Stiles (ibid).

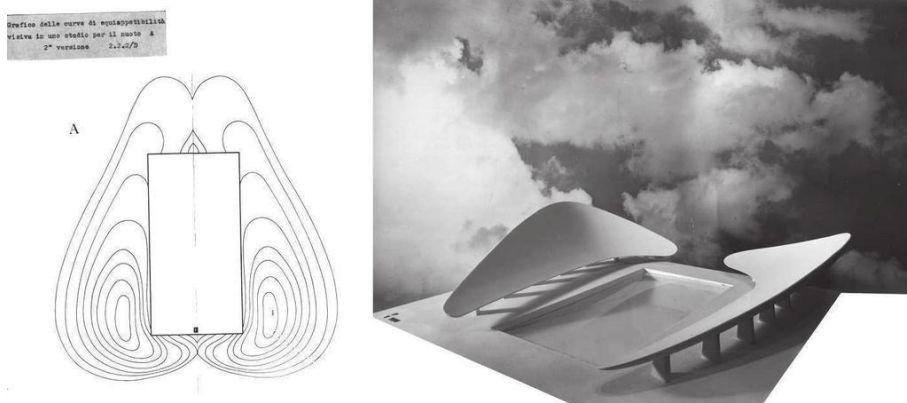


Figura 1.11 - "Stadio per il nuoto" (estádio de natação). Luigi Moretti (Viati Navone, 2012)

Moretti (Davis, 2013a, p. 18), que ainda na década de 40 do século XX escreveu exhaustivamente sobre arquitetura paramétrica, descrevendo esta abordagem como o estudo dos sistemas arquitectónicos com o objectivo de “definir as relações entre as dimensões dependentes dos vários parâmetros”, não hesitou igualmente em aplicar o termo paramétrico à sua obra. Facto que Davis (2013a, pp. 17-8) sustenta dando como exemplo o “Stadium N” cuja forma, segundo Moretti, deriva de 19 parâmetros distintos que incluem aspectos diversos como ângulos de visão ou os custos relacionados ao betão.

#### 1.1.1.2 - Design paramétrico: Uma definição complexa.

Definir o design paramétrico é uma tarefa complexa. Esta afirmação encontra o seu fundamento na opinião da maioria dos autores que abordam o tema. São disso exemplo Helen Castle (2016, p. 5) que frisa essa complexidade logo nas primeiras linhas da nota introdutória de *Parametrisim 2.0: Rethinking Architecture's Agenda for the 21st*

---

<sup>8</sup> Davis (2013a, p. 18), em nota de rodapé, refere que, consultando a fonte referida por Gerber “Advances in Computer Graphics III” (1988), não encontrou qualquer artigo intitulado “Parametric Design” assim como qualquer artigo escrito por Ruiters acrescentando que este teria sido apenas o editor do livro.

<sup>9</sup> Será igualmente o ano de 1988 de lançamento do ProEngineer, criado pela Parametric Technology Corporation (PTC), considerado por muitos o primeiro software de modelação paramétrica comercial a ser bem-sucedido (Davis, 2013a, p. 18; Brunelli, 2014). Sobre a data de lançamento deste Software, Marian Bozdok (2003) faz referência ao ano de 1989, não obstante, considerando que a data que consta no site da PTC é 1988, será essa a data considerada.

*Century*<sup>10</sup>, ou Daniel Davis (2013a), que dedica grande parte da sua tese a elaborar uma análise crítica das definições de design paramétrico avançadas por diversos autores.

Desta análise, Davis (2013a, p. 15) conclui que, na maioria dos casos, estas definições baseiam-se unicamente no que o design paramétrico faz ou nos resultados alcançados por via do mesmo. Logo, definições que para Davis surgem como insuficientes e pouco esclarecedoras não contribuindo para um entendimento do que é o design paramétrico e, muito menos, para justificar o proclamado carácter distintivo desta abordagem<sup>11</sup>. Davis (2013a, p. 14) acrescenta que, dada a controvérsia em torno desta definição, com frequência o termo paramétrico é intencionalmente substituído por termos como *associative geometry*, *scripting*, *flexible modelling* ou *algorithmic design*.

Contribuindo para uma compreensão ainda menos clara sobre o tema, somam-se factos como a utilização indiferenciada dos termos modelação paramétrica, modelo paramétrico ou design paramétrico<sup>12</sup> (Barros, 2015, p. 70), ou ainda a presunção de que a simples utilização de parâmetros surge como argumento suficiente para definir qualquer abordagem como paramétrica<sup>13</sup>, um ponto de vista igualmente criticado por Davis (2013a, pp. 23-4).

Diante do exposto, torna-se imperativo definir cada um destes termos a fim de traçar uma distinção entre os mesmos, o seu propósito e aplicação. Não obstante, e à semelhança da definição de design paramétrico, também a definição destes termos surge como complexa.

---

<sup>10</sup> Título do volume 86 da publicação *Architectural Design* dedicada ao tema do design paramétrico.

<sup>11</sup> Davis (2013a, p. 25) refere que múltiplos autores definem design paramétrico e os seus modelos com base na sua aptidão para acomodar alterações pelo facto de esta ser uma característica facilmente identificável. Todavia, Davis (2013a, pp. 24-5) critica esta definição simplista referindo que praticamente tudo à nossa volta pode, em maior ou menor grau, receber alterações. Segundo Davis (2013a, pp. 24-5), ao privilegiar esta característica, uma vez mais os autores definem o tema com base no que este pode fazer, uma definição behaviorista, sem considerar as qualidades únicas de como os modelos paramétricos são criados.

<sup>12</sup> Note-se que, design paramétrico define uma forma de pensar que assume um carácter metodológico em relação ao Design. Por outro lado, modelação paramétrica diz respeito à técnica ou conjunto de técnicas que definem um modelo paramétrico, este último que podemos definir então como o resultado (Barros, 2015, p. 72).

<sup>13</sup> Uma vez mais Daniel Davis (2013a, pp. 23-4) refere que esta visão generalista leva muitos autores a afirmar que todo o design é paramétrico, argumentado que, de alguma forma, todo o design deriva de parâmetros. Todavia, segundo Davis (2013a, p. 24), na maioria dos casos, estes autores partem de uma visão alargada do que é um parâmetro, considerando, aspectos como orçamentos, localização ou propriedades dos materiais. Não obstante, importa referir que académicos como Achim Menges desenvolve grande parte do seu trabalho em torno das propriedades dos materiais, as quais considera como parâmetros, afirmando, que os materiais possuem propriedades computacionais. Da mesma forma outros autores consideram que a localização surge, como um parâmetro a ser levado em conta no projecto. São disso exemplo Philip Yuan em “Parametric Regionalism” (2016) ou Enriqueta Llabres e Eduardo Rico em “Relational Urban Models: Parameters, values and tacit forms of algorithms” (2016). Porém, Davis (2013a, p. 24), pretende apontar para a ambiguidade existente na relação entre parâmetros e resultados obtidos, assim como para a falta de uma relação explícita de causa – efeito. Davis (ibid) refere que ao interpretarem paramétrico literalmente como design derivado de parâmetros, estes autores desvalorizam a importância das relações explícitas – definida pelo autor como uma função onde o valor de saída é dado explicitamente em termos de variáveis independentes (Davis, 2013a, p. 21) – para a modelação paramétrica.

### 1.1.1.3 - Definição de modelação paramétrica

Em *Elements of Parametric Design*, Robert Woodbury dedica um capítulo sob o título “*What is Parametric modelling*”. Neste, Woodbury (2010, p. 11) parte do *médium* arquétipo do Design: o papel, o lápis e borracha, para expor o que a modelação paramétrica traz de novo, frisando que “o trabalho do designer sempre foi feito com recurso à adição e subtracção de marcações<sup>14</sup> relacionas entre si por via de convenções”. Woodbury (ibid), conclui assim que “os sistemas tradicionais utilizados no sector do Design são emulações directas deste método de trabalho secular”. Porém, a modelação paramétrica — também definida por Woodbury como *constraint modeling* — vem, segundo este autor, trazer uma mudança fundamental: a introdução de “marks” que Woodbury descreve como componentes de um determinado modelo de design, relacionadas entre si, e que se alteram conjuntamente de forma coordenada (ibid).

Todavia, Woodbury nunca chega a responder de forma directa à questão que serve de título ao capítulo do seu livro, aspecto notado por Daniel Davis (2013a, p. 15) para quem uma definição de modelação paramétrica é particularmente relevante. Relevância que fica clara quando Davis (2013a, p. 18) refere que “definir o que é a modelação paramétrica e o que a torna algo única, é um primeiro e importante passo para identificar os desafios idiossincráticos que os modelos paramétricos apresentam”.

Davis (2013a, p. 15) refere que, muitas das definições de modelação paramétrica tendem, a privilegiar o que os modelos paramétricos fazem, quer em termos de comportamento, quer em termos de resultados. Sendo que, no entanto, é o facto de como os modelos paramétricos o chegam a ser — ou seja, pela construção e manutenção de relações — que, para Davis (2013a, p. 18), distingue a modelação paramétrica de outras formas de representação. Uma posição nitidamente partilhada por Mário Barros (2015, p. 70) e colocada em evidência quando este último, referindo-se também ás diferentes terminologias usadas para fazer referência ao design paramétrico — frequentemente de forma indiscriminada —, expõem que, em todo o caso, os diversos termos têm como intuito descrever o processo de definir e editar relações em modelos paramétricos com o recurso a técnicas de CAD<sup>15</sup>. De forma sintética, Barros (2015, p. 72) descreve então modelação paramétrica como o conjunto de técnicas de CAD que definem um modelo paramétrico. Porém, também sobre esta terminologia recaem as mesmas indefinições.

---

<sup>14</sup> Woodbury usa o termo “marks” (marcações) neste contexto referindo-se ao acto físico de fazer marcações como pontos ou linhas, sendo que o autor aplica o termo no contexto da modelação paramétrica para definir relações entre as partes de um modelo paramétrico.

<sup>15</sup> Na sua tese Mário Barros há um foco maior na relação do design paramétrico com os sistemas de CAD.

#### 1.1.1.4 - Definição de modelo paramétrico

Definir o que é um modelo paramétrico e o que torna um modelo paramétrico, surge como outro ponto central da tese de Daniel Davis (2013a, p. 30), referindo este autor que a definição de modelo paramétrico tem, também ela, propensão a variar. Davis acaba, contudo, por nunca avançar uma definição concreta de modelo paramétrico. No entanto, fica claro que, para o autor, um modelo paramétrico deve declarar explicitamente a ligação entre parâmetros e geometria (Davis, 2013a, p. 32).

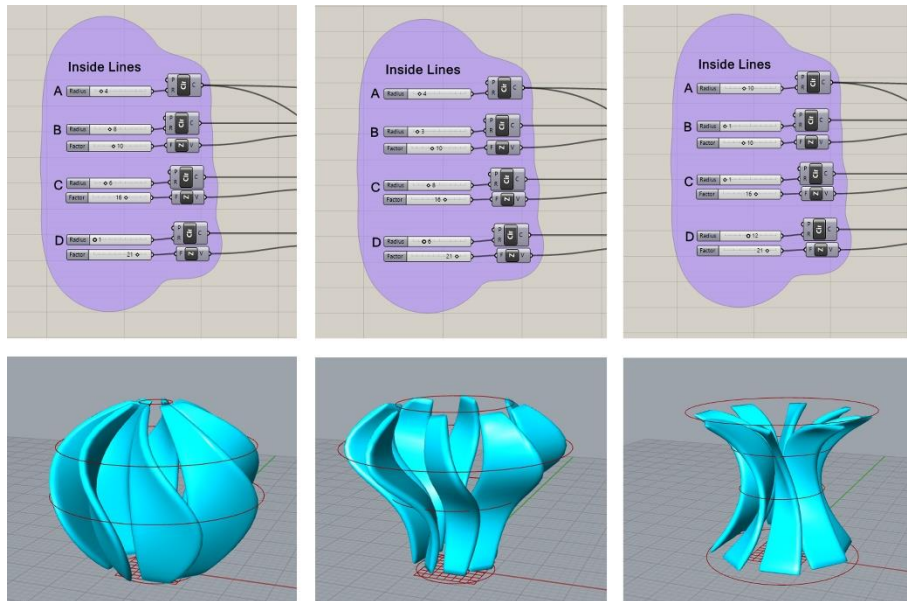


Figura 1.12 – Modelo flexível gerado em Grasshopper. A geometria encontra-se definida por quatro círculos paramétricos (A, B, C e D). Alterando os valores do raio de cada circunferência a geometria modifica-se automaticamente.

Por sua vez, é Mário Barros (2015, p. 70) quem define o conceito de modelo paramétrico de forma mais objectiva, classificando o mesmo como “uma representação geométrica em CAD capaz de acomodar alterações dinamicamente pela variação dos valores numéricos de um ou mais parâmetros ou variáveis”. Um modelo paramétrico é assim, segundo Barros (p. 72), “um modelo interactivo e inteligente, com capacidade para ser reconfigurado, acomodando alterações de forma dinâmica” (Figura 1.12). Barros (p. 70), prossegue referindo que o “modelo geométrico é definido como um conjunto de relações algorítmicas onde o designer define um esquema contendo as relações entre os elementos e conjuntos de elementos do objecto. Neste, modificações dos valores dos parâmetros criam variações ou configurações diferentes geradas através de um único modelo paramétrico” (Barros, 2015, p. 70).

A definição avançada por Barros (2015) torna-se especialmente útil pela forma directa e exemplificadora como é exposta, levando a um entendimento, mesmo que pragmático, sobre o que são modelos paramétricos assim como das suas capacidades. Barros demonstra igualmente não ter ficado indiferente a uma das questões centrais levantadas por Davis

(2013a): o facto de um modelo paramétrico ser definido por um conjunto de relações explícitas. Não obstante, a definição avançada por Barros não deixa de conter em si mesma uma das lacunas apontadas por Davis (2013a, pp. 15 e 30-1): um foco demasiado vincado e limitado nas capacidades dos modelos paramétricos e resultados obtidos por via destes.

Também no caso dos modelos paramétricos a falta de consenso quanto a uma definição leva a que muitos autores evitem aplicar o termo “paramétrico” preferindo, em alternativa, usar outros termos como, por exemplo, modelo flexível, evidenciando uma vez mais e como crítica Davis (2013a, p. 31), o que os modelos paramétricos fazem e não como estes são criados.

Para Davis (2013a, p. 31), um modelo paramétrico é algo único não por conter parâmetros ou ser flexível, mas pela forma como é criado. Um modelo paramétrico é criado por um designer que exponha explicitamente como os resultados derivam de um conjunto de parâmetros. A ligação explícita entre parâmetros específicos e resultados específicos são um aspecto fundamental para um modelo paramétrico<sup>16</sup>. Como tal, para Davis (2013a, p. 31), nem todas as formas de design baseadas em algoritmos são paramétricas por falharem ao expor com clareza tais relações.

“While these algorithms may contain parameters, their parameters work like a budget in a brief; they undoubtedly influence the outcome but there is no explicit connection between parameter and a specific outcome.”

**Daniel Davis, 2013**

Diante do exposto, é possível perceber que tanto na definição de modelação paramétrica como na definição de modelo paramétrico existe uma natureza instrumental ou de ferramenta que lhes é inerente, aspecto que surge como uma distinção categórica entre o que estas designações representam e o que representa a designação design paramétrico, este último dizendo respeito à intenção do designer, descrevendo uma forma de raciocínio e pressupondo a existência de um carácter metodológico como exposto por Mário Barros (2015, p. 72).

---

<sup>16</sup> Neste ponto o autor recorre à definição matemática do termo “paramétrico” definindo modelo paramétrico como uma série de equações que expressam um modelo geométrico como funções explícitas de um número de parâmetros (Davis, 2013a, p. 31).

### 1.1.1.5 - Definindo design paramétrico

Helen Castle (2016, p. 5) define design paramétrico como “um processo ou metodologia de Design que aplica parâmetros variáveis ou **algoritmos\*** de forma a gerar geometrias ou objectos”. Na mesma publicação John Frazer (2016, p. 20) recorre à definição avançada por Wassim Jabi, o qual define design paramétrico como “um processo baseado em pensamento algorítmico que possibilita a expressão de **parâmetros\*** e regras que, em conjunto, definem, codificam e clarificam a relação entre intenção e resposta do projecto”.

#### \*Parâmetro

Um parâmetro pode ser descrito como uma regra. Porém, no contexto de design paramétrico, esta é uma definição vã e pouco esclarecedora.

Por sua vez, Davis (2013a, p. 21) refere que um parâmetro pode ser uma variável independente, a qual, usada no contexto de uma equação paramétrica, pode ser entendida como uma variável cujo valor não depende de qualquer outra parte da equação (Figura 1.13).

#### \*Algoritmo

Algoritmos podem assumir várias formas<sup>17</sup> (Figura 1.14) e definições. No entanto, em *Elements of Parametric Design*, Robert Woodbury (2010, p.34) recorre à definição de algoritmo avançada por Berlinsky, definindo algoritmo como:

- Um processo finito
- Escrito num vocabulário simbólico fixo
- Gerido por instruções precisas
- Movendo-se em paços discretos (1,2,3...)
- Cuja execução não requeira, conhecimento, inteligência, intuição e perspicácia
- Que mais cedo ou mais tarde termine.



Figura 1.13 – Exemplo de variáveis dependentes e independentes. A altura e largura de um retângulo podem ser consideradas duas variáveis independentes. Já a área da mesma geometria é dependente dos valores das duas primeiras variáveis.

<sup>17</sup> Na informática um algoritmo diz respeito a conjunto de regras e procedimentos lógicos perfeitamente definidos que levam à solução de um problema em um número finito de etapas (Houaiss, 2003, p. 201).

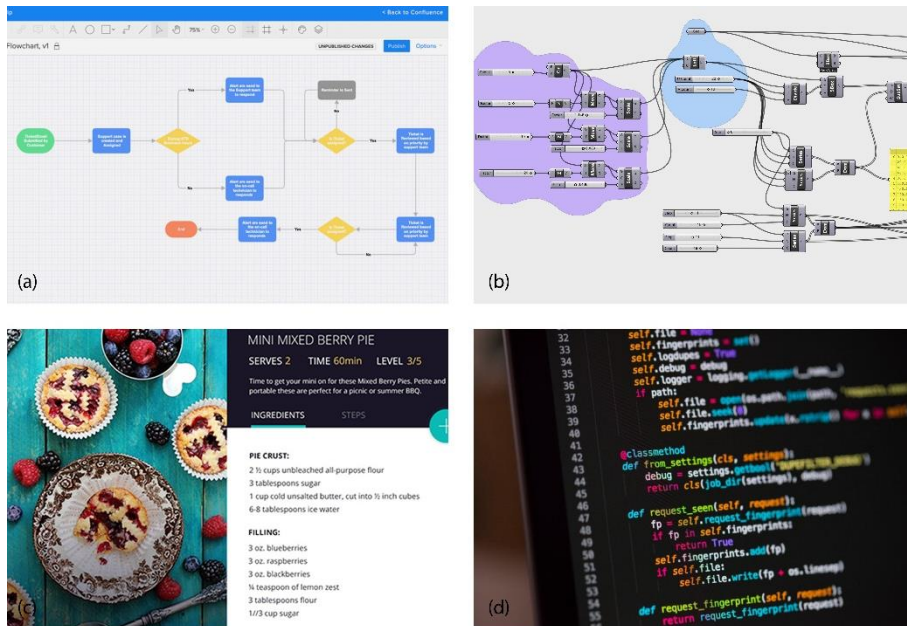


Figura 1.14 - Exemplos de diferentes formas de algoritmos. (a) Fluxograma (gliffy, 2020), (b) algoritmo em Grasshopper®, (c) receita de culinária (Kendall, 2015) e (d) código de programação em Python (Ried, s.d.).

Todavia, é Mário Barros (2015, p. 72) quem melhor unifica estas duas definições quando atribuí ao design paramétrico um carácter metodológico empregue de antemão para conduzir o processo de design, tendo como base um esquema geral capaz de gerar múltiplas soluções. Mário Barros (ibid) refere que este método consiste no uso da razão, sendo uma metodologia para desenhar artefactos de forma a que estes possuam um mecanismo construtivo inerente capaz de produzir diferentes variantes paramétricas.

As definições avançadas por Daniel Davis e Mário Barros para os vários termos aqui descritos distinguem-se quanto à sua proveniência e propósito. Davis (2013a) recorre à matemática — cuja íntima relação ao design paramétrico já foi mencionada — para de uma forma profunda e reflexiva chegar a uma definição concreta para estes termos. Por sua vez, Mário Barros (2015) foca o lado mais prático e instrumental dos modelos paramétricos enquanto ferramenta, recorrendo à sua ligação com o CAD para, de forma pragmática, transmitir uma visão geral sobre o que são, assim como sobre o que estes permitem alcançar.

Neste ponto torna-se importante frisar o que distingue o tempo design paramétrico dos termos modelação paramétrica e modelo paramétrico. Design paramétrico descreve um género de raciocínio lógico ou metodologia. Por sua vez, modelação paramétrica e modelo paramétrico descreve respectivamente uma técnica e o resultado alcançado por via dessa mesma técnica (Figura 1.15).



Figura 1.15 – Diferentes terminologias usadas no contexto de uma abordagem paramétrica ao design e o que estas representam. Partindo de uma metodologia ou forma de raciocínio (design paramétrico) com a intenção de criar um mecanismo capaz de acomodar alterações de forma dinâmica e gerar diversas soluções (modelo paramétrico) como descritos por Mário Barros (2015).

No imediato, ainda assim, a fronteira entre paramétrico e não paramétrico surge segundo Davis (2013a, p. 31) como pouco clara. Não obstante, é perceptível que para este autor “paramétrico” jamais poderá significar todo o design, ou somente um design que facilmente se pode alterar, muito menos um estilo como propõem Schumacher (2008) sob a designação de Parametricismo.

#### 1.1.1.6 - Design paramétrico e Parametricismo: do método à evocação de um novo estilo de época reflexo da uma civilização desenvolvida tecnologicamente

Design paramétrico, design flexível, *scripting*<sup>18</sup> ou modelação paramétrica, são algumas das terminologias já referidos e às quais diversos autores recorrem para fazer referência ao mesmo tópico. A estes junta-se o termo “Parametricismo” contribuindo para o exacerbar da confusão já existente sobre o tema. Esta designação, introduzida em 2008 pelo arquitecto Patrik Schumacher (2016a, p. 9)<sup>19</sup> em *Parametricism as Style - Parametricism Manifesto*, surge como um veículo que serve ao propósito do próprio Schumacher de distinguir e distanciar esta nova versão — agora reinventada sob a designação de Parametricism 2.0 — da primeira fase

<sup>18</sup> Este termo pode referir-se igualmente a técnicas que envolvam a redacção de linhas de código.

<sup>19</sup> Patrik Schumacher, durante longos anos braço direito de Zaha Hadid, assume atualmente a liderança do atelier de ZHA (Gage, 2016, p. 130), sendo simultaneamente autor e editor de inúmeras publicações sobre o tema do Parametricismo. É cofundador da AADRL (Architectural Association Design Research LAB) onde ocupa o cargo de professor (Schumacher, 2016b).

do design paramétrico<sup>20</sup>, para assim poder reemergir, segundo Schumacher (2008)<sup>21</sup>, como “o novo grandioso estilo a seguir ao Modernismo”. Segundo Helen Castle (2016, p. 5), o termo “Parametricismo” foi criteriosamente escolhido por Schumacher sendo uma insuflação da terminologia “design paramétrico” à qual o sufixo “ismo” foi acrescentado com a intenção de atribuir a este uma intencionalidade comparável à de um movimento social ou estilo.

Escrevendo prolificamente sobre este tema, Schumacher (2008) é especialmente crítico em relação à primeira fase do design paramétrico (ou como este define: Parametricismo 1.0) à qual se refere como tendo sido meramente formalista<sup>22</sup>. Advoga, portanto, por uma reestruturação (Schumacher, 2016a, pp. 10-2), avançando com a proposta Parametricismo 2.0 que, segundo Schumacher, consiste num relançamento autocritico da primeira versão” (Castle, 2016, p. 5), a qual deve dar resposta a desafios e oportunidades da sociedade actual (Schumacher, 2016a, pp. 9-10). Liderando este debate, Schumacher estabelece igualmente algumas das regras às quais o Parametricismo enquanto estilo — assim como os aspirantes a esta abordagem — deve obedecer. Entre estas: evitar tipologias familiares, evitar sólidos platónicos, zonas definidas, repetições, linhas rectas, cantos ou ângulos rectos, figuram como algumas das linhas mestras do Parametricismo de Schumacher (2008; Gage, 2016, p. 130) (Figura 1.16).

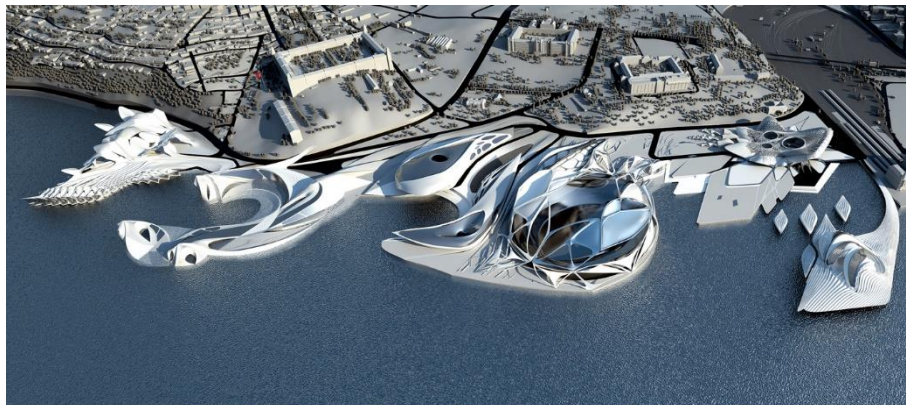


Figura 1.16 - Complex Variegated Order via multi-author coherence. Studio Hadid/Schumacher, Yale University, Istanbul Cultural District, 2013 (Schumacher, 2018)

Porém, a posição de Schumacher não é unanime e Daniel Davis (2013a, p. 29) encabeça a lista de vozes críticas referindo-se ao Parametricismo como uma noção provocatória promovida por Schumacher. A Davis reúne-se Mark Foster Gage (2016, pp. 130-31),

---

<sup>20</sup> Schumacher (2018) situa a primeira fase do design paramétrico — ou parametricismo 1.0 na versão de Schumacher — principalmente na década de 90, quando arquitetos e designers, entre os quais Greg Lynn e Karim Rashid, enveredaram pela exploração das possibilidades oferecidas pelos então recentes softwares de modelação 3D. Nesta primeira fase, Schumacher inclui abordagens como o Blobismo ou o Foldismo, segundo este, abordagens subsidiárias do Parametricismo.

<sup>21</sup> Manifesto apresentado e debatido no Dark Side Club, 11th Architecture Biennale, Venice 2008.

<sup>22</sup> Uma opinião partilhada por Mario Carpo (2016, p. 27) quando este autor se refere à primeira fase da digitalização do Design na década de 90 do século XX.

opondo-se à afincadamente à opinião de Schumacher (2008) de que o Parametricismo é um novo e grandioso estilo de época dignos sucessor do Modernismo. Para Gage (ibid, p.130) a proposta de Schumacher representa meramente a soma de tecnologia do século XXI com as preferências estilísticas por superfícies fluidas. Em suma, uma a continuação da linguagem estilística mundialmente conhecida de Zaha Hadid (ibid, p. 131).

A posição de Schumacher, assim como o Parametricismo, não podem ou devem ser ignoradas quando abordado o tema do design paramétrico. Contudo, à semelhança de Daniel Davis ou Mark Foster Gage, nesta dissertação o design paramétrico será abordado pelo seu carácter metodológico e instrumental que, segundo Gage (2016, p. 130) e John Frazer (2016, p. 21)<sup>23</sup>, enquanto técnica pode ser usada para suportar qualquer tipo de estilo. Nesse sentido, não sendo o Parametricismo o foco central desta dissertação o tema não será aprofundado, podendo ainda assim ser invocadas algumas noções consideradas pertinentes no decurso da mesma.

---

<sup>23</sup> Frazer (2016, p. 21), refere que a implementação de estratégias paramétricas representa apenas uma forma eficiente e flexível de descrever uma geometria

### 1.1.2 - Contexto e História

Contrariamente ao que se possa supor a história do design paramétrico começa muito antes do surgimento dos primeiros sistemas informáticos ou softwares de CAD-CAM. Como tal, falar de design paramétrico implica antes de mais uma divisão cronológica que marque o antes e depois do surgimento do computador<sup>24</sup>. No entanto, se uma delimitação histórica da fase digital do design paramétrico é consensual, no que respeita à fase que a antecedeu, principalmente quanto ao seu surgimento e precursores, existe uma manifesta ausência de consenso.

#### 1.1.2.1 - Proto-parametrismo ou Parametrismo analógico

A definição do termo “paramétrico” não encerra qualquer referência a equipamentos digitais. Da mesma forma, o design paramétrico não mantém uma ligação de dependência com o computador. Este facto pode ser corroborado pelas palavras de Stephen Phillips (2010, p. 25) quando este autor declara que o computador não inventou o design paramétrico. Técnicas de *form-finding*<sup>25</sup> (Figura 1.17) como as utilizadas por Frei Otto, Gaudí ou Heinz Isler (Burry, 2016, pp. 23-3; Chilton, 2010), são igualmente consideradas por múltiplos autores, entre os quais Mark Burry (2016, pp. 23-3), como abordagens paramétricas. Não surpreende, portanto, que alguns dos primeiros trabalhos considerados como paramétricos surjam numa época anterior à era digital<sup>26</sup>.

Esta fase, designada por Burry (2016) como proto-parametrismo — ou parametrismo analógico — marca uma época anterior ao surgimento dos primeiros sistemas informáticos. Contudo, não existe um consenso quanto à definição de um marco cronológico ou quanto ao precursor de uma abordagem paramétrica no domínio do Design.

---

<sup>24</sup> Embora historicamente os primeiros computadores sejam anteriores à era digital, datando os primeiros exemplares do século XV (Computador analógico, s.d.) ou mesmo da era grega como o Antikythera mechanism (Antikythera mechanism, s.d.), no contexto desta dissertação o termo “computador” resume-se aos equipamentos electrónicos surgidos no século XX, não se ignorando, contudo, o facto de que equipamentos mais antigos também poderem ser abrangidos pela mesma designação.

<sup>25</sup> *Form-finding* - Método que explora e instrumentaliza a capacidade de auto-organização dos materiais sob influência de forças externas (Hensel, 2004, p. 27)

<sup>26</sup> Considerando que parte significativa da história do design paramétrico está ligada ao campo da arquitectura, assim como muita da literatura existente sobre o tema, os exemplos avançados pelos diversos autores são naturalmente provenientes deste domínio. Todavia, entende-se que criar uma distinção categórica entre Design e arquitectura não contribui para um melhor entendimento sobre o tema abordado, não sendo parte dos objectivos desta dissertação. Logo, o tema será abordado de forma ampla e abrangente considerando a arquitectura como uma forma de Design.

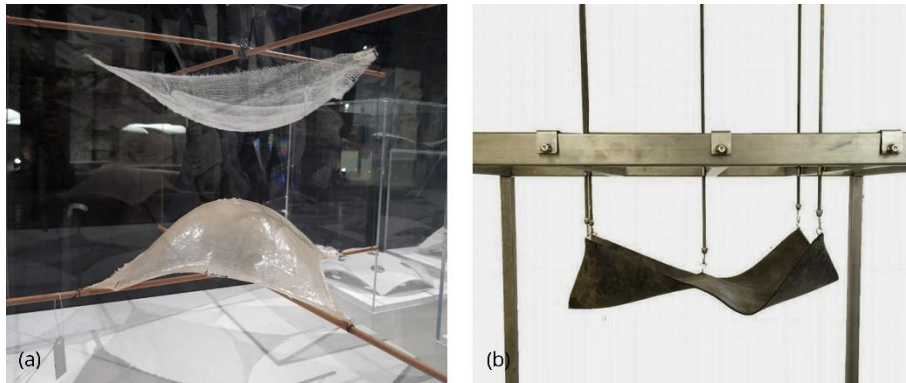


Figura 1.17 – Modelos suspensos. (a) Modelo suspenso de estrutura de madeira, pano e cordas de Heinz Isler (Grieco, 2012); (b) Equipamento para produção de estruturas com base na técnica de *form-finding* (Gáspár, 2020)



Figura 1.18 – Pavilhão da Sicília em Génova. Heinz Isler (jyhem, 2013)

Nomes como Antoni Gaudí, Frei Otto ou Luigi Moretti são frequentemente referidos enquanto precursores de uma abordagem paramétrica, principalmente no campo da arquitectura<sup>27</sup>. Mark Burry (2016, pp. 32-5), arquitecto executivo envolvido nas obras de conclusão da Sagrada Família em Barcelona, vê na obra de Gaudí muitas das características do que é possível qualificar como uma abordagem paramétrica. Partindo dessa observação, resultante de uma relação íntima com a obra do arquitecto catalão, Burry (2016, pp. 32-5) acredita possuir argumentos suficientes que lhe permitam atribuir a Gaudí o gesto precursor deste género de abordagem. Não obstante, esta é uma tese frequentemente contestada por autores como John Frazer ou Mario Carpo.

John Frazer (2016, p. 19), que vê no facto da argumentação de Burry ser sustentada exclusivamente na análise que o próprio faz à obra de Gaudí a mais significativa lacuna à sua tese, reforça a sua crítica apontando para a ausência de provas que atestem a intencionalidade do arquitecto catalão em seguir ou implementar uma lógica paramétrica.

<sup>27</sup> Estas três individualidades são referenciadas com maior frequência, porém, outras fontes consultadas consideram o Pavilhão Philips, criado por Le Corbusier em colaboração com o engenheiro e músico Iannis Xenakis para a Feira Mundial de Bruxelas de 1958, o primeiro edifício concebido com recurso a um sistema paramétrico sem recurso ao computador (Alvarado & Muñoz, 2012, p. 109).

Baseando-se no mesmo argumento Frazer (2016, p. 19) elabora a sua crítica acrescentando que partindo do mesmo pressuposto também arquitectura clássica pode ser classificada como paramétrica. Este último argumento é reforçado por Mario Carpo (2016, pp. 28-9) quando este traça um paralelismo com Vitruvius no século I a.c, Leon Battista Alberti no século XV, ou mesmo com a arquitectura gótica remetendo assim a implementação de abordagens paramétricas para uma época muito anterior à obra de Gaudí.

Carpo (2016, pp. 24-9) refere-se concretamente aos manuscritos deixados por Vitruvius<sup>28</sup> e Battista Alberti<sup>29</sup> nos quais, com recurso a instruções verbais lógicas e sem recurso a imagens, era explicado o processo de construção de colunas clássicas. Segundo Carpo (2016, pp. 28-9) os manuscritos de Vitruvius e Battista Alberti demonstram um género de raciocínio algorítmico comum ao que hoje entendemos por design paramétrico. Considerando que o resultado final não poderia ser demonstrado, estas instruções verbais acabavam inevitavelmente por gerar uma ampla variedade de formas que, embora diferentes, ao partilharem o mesmo *script* acabam por ser similares formando uma classe de objectos definidos matematicamente pelas mesmas regras generativas<sup>30</sup>.

Efectivamente Gaudí nunca se referiu ao seu trabalho como sendo paramétrico e tão pouco há evidências que corroborem a existência de uma intencionalidade por parte de Gaudí em implementar uma lógica paramétrica na sua obra. Este é um facto que para alguns considerado relevante na hora de assinalar o marco do surgimento do design paramétrico. Todavia, se no que a Gaudí diz respeito não existe um consenso, relativamente a outra individualidade ligada à arquitectura, Luigi Moretti, multiplicam-se as referências quando o assunto é nomear um precursor de uma abordagem paramétrica no Design. Entre os apoiantes desta teoria destaca-se John Frazer (2016, p. 19) o qual destaca o carácter pioneiro do trabalho de Moretti<sup>31</sup>.

Contrariamente aos nomes anteriormente referidos a obra de Moretti é assumidamente paramétrica, tendo o arquitecto italiano escrito exaustivamente sobre o tema (Frazer, 2016,

---

<sup>28</sup> Segundo Mário Carpo (2016, p. 28), Vitruvius escreveu regras sofisticadas que se assemelham ao que hoje podemos designar de algoritmos procedurais, as quais continham cláusulas condicionais (Ex. se a altura de uma coluna está compreendida entre a e b, a proporção modular da arquitrave deve ser X; se compreendida entre b e c, a proporção modular da arquitrave deve ser Y, etc).

<sup>29</sup> Leon Battista Alberti, escreveu tratados manuscritos com recurso a linguagem verbal e sem recurso a imagens nos quais descrevia passo a passo, regras sobre proporções e empilhamento de partes visando a construção de colunas clássicas (Carpo, 2016, p. 28).

<sup>30</sup> Aos exemplos referidos por Carpo pode juntar-se o exemplo de James Dana mencionado por Daniel Davis (2013a, pp. 19-21) o qual criou descrições verbais de parâmetros e variáveis para desenhar estruturas cristalinas.

<sup>31</sup> Patrik Schumacher, por sua vez, considera Frei Otto como o verdadeiro e único precursor de uma abordagem paramétrica (Schumacher, 2018)

p. 19). É disso exemplo “Architettura Parametrica” onde Moretti explora a relação entre design e equações paramétricas (ibid), ou o Stadium N (Figura 1.19) cuja forma segundo o arquitecto deriva de dezanove parâmetros distintos (Davis, 2013a, p. 19). Ainda assim, o nome de Moretti não surge isolado quando se trata de nomear o impulsionador de uma abordagem paramétrica no Design.

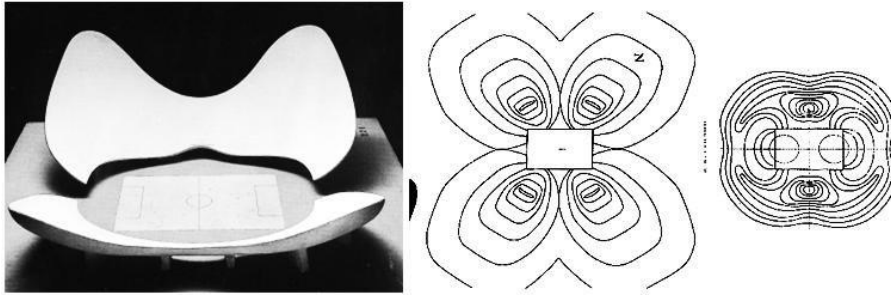


Figura 1.19 – Modelo do Estádio N. Luigi Moretti, 1960. (Heidari, Sahebzadeh, Sadeghfar, & Taghvaei, 2018)

Também Frei Otto surge como um dos nomes conotados ao design paramétrico na sua fase analógica (Burry, 2016, pp. 33-5; Schumacher, 2018). Otto, conhecido pelas suas estruturas leves compostas por membranas tensionadas, partilha com Gaudí o facto de ambos recorrerem a modelos físicos, condicionados pela força da gravidade, para conduzir os seus projectos (Burry, 2016, pp. 33-4). No caso de Otto são igualmente conhecidos os estudos que este efectuara sobre a película das bolas de sabão (Figura 1.20) os quais inspiraram muitas das estruturas de membranas por si criadas (Fornes, 2016, p. 61; Hensel, Menges, & Weinstock, 2004(b), p. 20). Gaudí, por sua vez, recorria a modelos suspensos baseados no princípio da catenária invertida<sup>32</sup>, princípio igualmente usado por Heinz Isler nas suas famosas *shells* (Figura 1.18) (Chilton, 2010, p. 67). Segundo as opiniões de Davis (2013a, pp. 22-3) e Chilton (2010, pp. 65-7) estes três arquitectos partilham o recurso a processos de *form-finding* e modelos físicos, processos utilizados de forma recorrente na concepção de modelos proto-paramétricos.

<sup>32</sup> Uma corrente ou corda flexível, quando presa entre dois pontos que lhe servem de suporte e suspensa sob a acção do seu próprio peso, é sujeita unicamente a forças de tensão e forma uma curva denominada catenária. Quando esta curva é invertida, e sob a mesma carga, esta curva está sujeita unicamente a forças de compressão sendo extremamente eficiente estruturalmente Chilton (2010, p.67).

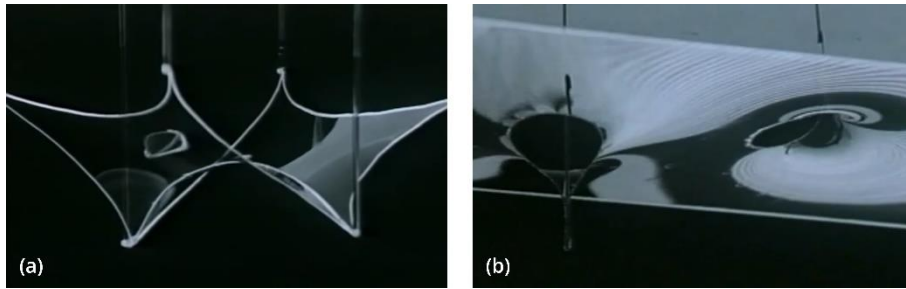


Figura 1.20 – Experimentos com membrana da película de sabão. Vídeo Still retirado de “Frei Otto: Spanning the future” (2016) <sup>33</sup>

É justamente o recurso à catenária invertida (Figura 1.21) que leva alguns académicos, entre os quais Davis (2013a, p. 22), a atribuírem um carácter paramétrico à obra de Gaudí — e também Frei Otto pelo recurso a modelos físicos paramétricos. Davis sustenta essa afirmação referindo que uma corrente suspensa é definida no mínimo por quatro parâmetros: O seu comprimento, o seu peso e os dois pontos aos quais esta se encontra presa. Sob a acção da gravidade a corrente assume uma forma curva. Um modelo no qual, segundo Davis, os parâmetros derivam de uma função explícita: a gravidade (ibid).



Figura 1.21 – Modelo suspenso da Sagrada Família. Gaudí (Dragicevic, 2015)

Os exemplos apresentados demonstram a existência de pelo menos um pensamento ou lógica paramétrica em algumas obras anteriores ao surgimento dos primeiros sistemas informáticos. Na presença dos argumentos apresentados por diversos autores poderemos afirmar que o design paramétrico não surge, portanto, como uma novidade. E embora na maioria dos casos, como apontado por Frazer (2016, p. 19), a atribuição de um carácter paramétrico resulte de uma análise feita por outros que não o próprio autor, o caso de Luigi Moretti distingue-se por ser o próprio autor a aplicar o termo paramétrico no contexto da

---

<sup>33</sup> Link para consulta: [www.freiottofilm.com](http://www.freiottofilm.com)

sua obra ainda em 1940 (ibid). Com o surgimento dos primeiros sistemas informáticos décadas mais tarde, o próprio Moretti viria a testar os seus modelos com recurso a esta nova tecnologia (ibid) entrando assim na era digital do Design.

#### 1.1.2.2 - Parametrismo digital

Qualquer relação de dependência entre o design paramétrico e o computador poderá ser refutada na presença de exemplos como Gaudí, Frei Otto ou Moretti. Sem embargo, talvez seja Mário Barros (2015, p. 72) ao declarar o carácter metodológico do design paramétrico, definindo esta abordagem mais como intencionalidade do designer do que como uma ferramenta em específico, quem melhor corrobora a inexistência dessa relação de dependência e torna perceptível a autonomia do design paramétrico em relação à tecnologia.

Contudo, o impacto causado pelo surgimento dos sistemas informáticos e pelo desenvolvimento paralelo do CAD no início da segunda metade do século XX, não pode ser ignorado. No contexto do design paramétrico estes avanços marcam um ponto de viragem (Frazer, 2016, p. 19) representando um marco que separa a fase analógica desta abordagem ao design da sua fase digital. Porém, este marco aparenta ser pouco nítido assumindo em rigor mais propriamente o carácter de um processo gradual do que o de um acontecimento cronologicamente definido.

A criação do Sketchpad por Ivan Sutherland em 1963<sup>34</sup> (Figura 1.22), considerado como o primeiro software CAD paramétrico (Davis, 2013a, p. 22), afigurou-se como um primeiro passo na direcção de uma digitalização do design paramétrico<sup>35</sup>. Ainda assim, apenas na década de 90 do século XX, quando os interfaces gráficos e as novas funcionalidades dos programas de modelação proporcionaram uma abordagem mais fácil e intuitiva ao CAD<sup>36</sup>, viria a ocorrer o que Mário Carpo (2016, p. 27) apelida de “*Digital Turn*”.

---

<sup>34</sup> Oficialmente, as primeiras experiências na criação de softwares CAD iniciam-se na década de 50 do século XX existindo alguns softwares anteriores ao Sketchpad (Bozdoc, 2003). Durante a pesquisa elaborada no contexto desta dissertação, foram igualmente encontradas discrepâncias no que respeita à data de criação do Sketchpad, variando estas entre 1960 e 1963. Sendo que a maioria dos documentos aponta o ano de 1963, esta será a data referida sempre que pertinente.

<sup>35</sup> Davis (Davis, 2013b) refere que Sutherland nunca usou o termo “paramétrico” no contexto do seu trabalho, mas sim “*atomic constraints*”, que segundo Davis detêm todas as características essenciais de uma equação paramétrica permitindo criar relações entre os vários elementos do desenho possibilitando que o modelo geométrico seja recalculado sempre que ocorra uma alteração. Uma capacidade também referida por David Weisberg (2008) acrescentando o autor que esta capacidade surge muito antes do conceito de design paramétrico se ter popularizado.

<sup>36</sup> Segundo Bürdek (2015, p. 250) a introdução do CAD-CAM na década de 80 não satisfaz as expectativas dos designers que, em vez de novas e uteis ferramentas obtiveram apenas programas de *drafting*. Não obstante, o autor refere que cedo de percebeu que as potencialidades do CAD-CAM não se prendiam com a geração de imagens, mas com as profundas mudanças que esta tecnologia viria a introduzir no Design e nos processos produtivos.



Figura 1.22 – Timothy E. Johnson procedendo a uma demonstração do Sketchpad de Ivan Sutherland (Hamou, 2015)

O intervalo de tempo que entretanto decorreu, foi essencialmente marcado por práticas de carácter especulativo mediante as quais foram exploradas possibilidades emergentes das novas ferramentas da técnica, assim como o impacto destas nas áreas projectuais em específico e, por afinidade, na sociedade em geral. A arquitectura em particular foi neste período fortemente influenciada pela Cibernética<sup>37</sup> (Carpo, 2016, p. 27; Claypool, 2019), tendo o conceito de ciberespaço emergido como uma das preocupações centrais da arquitectura na década de 60 do século XX (Frazer, 2013, p. 51).

Com um forte cunho tecnológico e multidisciplinar por natureza, reunindo noções e conceitos de campos como a engenharia, ciência dos computadores, biologia, neurociência e *network theory* (Claypool, 2019), esta disciplina emergente avançou segundo Frazer (2013, p. 52) com uma nova base teórica como uma metalinguagem para a discussão crítica. Este tema serviu de base sobretudo a projectos de investigação no âmbito dos quais, partindo de conceitos íntimos a este novo campo, foi explorado o conceito de relação homem-máquina (Claypool, 2019). Destes resultaram com frequência projectos utópicos de espaços informados mediante um *feedback*<sup>38</sup> constante entre tecnologia e pessoas, que marcaram, principalmente, as décadas de 60 e 70 (Claypool, 2019). Todavia, como refere Mario Carpo (2016, p. 27), apesar da influência e participação de alguns cibernéticos na

<sup>37</sup> Segundo Mollie Claypool (2019) a cibernética estabelece a teoria de que todo comportamento, incluindo o de humanos e máquinas, é parte de um sistema de ciclos de *feedback* de entradas e saídas. Em qualquer sistema, essas entradas e saídas fundem-se continuamente para estender a capacidade do ser humano ou da máquina. Alguns dos conceitos da cibernética lidam a capacidade de cognição e comunicação da máquina.

<sup>38</sup> Na informática é o reenvio de informação a um computador que, após tê-la recebido, pode alterar a sua resposta ou o seu desempenho (*feedback*, 2003-2021)

*digital turn* que viria a ocorrer da década de 90 nenhuma arquitectura cibernética chegou realmente a surgir<sup>39</sup>. Não obstante, os projectos idealizados nesse período acabariam por influenciar diversos arquitectos na segunda metade do século XX (Claypool, 2019).

Na década de 90, o surgimento de softwares de modelação mais intuitivos e acessíveis — assim como a especialização do software (Waters, 2003, p. 55) — promoveu a adopção destas novas ferramentas por um grupo mais amplo de profissionais (Carpo, 2016, p. 27; Scheurer, 2010, p. 89)<sup>40</sup>. As novas possibilidades apresentadas por estes instrumentos fizeram destes o médium perfeito para a exploração formal que haveria de vir a surgir na última década do século XX, tendo sido prontamente adoptadas por desconstrutivistas<sup>41</sup> e formalistas como Peter Eisenman, Frank Gehry ou Zaha Hadid que dependiam destas para a criação das geometrias complexas e formas não geométricas (Carpo, 2016, p. 27) que caracterizam as suas obras.

Projectos como “Barcelona Fish” de Frank Gehry<sup>42</sup> ou o terminal ferroviário de Waterloo criado por Nicholas Grimshaw, são frequentemente apontados como projectos pioneiros concebidos com recurso a ferramentas digitais segundo uma lógica paramétrica (Alvarado & Muñoz, 2012). Por sua vez, as formas orgânicas que caracterizaram os conceitos visionários de Greg Lynn, resultam de uma fuga ao racional<sup>43</sup> alcançada através da exploração de softwares não convencionais e das novas funcionalidades por estes

<sup>39</sup> Segundo Mario Carpo (2013, p. 48), até ao final da década de 60 do século XX, a cibernética, a teoria dos sistemas e o computador eram vistos primariamente como ferramentas para facilitar a lógica da solução de problemas e da tomada de decisões no contexto da prática projectual.

<sup>40</sup> Note-se que desde a década de 70 que o CAD passou a integrar indústrias como a automóvel ou a aeronáutica — mais próximas à engenharia — cujo poder económico não só lhes permitia deter este género de tecnologia como inclusive desenvolve-las (Davis, 2013b; Weisberg, 2008). Não obstante sectores como a arquitectura ou o Design adoptaram esta ferramentas mais tardiamente, quer por relutância quer por esta ser inacessível tanto do ponto de vista económico como da usabilidade. Frank Gehry surge como um exemplo desta adopção tardia tendo apenas no final da década de 80 do século XX realizado o seu primeiro projecto no qual a tecnologia guiou a sua prática, nomeadamente o “Barcelona fish” de 1989-92 criado com recurso ao CATIA (Foster, 2002, pp. 34-5)

<sup>41</sup> O Desconstrutivismo foi um movimento de vanguarda surgido na década de 80 do século XX enquadrado no movimento pós-moderno (Stouhi, 2020). Absorvendo influências do Construtivismo, Modernismo, Pós-Modernismo, Expressionismo e também do Cubismo, o Desconstrutivismo emergiu como uma incitação à exploração de diferentes possibilidades (ibid). A exploração formal ilimitada e livre manipulação dos volumes inerente ao movimento resultou em formas imprevisíveis marcadas pela assimetria e descontinuidade, mas conservando a sua função (ibid). O termo foi introduzido na década de 80 por Jacques Derrida (Stouhi, 2020), filósofo pós-modernista francês conhecido por introduzir o conceito de desconstrução na filosofia (Jacques Derrida, s.d.). O tema surgiu numa discussão sobre a proposta vencedora para o Parc de la Villette criada por Bernard Tschumi, assim como pelo projeto desenvolvido por Derrida em parceria com Eisenman (Stouhi, 2020).

<sup>42</sup> Para criar esta estrutura foi usado o Software CATIA® da Dassault Systemes para gerar uma curva paramétrica da superfície permitindo por via desta definir os perfis de aço da malha necessários à sua construção. O recurso a uma *spline* para interpolação de secções estruturais assim como para definir as peças da superfície por tesselação, permitiu “desdobrar” a superfície em planos para produção (Alvarado & Muñoz, 2012, p. 113).

<sup>43</sup> Fuga ao racional no sentido em que estes softwares permitiram experimentar e explorar novos métodos de gerar e manipular geometrias de forma mais livre e menos determinística, afastando-se da lógica mais rigorosa de planos cartesianos e sólidos geométricos elementares que caracterizavam a maioria dos softwares de modelação.

oferecidas que permitiram técnicas alternativas de modelação com recurso a forças virtuais (Waters, 2003, pp. 8 e 56-9; Oxman R. , 2006, pp. 253-4). A estes podem ser reunidos nomes como Daniel Libeskind (AEC Magazine, 2017), Norman Foster (Rybczynski, 2013), ou ainda Massimiliano Fuksas (2016) e a dupla de arquitectos Hani Rashid e Lise Anne Couture (*Asymptote*) (Phillips, 2010), autores cuja obra foi fortemente influenciada pelo software.

No design industrial em particular, Karim Rashid (Waters, 2003) e Ross Lovegrove (2016) surgem como nomes igualmente incontornáveis<sup>44</sup> que assumidamente fizeram uso desta tecnologia e traduziram a linguagem da era digital nos objectos por si criados.

A década de 90 representou segundo Carpo (Carpo, 2016, p. 27) a primeira fase de uma digitalização do Design (*digital turn*) que começara a emergir décadas antes. No entanto, segundo o mesmo autor esta foi meramente formalista. Ainda assim, as mesmas tecnologias que alavancaram a criatividade no final do século XX viriam a influenciar todo o sector do Design de forma transversal. Estas ferramentas estimularam a criatividade e aguçaram a necessidade de exploração de diversos criativos, originando novas linguagens estéticas e expressões que compõem diversos artefactos icónicos (Waters, 2003; Carpo, 2016, p. 27). Estes artefactos surgem como evidências de como a computação digital começou lentamente a moldar o panorama do Design e a deixar a sua marca nos artefactos. Desde então, a evolução destas duas tecnologias paralelamente com os meios produtivos<sup>45</sup>, não abrandou e, conjuntamente, estas têm vindo a revolucionar a forma como projectamos e produzimos artefactos (Bürdek, 2015, p. 254)<sup>46</sup>.

Na actualidade os softwares CAD são uma das ferramentas mais usadas por designers ou em profissões análogas. Estiradores, papel e lápis foram na sua maioria substituídos por monitores e potentes processadores informáticos. Não que a inovação tecnológica tenha tornado os primeiros obsoletos. Por vários motivos os suportes físicos continuam a estar entre os *médiuns* favoritos de vários criativos (Figuras 1.23-4).

---

<sup>44</sup> Não sendo relevante para a discussão deste tópico em específico, chama-se contudo à atenção do leitor para o facto de nem todos os autores referidos terem uma abordagem assumidamente paramétrica, sendo incluídos autores cuja obra foi significativamente influenciada pelo surgimento e exploração do software, facto que, considerando a componente paramétrica destas ferramentas, leva a que os seus nomes sejam referidos no contexto do design paramétrico com alguma frequência.

<sup>45</sup> A relevância das tecnologias de produção, espacialmente as conotadas aos equipamentos de fabricação controlados digitalmente são frisadas por Scheurer (2010, p. 91) e Waters (2003, p. 55)

<sup>46</sup> Bürdek (2015, p. 254) refere que a rápida disseminação da microeletrónica na década de 90 do século XX introduziu mudanças drásticas no Design, construção e processos de fabrico abrindo novas possibilidades para o Design.

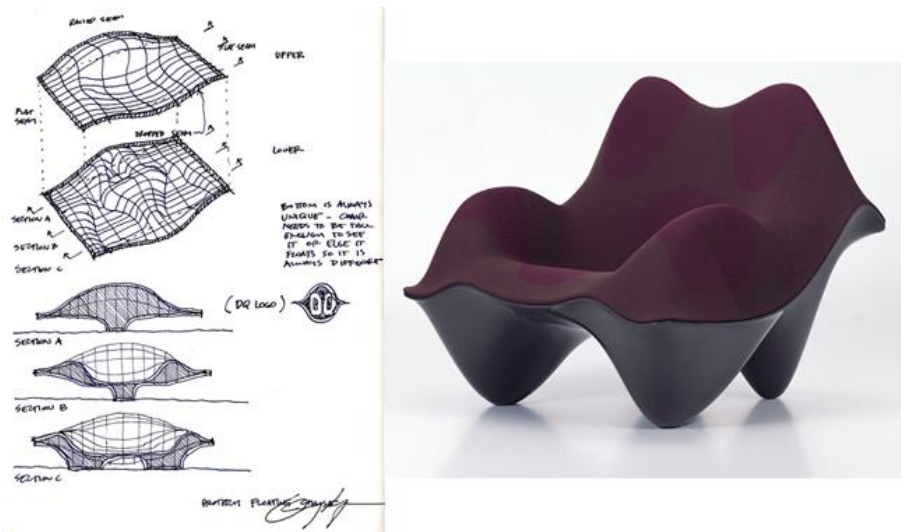


Figura 1.23 – “Ravioli Chair”. Greg Lynn para a Vitra, 2005 - Embora parte de uma exploração da forma com recurso ao software, Lynn não abdicou do desenho enquanto ferramenta que auxilia na formação de uma ideia mais clara sobre o produto (Gonchar, 2012)



Figura 1.24 -Cadernos com esboços de Ross Lovegrove (expositions charpentier, 2017)

Porém, a complexidade da era digital assim como os níveis de precisão agora exigidos fizeram do computador uma ferramenta indispensável à maioria das profissões. Uma nova conjuntura na qual o design paramétrico, o computador e os sistemas de CAD, recorrendo às palavras de Ross Lovegrove (2016, p. 104), surgem como “ferramentas que expandem e amplificam a nossa capacidade de lidar com a complexidade”. Uma afirmação facilmente corroborável quando confrontados com artefactos de um nível de complexidade estrutural e formal sem precedentes criados nas últimas décadas com recurso a estas tecnologias.

### 1.1.3 - Ciências da Computação como base do design paramétrico

Quando John Frazer (2016, p. 19) refere que a meio do século XX as ciências da computação absorveram os conceitos de variável e parâmetro da matemática com o objectivo de criar algoritmos programáveis, expõem de forma nítida a ligação entre estas duas disciplinas. Implicitamente, Frazer deixa ainda perceber a importância do desenvolvimento deste campo para o design paramétrico. Principalmente pelo desenvolvimento dos equipamentos informáticos e do software<sup>47</sup>, ferramentas fundamentais para esta abordagem ao design. A matemática, enraizada no design paramétrico e então assimilada por este novo campo, como já exposto anteriormente por Davis (2013a, p. 18) ou Mário Carpo (2016, p. 26), surge assim como uma base comum transversal a diversos campos.

#### 1.1.3.1 - Software

O software de modelação 3D surge actualmente como uma ferramenta totalmente integrada na prática projectual no sector do Design. Embora este facto não signifique que processos analógicos, como o desenho ou a criação de modelos físicos, tenham deixado de fazer parte da prática profissional, devido às suas inúmeras vantagens assim como pelas novas exigências impostas pela colaboração com indústrias cada vez mais avançadas tecnologicamente, os programas de CAD-CAM<sup>48</sup> tornaram-se praticamente indispensáveis.

Desde o seu surgimento na segunda metade do século XX (Bozdoc, 2003), os softwares de CAD-CAM<sup>49</sup> — assim como outros com uma diferente finalidade— tiveram uma influência directa no Design, tanto pela forma como agilizaram o processo de produção (Waters, 2003, p. 53), como pelas novas possibilidades formais, estéticas e produtivas que vieram permitir explorar (Figuras 1.25-30).

---

<sup>47</sup> Frazer (2016, p. 19), faz ainda referência a Ada Lovelace que, em 1843, escreveu os primeiros programas informáticos introduzindo, numa época anterior à era digital, conceitos como *Loops* (técnica usada na programação que passa pela execução de uma ou mais instruções quantas vezes forem necessárias, até que uma solução satisfatória seja alcançada (Wikibooks, 2020)) e *conditional jumps* (conceito simples definido por valores booleanos. Baseado num processo em dois paços, o código define que se salte caso a condição seja falsa ou se continue caso ela seja verdadeira (Conditional Jumps, s.d.)), conceitos hoje fundamentais na informática e igualmente familiares ao design paramétrico.

<sup>48</sup> A sigla CAD-CAM, frequentemente usada em conjunto, define dois géneros de software distintos, mas complementares: CAD ou Computer-Aided Design, cujo propósito é o desenho bi ou tri-dimensional e CAM ou Computer-Aided Manufacturing tem como finalidade gerar dados de controlo numérico usado como input a equipamentos mecânicos na produção de objectos.

<sup>49</sup> Entre os softwares mais conhecidos usado atualmente está o Auto-Cad®. A este juntam-se outros frequentemente usados como o Solid-Works®, Rhinoceros®, CATIA®, Revit®, 3D StudioMax® ou Cinema 4D® cada um deles apresentado abordagens diferentes ao processo de modelação.



Figura 1.25 – Museu Guggenheim de Bilbao, Espanha. Frank Gehry 1993-1997 (Guggenheim Bilbao)

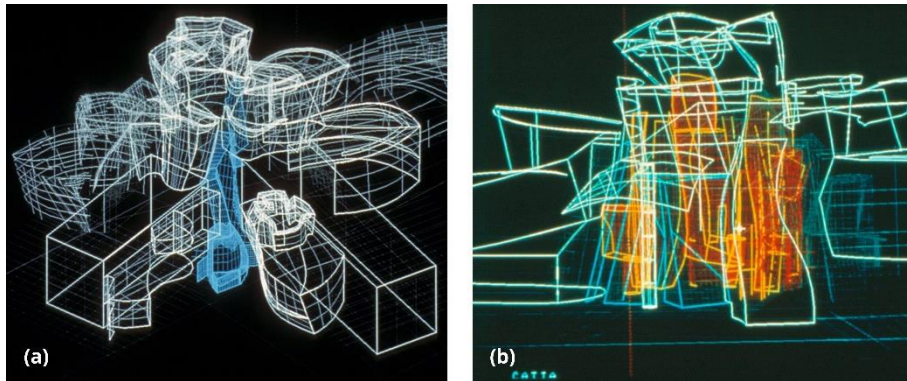


Figura 1.26 – (a) Modelo digital do Museu Guggenheim de Bilbao de Frank Gehry (Wikiarquitectura, s.d.); (b) Modelo digital criado no Software CATIA (Guggenheim Bilbao, s.d.)



Figura 1.27 – Objectos criados por Ron Arad com recurso à tecnologia de impressão tridimensional: (a) GeOff Sphere, 2000 (b) Banana Bowl, 2000 (Ron Arad, 2001)



Figura 1.28 – Garrafa de plástico para a marca Tÿ Nant. Ross Lovegrove, 2000 – 2002 (Ross Lovegrove, s.d.)



Figura 1.29 – Diversos elementos da produção. (a) esquisso criado por Ross Lovegrove com recurso a uma mesa digital (Ross Lovegrove, s.d.; Lovegrove, 2005); (b) modelo criado a partir de um bloco de acrílico maquinado com recurso a uma fresadora CNC (Ross Lovegrove, s.d.; Lovegrove, 2005); (c) Molde metálico produzido com recurso a uma fresadora CNC (The Method Case, 2017).

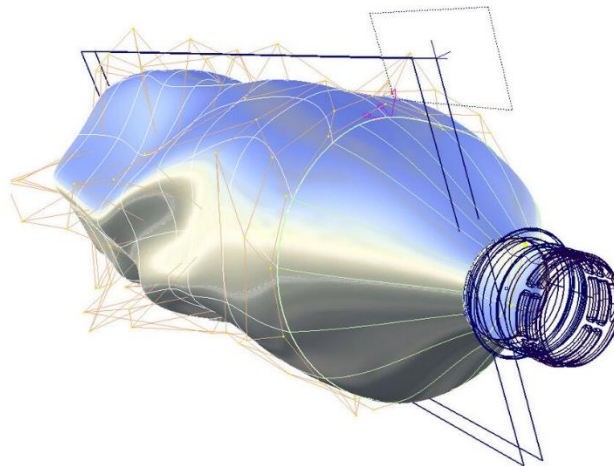


Figura 1.30 – Modelo digital da garrafa de plástico criada para a marca Tÿ Nant (alexandercreate, s.d.; Lovegrove, 2005).

Porém, a complexidade da era actual apresenta novos desafios difíceis de colmatar mesmo com recurso aos softwares comerciais mais recentes. Neste contexto, surge por vezes inclusivamente a necessidade de criar software específico e dedicado à especificidade de determinados projectos, como sucedeu no caso do pavilhão espanhol para a Expo Shangai 2010 (Figuras 1.31-2) criado pela firma de arquitectura EMBT em parceria com a MC2 (Martínez Calzón & Castañón Jiménez, 2010, p. 59). Novas abordagens, colaborações e competências são, portanto, requeridas, principalmente em projectos pioneiros que desafiem os conhecimentos técnicos existente, argumento central apresentado por Rivka e Robert Oxman em “The New Structuralism” (2010).



Figura 1.31 – Estrutura do Pavilhão espanhol para a Expo Shangai 2010. Criado pela firma de arquitectura EMBT em parceria com a (divisare, 2010)



Figura 1.32 - Pavilhão espanhol para a expo Shangai 2010. Criado pela firma de arquitectura EMBT em parceria com a MC2 (divisare, 2010)

### 1.1.3.2 - Software Paramétrico

Desde a invenção do SketchPad por Ivan Sutherland em 1963 (Frazer, 2016, p. 19; Davis, 2013a; Woodbury, 2010, p. 7) ao lançamento do ProEngineer, considerado o primeiro software paramétrico comercial a ter sucesso em 1988<sup>50</sup> (Davis, 2013a; Bozdoc, 2003), à actualidade, o mercado de software CAD foi prolífero. No presente este oferece uma ampla gama de softwares CAD, inclusivamente, focados em determinados nichos como a engenharia, arquitectura ou Design, denotando uma especialização do próprio software (Waters, 2003, p. 55). Não obstante, todos estes partilham um traço comum.

Factualmente, grande parte dos softwares de modelação mais usados na actualidade, considerando a sua base algorítmica confortavelmente oculta por interfaces amigáveis, assentam numa lógica paramétrica (Davis, 2013a, pp. 22-3). Perante esta realidade, e neste contexto específico, o design paramétrico revela-se, portanto, como algo que não é exclusivo daqueles que o fazem assumidamente ou daqueles que recorrem a técnicas mais conotadas a esta abordagem como o *scripting*<sup>51</sup>.

No entanto, existem diferenças substanciais entre softwares, principalmente quanto às suas funcionalidades e aptidão para criar modelos flexíveis, que não podem ser ignoradas. Frequentemente, e independentemente da sua base algorítmica, muitos softwares de modelação tridimensional não permitem introduzir modificações ao modelo digital de forma dinâmica. Nestes softwares, modificação ao modelo digital requerem com regularidade que este — ou parte deste — seja criado de raiz. Esta limitação, intrínseca ao método usado pelo software para gerar geometrias, prende-se com um aspecto mencionado por Woodbury (2010, pp. 22-4): o facto dos modelos criados neste género de software serem definidos por valores reais e não por relações entre as várias componentes que definem o modelo.

Excluindo estes programas, existem actualmente no mercado vários softwares que por via de diferentes abordagens permitem a criações de modelos flexíveis<sup>52</sup>, em maior ou menor

---

<sup>50</sup> O termo “comercial” assume aqui especial relevância visto que, apesar do Sketchpad ser referido frequentemente com sendo o primeiro software CAD paramétrico, este foi desenvolvido num contexto académico / militar (MIT Lincoln Laboratory) ao qual ficou restrito (Weisberg, 2008, Cap. 3) não tendo existido inclusive a intenção de criar um produto comercial (Weisberg, 2008, Cap.6). Somente em 1988 quando a PTC lançou o ProEngineer o software de modelação paramétrica ficou disponível comercialmente para o público em geral (Davis, 2013a, p. 22).

<sup>51</sup> Não obstante, Daniel Davis (2013a, pp. 31-2) assume uma posição mais restrictiva uma vez que, para este autor, o design paramétrico tem início na intenção do designer em declarar explicitamente como resultados derivam de uma série de parâmetros e, sobretudo, na capacidade deste converter as suas intenções em funções explícitas. Esta posição permite-nos perceber que para Davis, a abordagem paramétrica, mais do que a utilização de um software, requer a existência de uma intencionalidade por parte do designer.

<sup>52</sup> A criação de modelos flexíveis não está limitada ao recurso a softwares de modelação 3D. Técnicas como *scripting*, que consiste na redação de linhas de código, podem ser usadas para o mesmo fim, requerendo, contudo, conhecimentos avançados ao nível da programação. A superioridade do software de modelação 3D apresenta assim maiores vantagens, pelo menos no que respeita à acessibilidade a esta abordagem.

grau. Estas abordagens são divididas por Daniel Davis (2013a, p. 23) em categorias como *historic-based*<sup>53</sup>, *visual script*<sup>54</sup>, *physical modeling*<sup>55</sup> e *textual programming*<sup>56</sup>. Entre estas, destaca-se uma abordagem inerente a um dos softwares cujo nome, surge regularmente associado ao design paramétrico: O Grasshopper®.

### 1.1.3.3 - Grasshopper® 3D

Desde o seu surgimento em 2008, o Grasshopper®<sup>57</sup> tornou-se sinónimo de design paramétrico. Sendo uma referência tanto no Design como na arquitectura, este programa, com a sua interface amigável e lógica acessível, esteve na origem de muitos dos projectos icónicos ligados ao design paramétrico. Entre alguns desses exemplos encontram-se o Olympic Sports Center de Hangzhou na China, da autoria do estúdio de arquitectura NBBJ (NBBJ, s.d.), ou os sapatos ILABO (figura 1.33) de Ross Lovegrove cujo algoritmo foi desenvolvido por Arturo Tedeschi (Lovegrove, 2016, pp. 106-7; Tedeschi, s.d.).

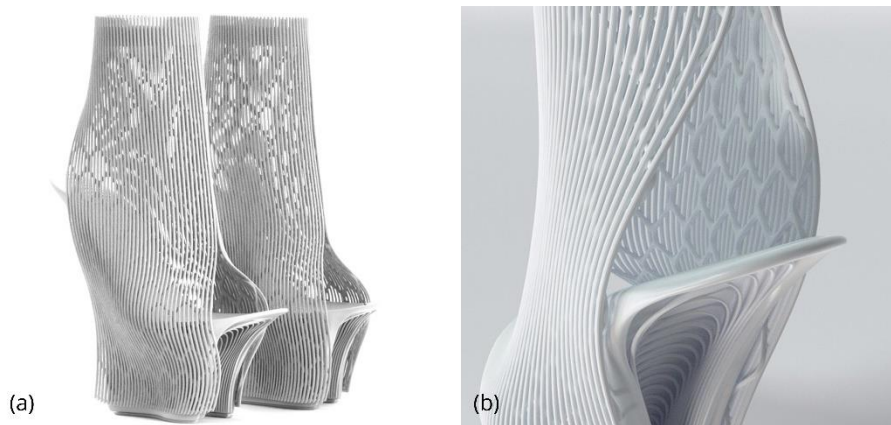


Figura 1.33 – Sapatos “Ilabo”. Ross Lovegrove, 2015 (Tedeschi, s.d.)

---

<sup>53</sup> *Historic-based*: Softwares que rastreiam as várias etapas na criação de geometrias, permitindo que o designer proceda a alterações mais tarde. Solidworks®, CATIA® ou ProEngineer® são exemplos deste tipo de software (Davis, 2013a, p. 23)

<sup>54</sup> *Visual Scripting*: Software que utiliza uma abordagem semelhante a fluxogramas permitindo formar um esquema visual de como os parâmetros geram geometria. Nestes os designers podem manipular os inputs (valores, geometrias, etc) do algoritmo ou o próprio algoritmo de forma a modificar o modelo. São exemplos deste tipo de software o GenerativeComponents®, o Houdini® ou o Grasshopper® (Davis, 2013a, p. 23) abordado mais detalhadamente no próximo subcapítulo

<sup>55</sup> *Physical Modeling*: Diz respeito ao uso de propriedades físicas para calcular formas baseadas num conjunto de parâmetros. Comparativamente partem do mesmo princípio usado por Gaudí nos seus modelos suspensos agora traduzidos para um ambiente virtual (Davis, 2013a, p. 23)

<sup>56</sup> *Textual Programming*: é o recurso à redação de linhas de código por norma via APIs (interfaces incluídos na maioria dos softwares de CAD que permitem definir parâmetros e conjuntos de funções explícitas que geram geometria ou outros tipos de inputs) (Davis, 2013a, p. 23).

<sup>57</sup> O editor de script visual desenvolvido por David Rutten na Robert McNeel & Associados é um plug-in para Rhinoceros® criado inicialmente no ano de 2007 sob a designação de Explicit History, tendo sido posteriormente rebaptizado em 2008 como Grasshopper® (Tedeschi, 2014, p. 33).

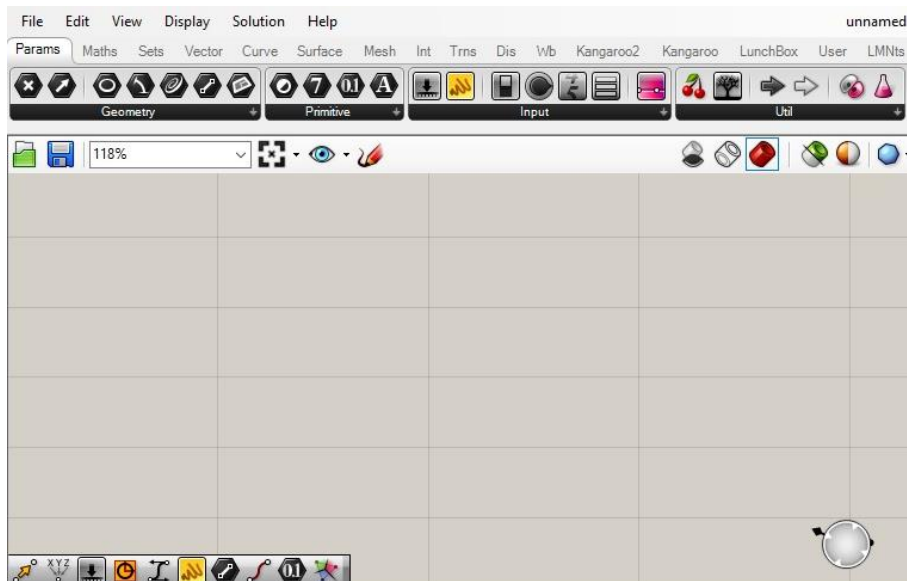


Figura 1.34 – Interface do editor gráfico de algoritmos Grasshopper® 3D

O Grasshopper® é um sistema de propagação (*Propagation-based systems*<sup>58</sup>) no qual *nodes*<sup>59</sup> são arrastados numa lógica de *drag and drop* para o ambiente de trabalho (*canvas*) (Figura 1.34) e conectados entre si por *links*<sup>60</sup>. Desta forma é criado um gráfico direcional<sup>61</sup> no qual os outputs de um determinado *node* são conectados aos inputs dos seguintes, permitindo que os dados fluam progressivamente entre *nodes* (figuras 1.35-6). Esta abordagem é conhecida por *dataflow programming*<sup>62</sup> (Woodbury, 2010, pp. 12-3).

<sup>58</sup> *Propagation-based systems* ou sistemas de propagação, segundo Woodbury (2010, p. 12) derivam de um aspecto da abordagem graph-based de Hoffmann e Joan-Arinyo a qual pressupõem que o utilizador organize um gráfico de forma a que este possa ser resolvido de forma directa. São, segundo Woodbury, o tipo mais simples de sistema paramétrico no qual os objectos ou nodes são organizados num gráfico direcional por onde a informação flui numa lógica de informação conhecida para desconhecida. O sistema propaga-se do que é conhecido para gerar o que é desconhecido (ibid).

<sup>59</sup> Nodes são objectos que contêm propriedades cada uma com valores associados (Woodbury, 2010, p. 13). No caso do Grasshopper®, os nodes podem igualmente ser denominados componentes ou objectos como sucede em alguns manuais de Grasshopper® como são exemplo *Generative Algorithms Using Grasshopper* de Zubin Khabazi ou *The Grasshopper Primer, Foundations* criado pelo Mode Lab. Num fluxograma *nodes* podem ser igualmente apelidados de Nós ou Vértices. Neste contexto *node* ou nó define um ponto (que pode assumir formas distintas como círculos, retângulos ou losango) no diagrama onde as linhas se intersectam ou se dividem (directed graph, s.d.)

<sup>60</sup> Embora Woodbury (2010, p. 13) use o termo *Links* para definir as conexões entre *Nodes*, o termo *Wires* pode ser igualmente empregue como sucede no manual *The Grasshopper Primer, Foundations* criado pelo Mode Lab.

<sup>61</sup> *Directed Graph* ou gráfico dirigido: Na matemática corresponde a uma serie de objectos (denominados vértices ou nodes) que são conectados em conjuntos onde todas as arestas são direccionadas de um vértice em direcção ao outro. Pode ser igualmente denominado diagrama (directed graph, s.d.).

<sup>62</sup> *Data flow*: Num sistema de propagação os dados fluem através do modelo paramétrico. A forma como os dados fluem afecta tanto os resultados possíveis como a forma como o designer interage com estes (Woodbury, 2010, p. 23). Uma forma simples de entender o conceito de *dataflow* é recorrendo à imagem dos diagramas de fluxo ou fluxogramas nos quais a informação flui pelos diversos objectos ou nodes sistema interligados entre si.

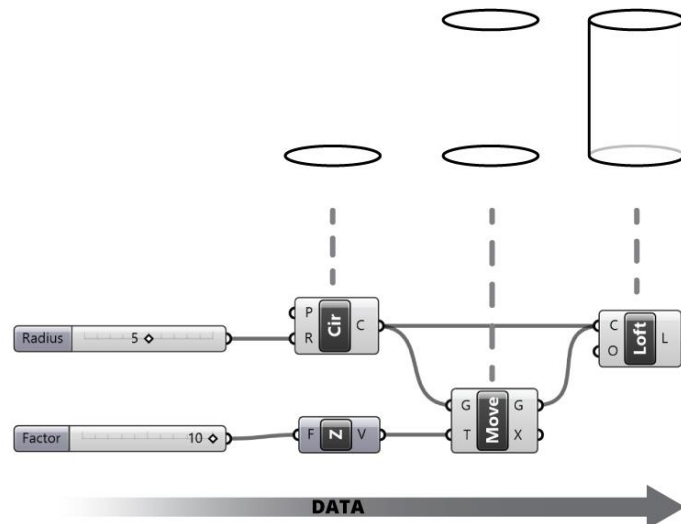


Figura 1.35 - Representação de *data flow* em Grasshopper®. Adaptado de [Tadeschi](#) (2014)

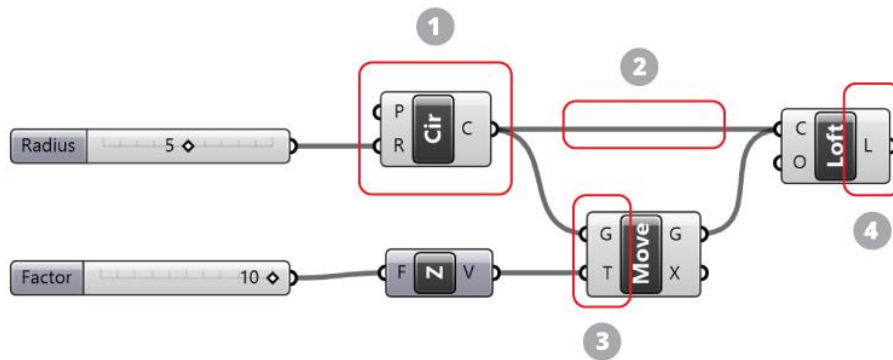


Figura 1.36 - 1: Node; 2: Link; 3: Input; 4: Output. Adaptado de [Tadeschi](#) (2014)

Este plug-in em particular assume especialmente relevância pois surge como uma ferramenta que veio ampliar a acessibilidade a uma abordagem paramétrica digital a um grupo mais amplo de pessoas sem um background prévio de programação. Ao colocar à disposição do utilizador uma ampla variedade de processos prontos a usar, encapsulados em nodes com funções específicas e combináveis entre si, o Grasshopper® libertou o utilizador não só da laboriosa tarefa de escrever linhas de código, como também da imprescindível tarefa de aprender previamente a sintaxe necessária a esse exercício — algo que inevitavelmente representa uma curva de aprendizagem mais longa.

#### 1.1.3.4 - Acessibilidade: Lógica intuitiva e libertação do código:

Robert Woodbury (2010, p. 9) refere que embora com alguma frequência o designer se envolva na complexa tarefa de programar este não é um programador nato, criando por norma pequenos programas — ou copiando e adaptando algoritmos já existentes segundo as suas necessidades — com o objectivo de resolver ou agilizar tarefas específicas.

O surgimento e evolução dos softwares de modelação, cujas interfaces amigáveis e de fácil utilização ocultam toda a complexidade do código que os compõem, tiveram como principal vantagem libertar os designers mais dedicados à abordagem digital da tarefa de programar. Como resultado, o designer passou a poder desempenhar o seu trabalho fazendo uso de uma ferramenta para a qual não lhe era exigido o domínio ou compreensão da estrutura subjacente que a compõem. Toda a linguagem informática e matemática fica assim confortavelmente oculta (Scheurer, 2010, p. 91). Mesmo nos casos em que o designer recorre a softwares menos tradicionais — como é o caso do Grasshopper®, ou programas similares baseados em *scripts* visuais — as interfaces oferecidas por este género de ferramentas permitem que o designer faça uso de programas com uma marcada lógica algorítmica de forma intuitiva e sem a obrigatoriedade de recorrer à redacção de linhas de código. E, embora à semelhança de outros programas, também o Grasshopper® possua APIs<sup>63</sup> que possibilitam a criação de funções com recurso a linhas de código, linguagens mais acessíveis como Python ou C# são por norma as sintaxes usadas.

#### 1.1.3.5 - Primeiras incursões nos sistemas CAD

As primeiras tentativas para desenvolver programas de CAD datam da década de 50 do século XX (Bozdoc, 2003). À semelhança de muitas outras tecnologias, o CAD foi desenvolvido no seio do ambiente militar, fruto de uma parceria entre a força aérea americana e o MIT, entidades que tinham como objectivo criar o primeiro sistema gráfico (ibid). Na mesma década, em 1957, Patrick J. Hanratty, considerado o pai do CAD-CAM, desenvolve o PONTO, considerado o primeiro sistema de programação CN<sup>64</sup> comercial (ibid). Segundo Bozdoc

---

<sup>63</sup> API's ou *Application Programming Interface* são interfaces presentes na maioria dos softwares de CAD que permitem definir parâmetros e conjuntos de funções explícitas que geram geometria ou outros tipos de inputs (Davis, 2013a, p. 23), regra geral, recorrendo à redacção de linhas de código.

<sup>64</sup> CN (Controlo Numérico) – As primeiras incursões para controlar equipamentos automaticamente iniciaram-se na década de 40 do século XX com o trabalho de John T. Parsons. O método usado inicialmente recorria à utilização de cartões ou fitas perfuradas (*punch card*) que ditavam instruções lidas e interpretadas por uma unidade de controlo que convertia as instruções em acção mecânica do equipamento (Groover & Zimmers, 1984, pp. 134-6). Com os avanços no campo da microelectrónica e desenvolvimento dos primeiros computadores digitais estas unidades de controlo foram substituídas por computadores ou microcomputadores que passaram a controlar o equipamento dando origem ao que hoje conhecemos por tecnologia CNC (controlo numérico computacional). Entre as vantagens apresentadas por esta evolução destaca-se uma maior flexibilidade na programação do equipamento, visto que as instruções de controlo são introduzidas directamente na memória do computador podendo ser facilmente alteradas através de modificações no programa, assim como maior controlo e precisão na execução (ibid, pp.202-7).

(2003), os primeiros sistemas de CAD usavam algoritmos simples para produzir padrões de linhas. Somente mais tarde, na década de 70 do século XX, viriam a surgir os primeiros programas com ambiente tridimensional como o CATIA (ibid). Entretanto, a história do CAD ainda haveria de assistir a um outro surgimento relevante: O Sketchpad (figura 1.37).

#### 1.1.3.6 - SketchPad de Ivan Sutherland

Concebido por Ivan Sutherland em 1963<sup>65</sup>, o Sketchpad representa um marco na história do CAD. Considerado por muitos um primeiro software CAD paramétrico<sup>66</sup> é, segundo Davis (2013a) e Bozdoc (2003), o primeiro passo em direção à indústria do CAD. Criado com recurso a um computador TX-2, surge como o primeiro programa CAD interativo que, com recurso a uma *light pen*<sup>67</sup>, permitia ao utilizador não só desenhar linhas e arcos directamente no ecrã, como também, criar relações entre estes elementos, uma função designada por Sutherland de “atomic constraints” (Davis, 2013b)

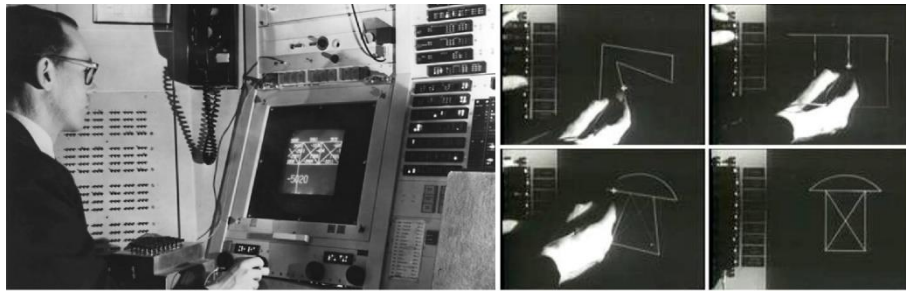


Figura 1.37 - Ivan Sutherland procedendo a uma demonstração do Sketchpad no Lincoln Labs do MIT (Behandish & Ilies, 2017)

Segundo Woodbury (2010, p. 7), Sutherland colocou o design paramétrico como um dos pilares centrais na criação do Sketchpad. Ao permitir que as suas representações se adaptassem num contexto de alteração, o Sketchpad desenvolvido por Sutherland criou e previu uma das principais funções que viriam a caracterizar grande parte do software CAD que estaria ainda para ser criado (ibid).

<sup>65</sup> Alguns autores referem 1960 como o ano de criação do Sketchpad, todavia grande parte das publicações consultadas, entre as quais a tese de Daniel Davis ou *Elements of Parametric Design* de Robert Woodbury, referem o ano de 1963. Como tal, considerando a legitimidade das fontes, 1963 será o ano de referência usado na presente dissertação.

<sup>66</sup> Embora Sutherland nunca tenha empregue o termo “paramétrico” em relação ao sketchpad, segundo Daniel Davis (2013a) este contém todas as propriedades essenciais de uma equação paramétrica. O Sketchpad não só permitia submeter um modelo à experimentação como possibilitava ao designer modificar os parâmetros e relações que definiam o modelo sendo a geometria recalculada e redesenhada automaticamente pelo software (Ibid). Esta capacidade introduzida pelo Sketchpad, de controlar não só os parâmetros de um modelo, mas também as relações subjacentes a este, estão, ainda nos nossos dias, na base de muitos dos softwares paramétricos actuais (ibid).

<sup>67</sup> Light Pen: equipamento sensível à luz usada para desenhar directamente em antigos monitores (CRT) de forma semelhante a um touchscreen (Light pen, s.d.).

### 1.1.3.7 - Primeiros programas de modelação sólida 3D – CATI® e CATIA®

A década de 70 do século XX viu surgir os primeiros programas de modelação sólida computacional<sup>68</sup>. Numa fase inicial estes programas recorriam a sólidos geométricos simples, como cubos, esferas ou cilindros, assim como a operações Booleanas<sup>69</sup> que permitiam conceber novas formas por via da sua combinação – aditiva ou subtractiva (Bozdoc, 2003)<sup>70</sup>. Entre estes programas surge o CATIA®<sup>71</sup> (figura 1.38) criado no seio da indústria da aviação pela empresa Avions Marcel Dassault em 1977 e cuja maior inovação em relação aos programas CAD que o antecederam foi precisamente a possibilidade de permitir trabalhar num ambiente tridimensional<sup>72</sup> (ibid).



Figura 1.38 - CATIA® V1 apresentado pela Dassault Systèmes em 1982 como um add-on para modelação 3D, modelação de superfícies e programação CN (Dassault Systèmes).

---

<sup>68</sup> Note-se que os softwares anteriores apenas permitiam trabalhar em 2D estando limitados a tarefas de *drafting*.

<sup>69</sup> Em ciência da computação, operações booleanas designam um tipo de operação que possui dois valores, que podem ser considerados como 0 ou 1, falso ou verdadeiro. São assim designadas em homenagem ao matemático George Boole (Boolean, s.d.)

<sup>70</sup> Viria inclusive a ser desenvolvida uma versão 3D do Sketchpad (Sketchpad III) por Timothy Johnson igualmente no computador TX-2 do Lincoln Laboratory do MIT. Este viria a ser o primeiro sistema computacional gráfico a implementar as três vistas ortogonais tradicionais de objectos tridimensionais em conjunto com uma vista em perspectiva do objecto (Weisberg, 2008, Cap. 3).

<sup>71</sup> A empresa de aviação Marcel Dassault destacou uma equipa de engenheiros incumbidos de criar um programa interactivo de modelação tridimensional. Inicialmente o programa foi denominado CATI® sendo rebatizado posteriormente CATIA® em 1981 quando foi oficialmente lançado no mercado (Bernard, 2010)

<sup>72</sup> Grande parte dos programas de CAD existentes até então permitiam a execução de tarefas de *drafting* e cálculo, num ambiente bidimensional, sendo que a lógica destes programas tinha por base essencialmente a geometria descritiva. Por sua vez, o CATIA® inovou ao permitir executar o trabalho num ambiente tridimensional, contribuindo inclusive, para a redução das frequentes interpretações erradas dos dados a duas dimensões (Bozdoc, 2003)

Todavia, e apesar dos significativos avanços apresentados pela tecnologia de CAD, o acesso a esta permaneceu limitado às grandes empresas — nomeadamente dos sectores automóvel ou aeronáutico<sup>73</sup> — ou ao sector militar (Bozdoc, 2003; Davis, 2013b). Seriam ainda necessários outros avanços antes de se assistir a uma democratização do acesso a esta tecnologia, assim como, para que esta tivesse um impacto real na produção de bens de consumo. Entre estes, o desenvolvimento do próprio hardware<sup>74</sup> bem como a sua produção com base numa economia de escala capaz de tornar este recurso economicamente acessível a um maior número de pessoas (Davis, 2013b; Waters, 2003, p. 55).

#### 1.1.3.8 - Computador pessoal e minicomputadores como agentes de democratização dos sistemas CAD

Até à década de 80, as grandes dimensões e o preço da maioria dos sistemas informáticos, representavam um entrave à sua aquisição. O acesso aos sistemas informáticos e, em consequência, à tecnologia CAD, ficava assim restrito a empresas de grande dimensão cujo poder económico lhes permitia suportar esse investimento (Davis, 2013b; Waters, 2003, p. 55). Porém, a criação de computadores menos volumosos e mais baratos incentivou a criação de softwares CAD economicamente mais acessíveis (Bozdoc, 2003; Davis, 2013b; Waters, 2003, p. 55). Neste contexto, seria a Autodesk® a dar primeiro passo nessa direcção quando em 1982 surge com o objectivo de criar um software com um preço próximo dos 1000 dólares (ibid).

Ainda na mesma década, em 1989, surgiria o T-Flex criado pela ParametricPro e emergindo como o primeiro programa CAD dedicado à área da engenharia mecânica a ser disponibilizado para PC (Bozdoc, 2003). Um ano antes, em 1988<sup>75</sup>, a Parametric Technology lançaria a primeira versão do ProEngineer®, software que em 1995 e já na sua versão v15, viria a ser o primeiro programa de CAD-CAM de modelação paramétrica de sucesso a chegar ao mercado e a ser disponibilizado para Windows NT (Bozdoc, 2003; Davis, 2013a, pp. 18-22), marcando assim o surgimento no mercado dos primeiros softwares paramétricos.

---

<sup>73</sup> Em 1987 a Boeing adoptou o CATIA em detrimento dos sistemas baseados em VAX da Intergraph para desenvolver o seu modelo 7J7 que mais tarde viria a ficar conhecido como Boeing 777 (Weisberg, 2008). O Boeing 777 surge como a primeira estrutura complexa concebida totalmente em CAD e sem a necessidade de criar modelos físicos do aparelho graças aos avanços ocorridos tanto ao nível dos sistemas informáticos como do CAD-CAM (Weiss & Amir, 2020).

<sup>74</sup> Weinberg (2008, Cap. 4) frisa as limitações do computador TX-2 usado por Sutherland referindo que este não seria prático enquanto sistema comercial devido ao limitado poder de processamento comum, aliás à maioria dos equipamentos disponíveis na altura.

<sup>75</sup> Bozdoc (2003) refere que a primeira versão do ProEngineer® foi lançada em 1989, todavia várias pesquisas incluindo ao próprio site da Parametric Technology, referem o ano de 1988.

O surgimento do computador pessoal emerge neste contexto como uma conquista fundamental não só à evolução dos sistemas de CAD, como também à sua democratização (Waters, 2003, p. 55), tornando os mesmos acessíveis monetariamente a designers independentes sem acesso aos grandes investimentos corporativos. Desta conjuntura resultaram as condições ideais para a exploração formal que marcou a década de 90 do século XX<sup>76</sup>.

### 1.1.3.9 - Software de animação e a exploração de novas possibilidades

No final do século XX, embora apetrechados de novas funcionalidades, os softwares de CAD permaneciam em muitos casos limitados aos planos 2D e às monótonas tarefas de *drafting* ou ao universo dos sólidos platónicos e planos cartesianos (Waters, 2003, pp. 8, 53). Numa tentativa de escapar às limitações impostas pelos softwares tradicionais, na década de 90 do século XX alguns designers e arquitectos passaram a recorrer a softwares destinados a outros fins que não os projectuais entre os quais, software destinado à animação ou efeitos especiais (ibid, p.8; Oxman R. , 2006, p.254) como o Maya<sup>®77</sup>, Softimage<sup>®</sup>, Form Z<sup>®</sup> ou 3D Studio Max<sup>®</sup>, softwares que passam a partilhar o mercado com os tradicionais programas de CAD (Waters, 2003, p. 53)<sup>78</sup>. Estes surgiram assim como novas ferramentas que vieram potenciar a exploração formal empreendida por inúmeros designers e arquitetos no final do século XX.

Desta fuga ao racional, alavancada por um forte espírito de experimentação, estes pioneiros descobrem novas possibilidades no que diz respeito à concepção, manipulação e deformação de geometrias tridimensionais. Entre estas, o recurso a forças virtuais como peso ou movimento, ou a geração de formas com recurso a Splines<sup>79</sup>, Bézier-Curves<sup>80</sup> ou

---

<sup>76</sup> Bürdek (2015, p. 250) refere que a democratização e massificação do PC estimulou a criação de novas funções, os computadores ficaram mais eficientes conseguindo suprir um espectro mais amplo de tarefas factores que aceleraram a complexidade dos produtos.

<sup>77</sup> A primeira versão do Maya<sup>®</sup> foi lançada em 1998. Este é por ventura um dos programas de animação e efeitos especiais mais conhecido tendo surgido da fusão de duas empresas de animação em 1995, a Alias criada em 1983 e a Wavefront no ano seguinte, posteriormente adquiridas pela Silicon Graphics (Waters, 2003, pp. 61-3).

<sup>78</sup> Outros softwares que tiveram um papel importante, principalmente pelo seu surgimento no ambiente do computador pessoal poderiam ser referidos. Entre estes, o 3D Studio<sup>®</sup> cujo primeiro protótipo surgiu 1988 e que seria lançado pela Autodesk<sup>®</sup> em 1990 conjuntamente com o Animator Pro<sup>®</sup> (porém só em 95 o StudioMax<sup>®</sup> sairia para Windows NT<sup>®</sup>) ou o REVIT<sup>®</sup>, que surge em 1997 como paramétrico dedicado à construção (arquitectura) e Cinema 4D<sup>®</sup> que em 1993 lança a sua versão inicial para AMIGA<sup>®</sup> (computador de uso pessoal introduzido em 1985 pela Commodore<sup>®</sup> (Bozdoc, 2003; Amiga, s.d.)

<sup>79</sup> Spline: curva composta pela união de duas ou mais bézier-curves (Woodbury, 2010, p. 154)

<sup>80</sup> Bézier-curve: curva paramétrica definida por uma série de pontos de controlo (Bézier curve, s.d.). São assim denominadas devido ao seu inventor, Pierre Bézier (Waters, 2003, p. 56). São segundo Woodbury (2010, p. 146) a forma mais simples de free-form curves.

NURBS<sup>81</sup> — desde a décadas de 50 e 60 do século XX eram usadas na indústria automóvel (Scheurer, 2010, p. 89) —, novas funcionalidades agora acessíveis por via destes softwares e colocadas ao serviço da criatividade dos designers<sup>82</sup> (Waters, 2003, pp. 8 e 56-9). Trabalhando com estruturas denominadas polisuperfícies isomórficas, também designadas por metaballs, metaclay ou simplesmente blobs<sup>83</sup> (Figura 1.39), estes designers conseguiram gerar formas fluidas inalcançáveis por via dos softwares dos CAD convencionais (Waters, 2003, p. 8), criando produtos cuja estética marcou o final do século XX e início do século XXI.

Nomes como Greg Lynn (Figura 1.40) que introduziu o termo “blob architecture” (ibid, p.59) ou Karim Rashid (Figura 1.41) que cunhou o termo “blobject” (ibid, p.11) surgem como algumas das figuras ligadas e esta prática da qual se originaria o Blobismo<sup>84</sup> (ibid p.8-11).

---

<sup>81</sup> NURBS ou Non-uniform rational B-Splines são representações matemáticas de geometria tridimensional que conseguem descrever com precisão qualquer forma, desde uma linha bidimensional a formas orgânicas tridimensionais mais complexas. Pela sua flexibilidade e precisão, modelos com base em NURBS são usados em diversos programas de modelação tridimensional como, por exemplo, o Rhinoceros® da McNeel (Robert McNeel & Associates, 2019)

<sup>82</sup> A introdução dos conceitos de Splines, Bézier-Curves e NURBS nos softwares de modelação foi fundamental para o desenvolvimento das abordagens mencionadas. Estes conceitos desenvolvidos nos laboratórios Citroën® e Renault® enquanto definições matemáticas para curvas e superfícies curvilíneas ainda nas décadas de 50 e 60 do século XX, era há décadas usada na criação de formas curvilíneas não regulares no seio destas indústrias automóveis antes de serem disponibilizadas nos softwares usados no design e arquitectura que absorveram estes conceitos mais tardiamente (Scheurer, 2010, p. 89). Durante um longo período o modo de operar de muitos dos programas de modelação tradicionais continuou assim a apresentar uma série de limitações que restringiam a gama de formas que estes permitiam modelar. O modo de operar de alguns softwares permanecia restrito à combinação de sólidos geométricos simples, como o cubo, esfera ou cilindro, por via de operações booleanas (Bozdoc, 2003), representando uma significativa limitação à modelação de formas complexas ou irregulares. Outros, que permitiam a criação de formas menos regulares, baseavam-se em equações que permitiam definir uma malha de pontos ao longo de uma superfície. Esses pontos eram posteriormente usados para gerar polígonos formando uma malha (*mesh*). Porém, além de requererem um grande poder de computação, malhas de polígonos (*polygonal mesh*) são, simultaneamente, pouco eficientes para renderizar formas com aspecto suave (Waters, 2003, pp. 55-6) assumindo frequentemente um aspecto facetado. O acesso a softwares de modelação baseados em Splines e NURBS por um maior número de criativos permitiu, portanto, ultrapassar estas limitações (Waters, 2003, pp. 55-6) passando a permitir modelar formas complexas, irregulares, de aspecto fluido e menos racionais, anteriormente difíceis — ou mesmo impossíveis — de conceber. A introdução destes conceitos nos softwares de modelação usados por designers externos à indústria automóvel, resultou assim na criação de novas funcionalidades que permitiram modelar e manipular formas sinuosas livres, não-regulares e não-uniformes cujo resultado, segundo Scheurer (2010, p. 89), pode ser actualmente observado um pouco por todo o mundo. Movimentos como o Blobismo resultaram justamente tanto da experimentação com os softwares (tando o CAD como de animação) como das novas possibilidades trazidas por estes (Waters, 2003). Com esta inovação o software começou a deixar a sua marca no Design.

<sup>83</sup> Deste termo derivam, segundo Waters (2003, pp. 8-11), terminologias como blobject no design industrial ou blobitecture na arquitectura, termos conotados ao movimento Blobismo que, segundo o mesmo autor, tem origem nesta exploração dos softwares de animação e efeitos especiais.

<sup>84</sup> A referência ao Blobismo assume aqui especial relevância pois, além de auxiliar na compreensão da história do design paramétrico e da sua ligação ao campo do software, expõem de forma clara a motivação de alguns designers em recorrer a praticas não standard de forma a chegar a novas estéticas e possibilidades. Não obstante, uma incursão mais detalhada sobre o Blobismo não se considera relevante no contexto desta dissertação.

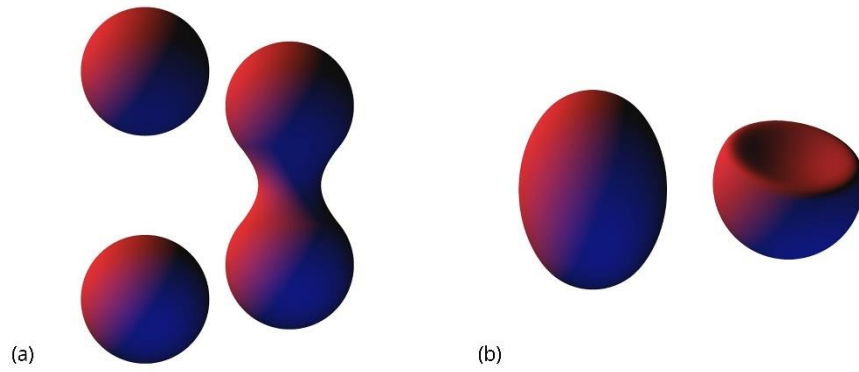


Figura 1.39 – Metaball. (a) Influência mutual entre duas metaballs positivas; (b) influência de uma metaball negativa numa metaball positiva causando uma indentação na superfície da metaball positiva (Metaballs).

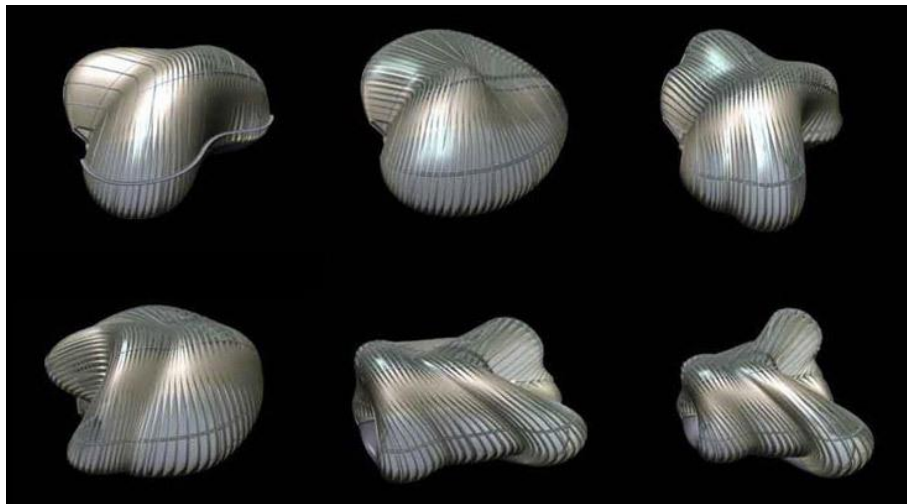


Figura 1.40 - Embryological House. Greg Lynn, 1998 (Young and Brilliant)

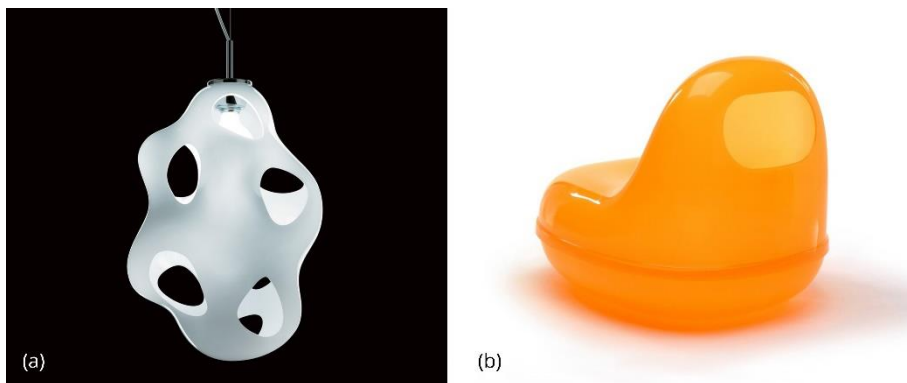


Figura 1.41 – (a) Bokka Lamp para Kundalini, 2006 e (b) Kapsule Chair para Offi, 2001 da autoria de Karim Rashid (karimrashid.com, s.d.)

Segundo Waters (2003, pp. 10, 53), estas tecnologias surgem não só como um meio para atingir um fim — projectar entenda-se. Simultaneamente, estas são como uma ferramenta que permite descobrir novas coisas sobre os próprios projectos (ibid), tornando-se, em certo sentido, colaboradoras no processo criativo dos seus utilizadores (Lynn apud Waters, 2003, p. 53). São, de igual forma, um médium que vem impulsionar a liberdade criativa de designers e profissionais de áreas similares a um nível nunca alcançado anteriormente. Este aspecto pode ser notado nas palavras de Greg Lynn (apud Waters, 2003, p. 59) quando este refere: “ao usar o computador posso criar curvas complexas que não têm raio ou centro. Como a totalidade da forma está ela própria interligada por via de equações matemáticas complexas, posso facilmente puxar ou empurrar a forma e a equação irá recalcular automaticamente as novas relações com a forma. Caso tentasse fazer isto manualmente, um dia de trabalho levaria uma serie de anos”<sup>85</sup>.

Segundo Waters (2003, pp. 59, 63), “as capacidades evolutivas das ferramentas estão a desafiar as antigas noções de Design e arquitectura – ou pelo menos a tornar tais desafios inevitáveis...Para os arquitectos e designers que estão a utilizar este género de ferramentas de forma exploratória, estes têm mais para oferecer do que o lápis ou o papel alguma vez puderam”.

#### 1.1.3.10 - A importância do CAM e da Fabricação Digital

Desde os seus primeiros passos nas décadas de 50 e 60 do século XX, o CAD revolucionou a forma como planeamos, projectamos e produzimos produtos. Contudo esta tecnologia não surgiu como uma inovação isolada. O CAD caminhou lado a lado, tando com a inovação dos sistemas informáticos, como também com outro género de software, o CAM (*Computer-aided manufacturing*)<sup>86</sup>, sem o qual, a concretização de muitos dos projectos idealizados e planeados no ambiente virtual do primeiro, seria difícil, se não mesmo impossível.

Confrontados com este facto, esta inovação, que segundo Waters (2003, p. 55) permitiu aos designers a introdução dos seus planos nos equipamentos de produção de forma directa, eliminando assim a barreira entre designer e produto final, não pode deixar de assumir idêntica relevância. Uma relevância que, no contexto do design paramétrico, parece evidencia-se como pode ser notado nas palavras de Scheurer (2010, p. 91) quando este autor

---

<sup>85</sup> Há nas palavras de Lynn uma lógica paramétrica implícita que pode ser equiparada aos mecanismos lógicos usados por Battista Alberti nos quais as dimensões da composição eram interdependentes ajustando-se a composição sempre que uma das dimensões era alterada.

<sup>86</sup> Softwares de CAM (*Computer-aided manufacturing*) é o software usado na produção de controlo numérico destinado para controlar equipamentos mecânicos na produção de objectos (Computer-aided manufacturing).

refere que, toda a inovação e esforço em termos de design paramétrico seriam inúteis sem os equipamentos de produção controlados numericamente (CNC)<sup>87</sup> que vieram permitir a produção de produtos altamente complexos. Como coloca Bollinger *et al* (2010, p. 38) “é um facto adquirido que se por um lado o design digital aumentou a complexidade das geometrias produzidas os equipamentos CNC são capazes de fabricar essas formas não standard”.



Figura 1.42 – CATIA® e fresadora controlada numericamente a maquinar uma asa de modelo de avião para túnel de vento nas instalações da Dassault Systèmes (Bernard, 2018)

Da conjugação entre estas três tecnologias, resulta um nível de exactidão nunca antes alcançado. Afinal, o recurso a dados explícitos para controlar as ferramentas, não deixa margem para interpretação ou adaptação (Gramazio, Kohler, & Oesterle, 2010, p. 115) uma vez que, a forma gerada em ambiente virtual é convertida directamente no G-Code<sup>88</sup> que serve de linguagem aos diversos equipamentos produtivos, como fresadoras (Figura 1.42), routers, equipamentos de corte a laser ou impressoras 3D (Bollinger, Grohmann, & Tessmann, 2010, p. 38).

Simultaneamente, desta relação surgem novas possibilidades e oportunidades, oferecendo maior liberdade criativa, ao mesmo tempo que fomentam, uma ligação entre fabricação digital e computação. Em consequência surge igualmente uma ligação entre o design idealizado e o seu processo de produção (Gramazio, Kohler, & Oesterle, 2010, pp. 111-2), integrando, como referido por Mário Barros (2015, p. 4) o design e processo produtivo e eliminando o vácuo por vezes existente entre designer e produto final (Waters, 2003, p. 55).

---

<sup>87</sup> CNC ou controlo numérico computacional é um sistema que permite o controle de máquinas, sendo utilizado principalmente em tornos, routers e centros de maquinação. Permite o controle simultâneo de vários eixos, através de uma lista de movimentos escrita num código específico (Comando numérico computadorizado).

<sup>88</sup> G-Code é um código usado para comandar movimentos específicos em equipamentos controlados numericamente. O formato do G-Code é composto pela letra G seguida por dois ou três dígitos (G-code).

#### 1.1.3.11 - Considerações finais sobre o impacto das ciências da computação no design paramétrico

Desde o seu surgimento nas décadas de 50 e 60 do século XX, os softwares CAD, assim como os sistemas de CAM e novos métodos de produção digital, não pararam de evoluir. No contexto actual estas são ferramentas indispensáveis, encurtando o processo entre ideação e produção, agilizando o processo produtivo e permitindo realizar ideias e conceitos que, pela sua complexidade, dificilmente seriam exequíveis por outras vias (Scheurer, 2010, p. 91). Estas revolucionaram igualmente a forma como produzimos objectos. De igual forma, e embora Mário Carpo (2016, p. 27) acuse esta época de algum formalismo, a exploração das novas ferramentas que se iniciou na década de 90, permitiu explorar novas abordagens e estéticas contribuindo para uma maior liberdade criativa no Design. Não obstante, se as possibilidades criadas são a face mais óbvia desta evolução, não podemos deixar de notar a transdisciplinaridade que permitiu o desenvolvimento destes avanços assim como, a interdependência que passou a existir entre design e fabricação referida por Helen Castle (2016, p. 5) ou Scheurer (2010, p. 91).

### 1.1.4 - Principais áreas de Intervenção e Aplicações

A revolução tecnológica, impulsionada pelo surgimento do computador, que teve início no século XX, moldou não só a forma de projectar como, em simultâneo, com o surgimento paralelo de equipamentos providos de tecnologia CNC, a forma de produzir objectos (Bürdek, 2015, p. 254). Em conjunto, estes dois avanços tecnológicos permitiram a criação de formas anteriormente inalcançáveis por via dos equipamentos e métodos existentes (Scheurer, 2010, p. 91), dando origem, simultaneamente, a novas estéticas. Do Design à arquitetura, passando pela engenharia, poucas foram as áreas que ficaram imunes a estas novas possibilidades (Waters, 2003, pp. 8, 55) . O design de produto, em particular, é um sector prolifero em projectos cuja produção beneficiou largamente destas tecnologias.

A cadeira “Osso” (figura 1.43), criada pela dupla Ronan e Erwan Bouroullec para a Mattiazzi em 2011, surge como um exemplo pertinente que corrobora esta afirmação. Nesta, a dupla de designers francesa recorreu a uma fresadora CNC para conceber uma peça escultural, de superfícies suaves, conseguidas graças a um equipamento altamente sofisticado controlado digitalmente (Ronan & Erwan Bouroullec, 2011). A mestria e precisão com que as uniões foram criadas, surge, talvez, como um dos detalhes mais sublimes desta peça, cuja aparente simplicidade, oculta toda a sofisticação inerente ao processo usado na sua produção.



Figura 1.43 - Cadeira "Osso". Ronan e Erwan Bouroullec para a Mattiazzi, 2011. (Etherington, 2011)

Criada em 2010 para a mesma marca, a cadeira “Branca” (figura 1.46), desenhada por Sam Hecht, partilha com o exemplo anterior, a mesma abordagem (Booij, 2011). A pureza e suavidade das formas idealizadas por Sam Hecht, e obtidas graças a uma tecnologia de alta precisão (figuras 1.44-5), uma vez mais, não deixa transparecer o processo tecnológico envolvido na sua produção. Junto dos espectadores menos atentos, a fluidez das formas, superfícies suaves e precisão das uniões, criam a ilusão de uma continuidade material, apenas quebrada pelo veio da madeira, como se o objecto tivesse sido, na sua totalidade, esculpido de um único bloco deste material.

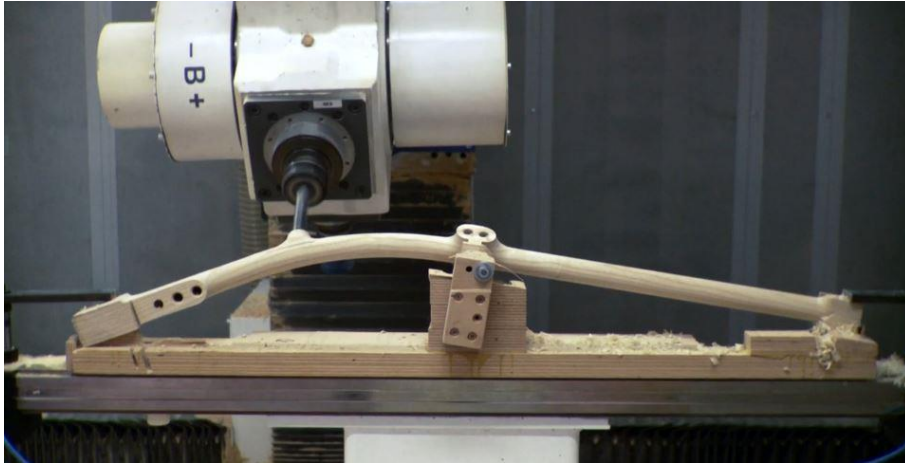


Figura 1.44 -Cadeira "Branca". Sam Hecht para a Mattiazzi, 2010 - Processo de fabrico. Vídeo still 00:04:58 (Booij, 2011).



Figura 1.45 - Cadeira "Branca". Sam Hecht para a Mattiazzi, 2010 - Detalhe de uma das componentes (twentytwentyone, 2012)



Figura 1.46 – (a) Cadeira "Branca Sam Hecht para a Mattiazzi, 2010 (Etherington, 2010) e (b) detalhe (Simon James, s.d.)

Impossível será, em ambos os casos, não notar o carácter contraditório existente nestes objectos. Por um lado, uma estética que nos remete para um passado dominado pela mestria do artesão, por outro, um processo que envolve tecnologia de ponta. Dois conceitos dissonantes que se confrontam no mesmo objecto, fruto da tecnologia da era moderna sem

que, contudo, este o reflita na sua estética<sup>89</sup>. Todavia, se nos casos anteriores há uma supressão do carácter tecnológico envolto na produção dos mesmo, casos há nos quais a estética dos objectos integra e reflete o processo tecnológico que está sua origem, como é exemplo a cadeira de rodas “GO”.

Criada pelo estúdio Layer (Benjamin Hubert), em colaboração com a empresa Materialise, a cadeira “GO” (figura 1.47) surge como outro exemplo de produto no qual se tira partido do avanço tecnológico. Nesta, a equipa de designers recorreu a um modelo digital paramétrico personalizável com recurso à informação biométrica<sup>90</sup> do seu utilizador, para criar um assento personalizado, posteriormente produzido com recurso a um processo de impressão tridimensional<sup>91</sup> (Layer Design, 2016).

Sendo anteriormente algo inalcançável por via dos métodos produtivos existentes, o caso da cadeira “Go” surge como um exemplo irrefutável que evidencia umas das novas potencialidades permitidas pelo uso conjunto destas tecnologias: a produção de objectos detalhadamente personalizados que vão de encontro às necessidades e características únicas do seu utilizador. Simultaneamente, e em oposição aos exemplos anteriores, a cadeira “GO” integra claramente na sua estética a tecnologia na sua origem. Ao declarar explicitamente na sua forma os processos e tecnologias inerentes à sua produção, a cadeira “Go”, assume-se frontalmente como um produto do seu tempo.

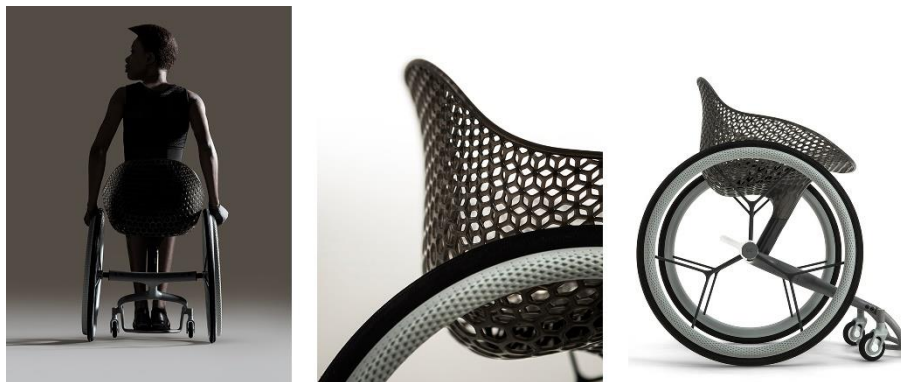


Figura 1.47 - Cadeira de rodas "Go". Layer (Layer Design, 2016)

---

<sup>89</sup> Este contrassenso é criticado por Karim Rashid que considera que os produtos devem reflectir a sociedade tecnológica em que vivemos (Objectified, 2009).

<sup>90</sup> Biometria [bio (vida) + metria (medida)] é o estudo estatístico das características físicas ou comportamentais dos seres vivos (Biometria, s.d.).

<sup>91</sup> No caso concreto da produção do assento da cadeira “GO” foi usada a estereolitografia ou STL (Layer Design, 2016), um dos primeiros sistemas de prototipagem rápida desenvolvido em 1986 por Charles Hall e no qual uma resina fotossensível é endurecida com recurso a um laser (Lesko, 2004, p. 264)

Também a cadeira “Diamond” (Figura 1.48), criada pela marca japonesa Nendo®, explora as possibilidades trazidas pelas novas tecnologias de produção. À semelhança da cadeira “Go” de Benjamin Hubert, também a produção da cadeira “Diamond” envolve o recurso a modelos digitais e à impressão tridimensional<sup>92</sup> (Nendo, 2008). Segundo o autor este processo produtivo apresenta duas vantagens principais. Primeiro, permite que a mesma seja produzida em qualquer parte do mundo bastando, para tal, o envio ficheiro digital (e que o equipamento de produção esteja disponível). E, segundo, permite que este objecto possa ser produzido *on-demand* evitando assim custos relacionados com o armazenamento.

Observe-se que, tanto a cadeira “Go” como a cadeira “Diamond”, apresentam uma estratégia produtiva outrora impraticável pelos métodos produtivos existentes. A produção de moldes de injeção, processo comumente usado na produção de objectos similares, surge como um investimento avultado que, conseqüentemente, obriga à produção em série de grandes quantidades de forma a justificar e colmatar tal investimento.



Figura 1.48 - Cadeira "Diamond". Nendo (Oki Sato), 2008. Processo de fabrico (Nendo, 2008)

<sup>92</sup> Neste caso da cadeira “Diamond” foi usada a sintetização selectiva a laser (selective laser sintering ou SLS) (Nendo, 2008) no qual um pó, normalmente metálico, é sintetizado por camadas com recurso a um lazer (Lesko, 2004, p. 265)

Todavia, não foi apenas o design de produto a beneficiar do desenvolvimento destas tecnologias. A arquitectura tem demonstrado igualmente ser um terreno fértil, no qual novas abordagens e estéticas têm vindo a ser exploradas e do qual surgem diversos exemplos para os quais a aplicação destas tecnologias foi fundamental. Entre estes, a cobertura em madeira, criada pelo arquitecto japonês Shigeru Ban para o centro Pompidou de Metz em 2010 (Figura 1.49), as estações criadas por Zaha Hadid para o funicular de Hungerburg (Figura 1.50), exemplos apontados por Fabian Scheurer (2010) ou o Metropol Parasol em Sevilha, criado por J. Mayer H e a firma de engenharia Arup (Figura 1.51). Três exemplos que, devido ao nível de complexidade originado pela forma fluida, carácter único de cada uma das componentes e intrincadas intersecções, comprovam o argumento de Scheurer (2010, p. 91) de que tais conceitos dificilmente seriam possíveis de conceber sem o recurso às tecnologias e métodos aqui mencionados.

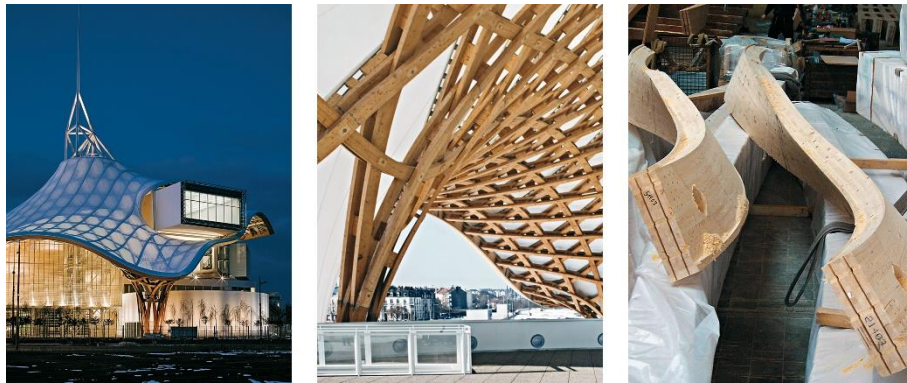


Figura 1.49 - Centro Pompidou de Metz, França. Shigeru Ban, 2010. (Detail, s.d.)



Figura 1.50 - Estação de funicular em Hungerburggahn, Áustria. Zaha Hadid, 2007 (arch20, s.d.)



Figura 1.51 - Metropol Parasol em Sevilha. J. Mayer H e Arup. 2011 (Argyriades, 2011)

Neste sentido, seria incompleto falar de design paramétrico sem abordar as tecnologias da fabricação que vieram permitir materializar muitos dos projetos executados segundo a lógica paramétrica. Tecnologias como a impressão tridimensional ou diversas outras tecnologias baseadas em controlo numérico computacional — como routers, tornos, lasers, etc — que surgem como recursos imprescindíveis e, sem os quais, como coloca Scheurer (2010, p. 91) muitos dos projectos concebidos segundo uma abordagem paramétrica — assim como grande parte dos produtos de uma forma geral — não seriam viáveis, se não mesmo, possíveis. Não obstante, convém salientar que esta afirmação não significa que o design paramétrico passa necessariamente por processos tecnologicamente avançados. Projectos como “Silk Wall” de 2011 (Figuras 1.52-3) ou “Lanxi Curtilage” de 2012 criados por Philip Yuan (2016), provam a inexistência dessa relação de dependência. Ainda assim, a relação do design paramétrico com as tecnologias aqui referidas, além de evidente, não pode (ou deve) ser ignorada.

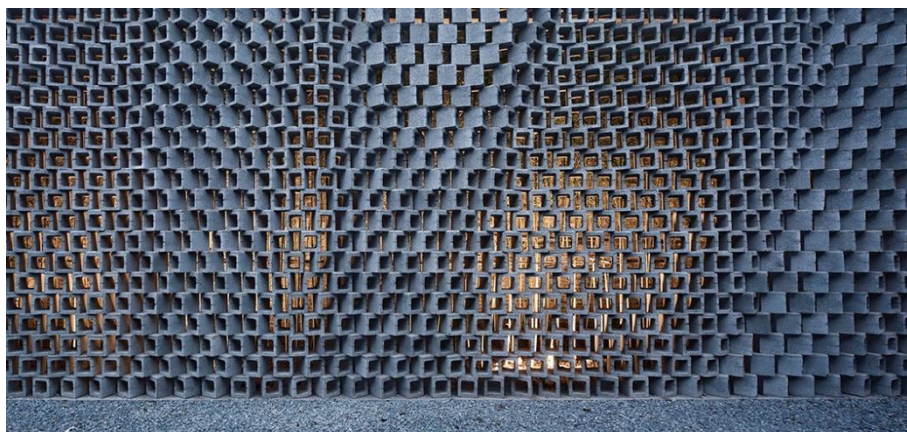


Figura 1.52 - Silk Wall. Philip Yuan, 2011 (Archi-union, 2010)

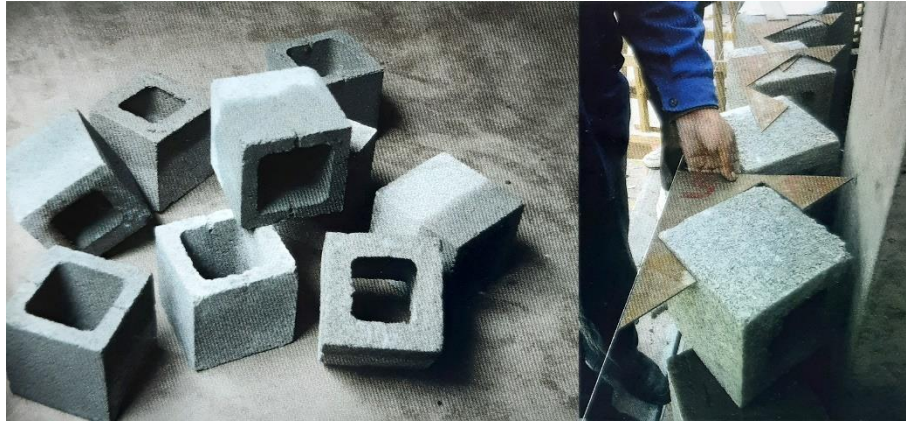


Figura 1.53 – Blocos e instrumentos usados na construção de “Silk Wall”. Os esquadros de madeira facultados pelos arquitectos aos construtores servem para auxiliar no posicionamento e rotação dos blocos. Em “Silk Wall” o efeito é gerado pela rotação dos blocos sendo o valor dos ângulos limitado a 21 valores diferentes (Yuan, 2016, p. 94)

#### 1.1.4.1 - Design paramétrico e a sua relação com as novas tecnologias de fabricação

Os exemplos anteriores indiciam a ligação existente entre o design paramétrico e as novas tecnologias de fabricação que se vieram a desenvolver nas últimas décadas. Entre estas, a tecnologia de fabricação subtrativa e, mais recentemente, a fabricação aditiva. Estas tecnologias, ao permitirem lidar com a complexidade inerente ao design paramétrico (Bollinger, Grohmann, & Tessmann, 2010, p. 38), emergem como um elo fundamental para esta abordagem. Nesse contexto, não será errado afirmar que na ausência de métodos e equipamentos que permitissem materializar muitos dos modelos idealizados no âmbito desta abordagem ao design, o design paramétrico ficaria aquém do seu potencial (Scheurer, 2010, p. 91).

#### 1.1.4.2 - Novos métodos produtivos e de fabricação

A democratização do acesso à tecnologia de impressão tridimensional que assistimos nos últimos anos<sup>93</sup>, conferiu a este campo uma conotação POP. Porém, escondida entre os kits para entusiastas que na actualidade nos chegam em vários formatos e as comunidades online nas quais se partilham experiências e planos de construção, encontra-se um campo com décadas de história e desenvolvimentos (Rifkin, 2016, pp. 157-74), assim como, diversas

---

<sup>93</sup> Rifkin (2016, p. 164) refere que a revolução da impressão 3D teve início da década de 80 do século XX. Não obstante, o seu preço elevado mantinha o acesso a esta tecnologia restrito à arquitectura e às empresas de aviação e automóvel, sectores que estiveram entre os primeiros a adoptar esta tecnologia para a produção de protótipos. No entanto graças a um esforço conjunto de diversos intervenientes (Maker Movement) que contribuíram para a criação de software e hardware de fonte aberta dedicado à impressão 3D esta tecnologia viria a tornar-se cada vez mais acessível ao grande público. Segundo o autor a impressão 3D de fonte aberta atingiu uma nova fase quando Adrian Bowyer e uma equipa da universidade de Bath no Reino Unido desenvolveram a RepRap, a primeira impressora 3D de fonte aberta possível de contruir com ferramentas facilmente acessíveis e que conseguia auto-replicar-se.

tecnologias distintas. Não obstante, na actualidade, à mediada que a designação “impressão 3D” consolida o seu lugar no vocabulário da maioria das pessoas, e que os preços cada vez mais acessíveis desta tecnologia permitem que esta marque presença em casa do cidadão comum — agora em formato gadget tecnológico de interface amigável e cujo tamanho reduzido possibilita a sua colocação numa simples secretaria (Figura 1.54) — facilmente caímos no erro de afirmar que esta é uma tecnologia moderna. No entanto, estamos perante um de três erros comuns que convém esclarecer.



Figura 1.54 - The Cube, impressora 3D de secretaria criada pela 3D Systems (Coutinho, 2014)

Factualmente a impressão tridimensional não é um avanço recente, tão pouco uma tecnologia em específico. Esta é uma técnica que engloba diversas tecnologias que partem do mesmo princípio: a fabricação aditiva. Da mesma forma, em tempo algum se deve considerar que impressão tridimensional e prototipagem rápida são sinónimos, uma vez que a segunda pode abranger dois processos de produção distintos: um processo aditivo e outro subtrativo.

#### 1.1.4.3 - Fabricação aditiva vs subtrativa

No que à prototipagem rápida diz respeito, usam-se essencialmente dois processos distintos: A fabricação aditiva e a fabricação subtrativa (Figura 1.55), denominação directas que não deixam espaço para dúvidas quanto aos métodos inerentes a cada uma destas abordagens.

Pelo método de fabricação subtrativa os modelos são, por norma, gerados pela subtracção de matéria a um bloco de material. Exemplos de métodos subtrativos são o corte por arranque de apara característico de fresadoras ou tornos CNC (Thompson, 2007, pp. 182-5). Em oposição, o método de fabricação aditiva baseia-se na deposição de pequenas camadas de

material — por norma na escala de microns — que em conjunto geram a forma correspondente ao modelo digital tridimensional usado (Thompson, 2007, pp. 232-41). São exemplos deste método várias tecnologias de impressão tridimensional como a estereolitografia ou a deposição de filamento extrudido (FFF - *fused filament fabrication*) das impressoras 3D mais comuns. Neste sentido, quando falamos de impressão tridimensional, referimo-nos assim de forma genérica às diversas tecnologias e métodos de fabricação aditiva.

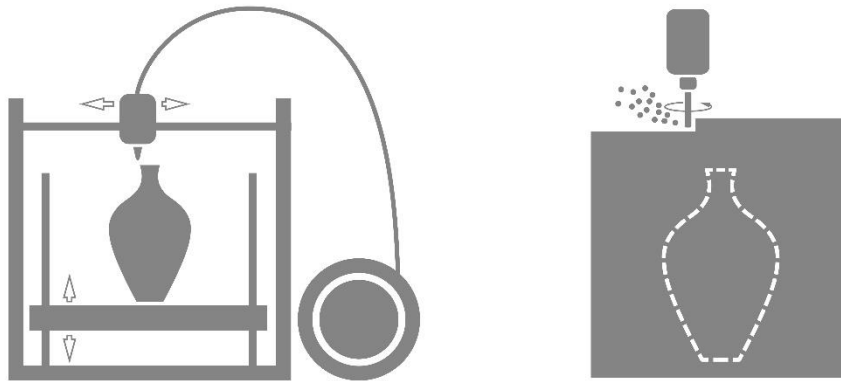


Figura 1.55 - Fabricação aditiva (esquerda) e fabricação subtrativa (direita) (Thompson, 2007)

#### 1.1.4.4 - Impressão 4D (o que é? Vantagens e Limitações)

No contexto da fabricação aditiva — definição técnica usada até agora para fazer referência à impressão tridimensional — surge actualmente uma tecnologia disruptiva que promete trazer novos avanços e abrir novas possibilidades em diversos campos. Falamos da impressão 4D. Este conceito, introduzido por Skylar Tibbits numa conferência TED em 2013<sup>94</sup> (Choi, Kwon, Jo, Lee, & Moon, 2015), surge como uma abordagem inovadora que tira partido da actual tecnologia de impressão tridimensional, sendo uma derivação directa desta tecnologia com a qual continua a partilhar o mesmo princípio produtivo — ou seja, a fabricação aditiva.

No entanto, a introdução de uma quarta dimensão – o tempo – assim como o recurso a materiais pouco convencionais (ibid), surgem como uma diferença substancial entre ambas as tecnologias. A definição “impressão 4D”, portanto, descreve assim a capacidade que um sistema material (ou objecto) possui e que lhe permite modificar a sua forma e/ou função após ser impresso (Tibbits, McKnelly, Olguin, Dikovskiy, & Hirsch, 2014) e quando submetido ou em resposta a um estímulo como, por exemplo, pressão, temperatura, luz ou humidade (Choi, Kwon, Jo, Lee, & Moon, 2015) (Figura 1.56).

<sup>94</sup> Link para consulta: <https://www.youtube.com/watch?v=ogMCZFHv9v8>

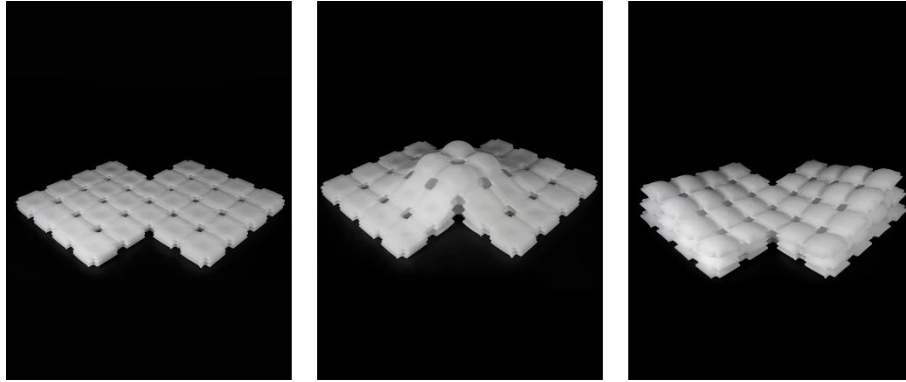


Figura 1.56 – “Liquid printed pneumatics”. Projecto colaborativo entre BMW e MIT. Material insuflável produzido por uma impressora 3D pela tecnologia de rapid liquid printing<sup>95</sup>. A estrutura insuflável, concebida em silicone, pode auto transformar-se, adaptar-se e modificando o seu volume e forma. (Spears, 2018)

Diante da definição e descrição dos processos inerentes a esta tecnologia, poderemos facilmente constatar que as fronteiras que definem o domínio da impressão tridimensional foram nitidamente ultrapassadas. A impressão 4D surge assim como uma tecnologia partilhada emergindo na intersecção entre fabricação aditiva e ciência dos materiais. Entre as diversas possibilidades resultantes desta intersecção, abre-se a possibilidade para a criação de materiais inteligentes possíveis de programar com recurso a esta tecnologia. Neste contexto, a fabricação aditiva pode tornar-se uma sub-área da ciência dos materiais na qual, ao designer, passa a ser permitida a introdução de comportamentos anisotrópicos<sup>96</sup>, assim como capacidades sensoriais baseadas no ambiente circundante, nos objectos que produz, por via de uma deposição controlada e customizada de diversos materiais viabilizada por esta tecnologia (Tibbits, McKnelly, Olguin, Dikovsky, & Hirsch, 2014) (figura 1.57).

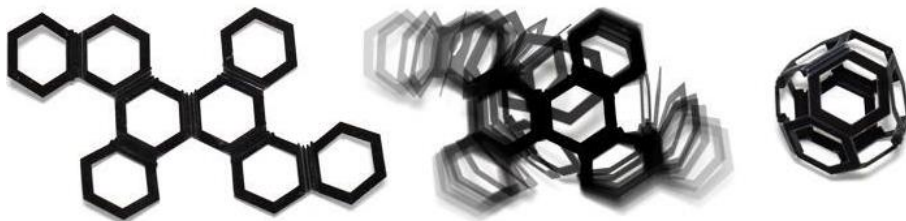


Figura 1.57 – Série de fotografias demonstrando a transformação de uma estrutura plana fabricada por impressão 4D para um octaedro truncado (da esquerda para a direita) (Self-Assembly Lab / MIT, s.d.). A estrutura é criada com dois materiais com propriedades distintas, um plástico rígido que serve de base e um outro que expande quando em contacto com a água. O material expansível é hidrofílico e quando submerso em água absorve este elemento tornando-se num hidrogel aumentando o seu volume em até 150% em relação ao seu volume inicial. Esta expansão gera uma força que conduz um processo de transformação da forma. Só por si o material expansível quando submerso em água produz apenas uma expansão linear, mas quando é conjugado com um segundo material com propriedades hidrofílicas reduzidas, este pode gerar transformações geométricas complexas (Tibbits, McKnelly, Olguin, Dikovsky, & Hirsch, 2014).

<sup>95</sup> Link para consulta: <https://selfassemblylab.mit.edu/rapid-liquid-printing>

<sup>96</sup> Anisotropia é uma característica que uma determinada substância possui na qual uma certa propriedade física varia com a direcção. Oposto de isotropia que define as substâncias que possuem as mesmas propriedades físicas independentemente da direcção considerada (Anisotropia, s.d.)

#### 1.1.4.5 - Vantagens e limitações da tecnologia aditiva

De uma forma geral estas tecnologias de fabricação revolucionaram a forma como projectamos e produzimos. Conjuntamente com o CAD-CAM estas tecnologias promoveram a integração entre o processo de design e o processo produtivo (Barros, 2015, p. 4; Waters, 2003, p. 55; Gramazio, Kohler, & Oesterle, 2010, pp. 111-2) assim como um encurtamento do espaço temporal entre ideação e produção.

A democratização desta tecnologia apontada por Rifkin (2016, pp. 157-74), principalmente as de carácter aditivo hoje acessível inclusivamente ao grande público, veio permitir a produção de modelos físicos e protótipos — em alguns casos funcionais — em ambientes externos às grandes empresas com capital para deter estas tecnologia. Para designers em regime de *freelancing* ou pequenos estúdios, esta tecnologia surgiu como uma via para a concretização de conceitos outrora inviáveis quer para efeitos de testagem, como para produção de pequenas séries<sup>97</sup>. Simultaneamente, permitiu a materialização de forma complexas anteriormente de difícil ou impossível execução pelos processos tradicionais ou mesmo pelos processos de carácter substractivo<sup>98</sup>.

No contexto do design paramétrico e à luz dos recentes avanços, esta tecnologia ganha especial relevância permitindo facilmente produzir objectos customizados como a ortótese criada pelo estúdio Mhox Design (Figura 1.58), ou a produção de objectos maciços compostos de materiais com propriedades distintas como exemplifica o projecto conjunto de Neri Oxman e Iris van Herpen (Figura 1.59) os quais, por via do uso estratégico dos materiais (Oxman N. , 2010, pp. 81-3), podem incorporar determinados comportamentos com os verificados nos objectos resultantes da tecnologia de impressão 4D (Figura 1.57) .

Todavia, estas tecnologias apresentam limitações, entre as quais a dimensão dos equipamentos assim como o tempo que o processo de produção envolve (Barros, 2015, p. 4; Tibbits, McKnelly, Olguin, Dikovsky, & Hirsch, 2014, p. 540). No caso da impressão 4D embora aparente ser promissora, encontra-se ainda em fase prematura sendo apenas testada em alguns projectos de investigação como o liderado por Skylar Tibbits (2014).

---

<sup>97</sup> Apesar das potencialidades introduzidas pela impressão 3D e pela sua democratização, Bürdek (2015, pp. 255-6) alerta tanto para a susceptibilidade por parte dos designers para um certo entusiasmo acrítico em relação às novas tecnologias, assim como para a ideia criada de que todos passaram a ser um designer, apontando ainda para as actuais limitações desta tecnologia e acrescentando apesar do facto desta tecnologia ser ideal para a produção de modelos esta não se adequa à produção de séries ou de produtos complexos e funcionais.

<sup>98</sup> A tecnologia aditiva apresenta algumas vantagens em reção aos métodos substractivos principalmente na criação de morfologias mais intrincadas nas quais possam existir zonas inacessíveis ao equipamento de fresagem como ilustra o exemplo do motor de foguete criado pela Hyperganic (Figura 2.17)



Figura 1.58– Ortótese criada com recurso a um processo generativo e impressão 3D. Mhox Design, 2014. O método usado permite uma produção individualizada usando como referência a anatomia do utilizador obtida com recurso a um scanner 3D (Mhox design, 2014)



Figura 1.59 – Anthozoa, Neri Oxman e Iris Van Herpen, 2013. – Vestido impresso com recurso a uma impressora 3D com recurso à tecnologia Connex3 da Stratasys. Esta tecnologia permite uma variação das propriedades dos materiais que incorporam o objecto (neste caso combinando materiais rígidos e flexíveis), fundamental ao movimento e textura da peça (MIT Media Lab, 2013).

#### 1.1.4.6 - Novos desafios e necessidades para o designer

O design paramétrico requer daqueles que se proponham a abordá-lo uma forma de agir e pensar diferente — e em último grau, estranha — à que o designer está acostumado. Esta afirmação, que encontra sustento de forma resumida na tese de Daniel Davis (2013a, p. 32), é longamente debatida desde a primeira página de *Elements of Parametric Design* de Robert Woodbury (2010). Neste Hugh Whitehead<sup>99</sup> começa por referir que, o design paramétrico, é mais uma atitude do que um software em particular, assim como, devido à sua origem, esta abordagem representa uma forma de raciocínio que pode causar estranheza à maioria dos designers.

---

<sup>99</sup> Introdução ao livro de Robert Woodbury, *Elements of parametric Design* (2010)

Esta é uma ideia reforçada por Woodbury (2010) quando este reconhece que os conceitos que o design paramétrico envolve não são fáceis, principalmente para aqueles com um background típico em Design. Segundo o autor, a prática desta abordagem requer uma personalidade multifacetada, parte designer, parte cientista de computação e parte matemático (ibid, p.7) assim como novas aptidões, entre as quais, a capacidade de pensar matemática e algorítmicamente e a capacidade de pensar abstractamente (Woodbury, 2010, pp. 24-35)<sup>100</sup>. Na era digital conhecimentos técnicos como o domínio de linguagens de *scripting*, manipulação e manutenção de modelos de dados complexos assim como conhecimentos ao nível de diversos softwares são igualmente um requisito (Woodbury, 2010, pp. 24-35; Oxman R. , 2006, p. 262).

Não obstante, além dos conhecimentos técnicos, talvez a capacidade de dialogar e colaborar com outras disciplinas, integrando e mediando conceitos e conhecimentos de campos por vezes tão ímpares ao Design, surja como o um dos maiores desafios para os profissionais desta disciplina que enveredem por esta abordagem. Esta afirmação assume especial relevância quando constatada a integração no domínio do design paramétrico de conceitos provenientes de áreas como a biologia a partir dos quais se procura derivar aplicações assumindo um papel central em diversos projectos de investigação entre os quais conceitos como emergência ou biomimética (Oxman R. , 2006, p. 263).

---

<sup>100</sup> Robert Woodbury dedica diversas páginas do seu livro a indagar sobre as novas capacidades exigidas ao designer caso este pondere uma abordagem paramétrica ao Design

## 1.2 - Biomimética

A história da arte, da arquitectura e do Design é prolifera em exemplos que partem de uma inspiração na natureza (Figura 1.60). Da Arte Nova, onde os motivos florais foram abundantemente usados, à cadeira “Tulip” de Saarinen (Figura 1.61), chegando aos nossos dias com exemplos como Patricia Urquiola com a sua “Antibodi” (Figura 1.62) ou “Algae Elements” dos irmãos Bouroullec para a Vitra (Figura 1.63), estamos genericamente perante produtos cujo conceito partiu — em maior ou menor grau — de uma inspiração na natureza. Não obstante, facilmente poderemos apontar o carácter formalista desta inspiração, cujo reflexo se prende quase em exclusivo à dimensão estética destes produtos<sup>101</sup>.



Figura 1.60 – Casa atelier Victor Horta, Bruxelas (detalhe do interior). Victor Horta, 1898-1901 (Holland, 2019)



Figura 1.61 – Cadeira “Tulip”. Eero Saarinen para a Knoll, 1955-6. (zorrobot.de)

<sup>101</sup> Esta limitação ao formalismo faz com que estes casos não sejam ilustrativos do que é o design biomimético, caindo assim fora do âmbito desta dissertação.

Por sua vez também a técnica — que desde cedo caminhou em uníssono com a arte — demonstrou ser uma observadora atenta da natureza, como colocado por Maria Teresa Cruz (2006, p. 8), “notando as suas formas, qualidades e ocorrências, tentando imitar os seus modelos, muitas das vezes, de forma radical, por via de um mapeamento analítico complementado de minuciosos procedimentos construtivistas e composicionais”<sup>102</sup>.



Figura 1.62 – “Antibodi”. Patricia Urquiola, 2006. (Patricia Urquiola, s.d.)



Figura 1.63 – “Algue”. Ronan and Erwan Bouroullec, 2004. (bouroullec design, s.d.)

No entanto, e independentemente de práticas observacionais de carácter mais ou menos empírico ocorridas ao longo de séculos, será somente no século XX que novas disciplinas se irão consolidar com o propósito bem definido de, além da simples imitação da forma, procurar traduzir e integrar no design princípios funcionais inerentes à esfera natural. Entre

<sup>102</sup> Embora Maria Teresa Cruz não faça referência de forma directa à biomimética, expõem de forma clara as tentativas por parte da técnica em imitar a natureza ao longo da história.

estas a biomimética<sup>103</sup> surge como um ponto de viragem que vem colmatar essa lacuna, buscando inspiração na natureza, não só ao nível das suas formas, mas também, com refere Benyus (1997), procurando mimetizadas suas estratégias e processos.

Ainda assim, a biomimética não surgiu como uma disciplina isolada, representando uma abordagem entre diversas outras que surgiram ao longo do século XX com o similar propósito de procurar a tradução dos princípios inerentes à natureza para fins aplicacionais. De forma genérica referimo-nos a estas abordagens como design bio-inspirado desconsiderando o facto deste termo abranger diferentes disciplinas, estratégias, métodos e propósitos que inevitavelmente produzem resultados distintos. Torna-se, portanto, fundamental definir e caracterizar a biomimética enquanto disciplina assim como o seu método e implicações que traz para o campo do Design em particular.

### **1.2.1 - Biomimética (*Biomimicry*): Definição e Abordagem**

Definir o tema que nos propomos a explorar é possivelmente uma das primeiras tarefas às quais nos devemos dedicar. Talvez por esse motivo, logo nas primeiras páginas do seu livro *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, Janine Benyus (1997) tenha dedicado uma página completa à origem da palavra *Biomimicry*<sup>104</sup>, assim como aos três pilares centrais que compõem esta disciplina: A natureza como modelo; A natureza como medida; A natureza como mentora. Todavia, e não desconsiderando a detalhada incursão elaborada por Benyus, é no site do *Biomimicry Institute* (2019) que é possível encontrar uma definição mais simples e esclarecedora do que é a biomimética, sendo a disciplina definida como “uma abordagem é inovação que procura soluções sustentáveis para os desafios da humanidade, através da emulação dos padrões e estratégias da natureza, testados ao longo de milhares de anos de evolução”. Partindo de uma perspectiva semelhante também Wahl (2006, p. 291) faculta uma definição sucinta, descrevendo a biomimética como uma disciplina que procura integrar processos e modelos da natureza no design de soluções mais sustentáveis aplicadas à concepção de infraestruturas, produtos ou processos (Figuras 1.64-5).

---

<sup>103</sup> Embora o termo *Biomimicry* seja amplamente usado sem recurso a uma tradução, a palavra biomimética é igualmente usada em países de língua portuguesa. Nesta dissertação optou-se pelo uso do termo biomimética por haver um entendimento que este invoca uma perspectiva mais ampla em relação a esta disciplina que não se limita ao trabalho desenvolvido por Janine Benyus.

<sup>104</sup> Existem várias definições de biomimética (*Biomimicry*), umas mais estéticas e formais e outras mais funcionais e estruturantes, mas, essencialmente, esta disciplina pode-se definir como um processo de emulação dos padrões da natureza. Para o tema de trabalho achou-se interessante destacar a definição extraída do livro *Biomimicry - Innovation Inspired by Nature* de Janine Benyus (1997), sobre a qual se transcrevem as três regras fundamentais: “a natureza como modelo; a natureza como medida; a natureza como mentora”

A biomimética é assim apresentada como uma nova ciência que tenta replicar de forma consciente os padrões e métodos da natureza para solucionar problemas humanos (Benyus, 1997, p. 2), partindo de uma abordagem holística<sup>105</sup>, alicerçada por equipas transdisciplinares oriundas de diversas áreas do conhecimento, visando a criação de um design informado (Wahl, 2006).

Contudo, a nova ciência descrita por Benyus, embora consolidada na era moderna, em parte surge apenas com a oficialização por via da ciência de uma prática que o homem exerceu com frequência ao longo dos séculos, agora validada pelo método e rigor científico e da qual a história faculta diversos exemplos.

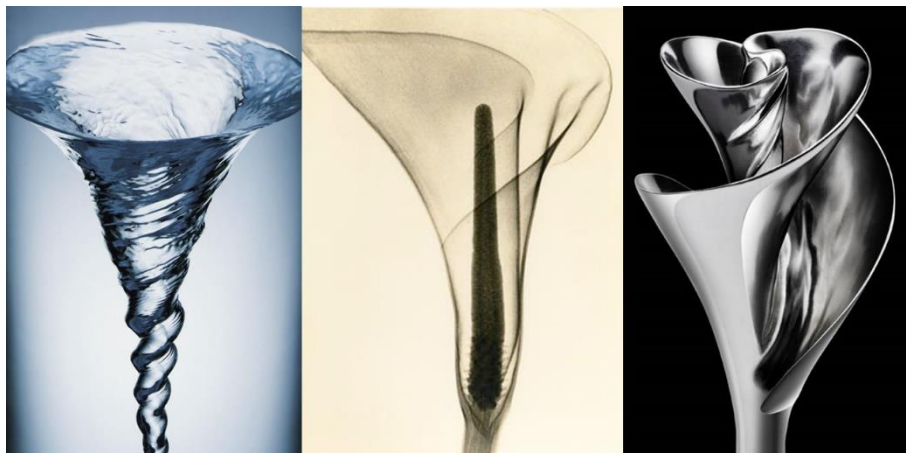


Figura 1.64 – PAX. Hélice desenvolvida por Jay Harman e Imagens que ilustram ocorrências no meio natural que inspiraram na sua criação (bioneers.org, s.d.)

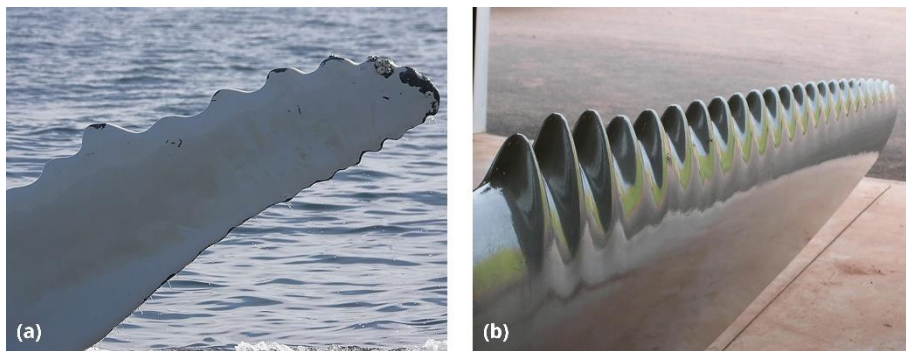


Figura 1.65 – Turbina eólica WhalePower desenvolvida pela WhalePower Corporation. As irregularidades presentes nas barbatanas das baleias serviram de inspiração para a WhalePower Corporation criar uma pá mais eficiente capaz de funcionar com velocidades de vento mais reduzidas. (a) Detalhe da barbatana lateral de uma baleia, (b) detalhe de uma das pás da turbina eólica WhalePower desenvolvida pela WhalePower Corporation. (asknature.org, 2016)

<sup>105</sup> A holística é, nas ciências sociais e humanas, um conceito que defende a importância da compreensão integral dos fenómenos em detrimento de análise isolada dos seus constituintes (holística, 2008-2013). Parte da ideia de que as propriedades de um sistema não podem ser explicadas apenas pela soma dos seus componentes, pois o sistema, como um todo, determina como se comportam as partes (Holismo, s.d.)

## 1.2.2 - Contexto

### 1.2.2.1 - História, origem e evolução.

Partindo de uma perspetiva histórica, ao separar a biomimética de outras áreas do design bio-inspirado facilmente se pode concluir que esta é uma disciplina cuja notoriedade é apenas alcançada em 1997, ano de lançamento do livro *Biomimicry – Innovation inspired by nature* da autoria da cientista e autora Jenine Benyus (Vincent, 2009, p. 919). Não obstante, além do facto de oficialmente esta disciplina ser anterior a Benyus, sendo o termo descrito ainda nos anos 60 do século XX, enquanto prática esta é conceptualmente mais antiga, antecedendo o surgimento do próprio termo que a designa (Vincent, 2009; Vincent, Bogatyreva, & Bogatyrev, 2006; Harman, 2014, pp. 4-5).

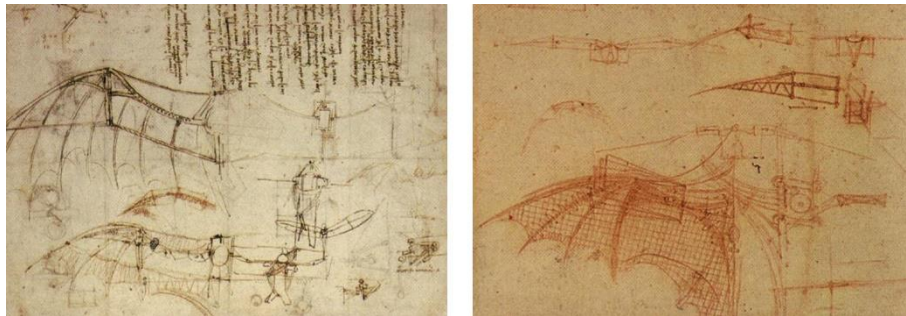


Figura 1.66 – Esquissos com estudos para máquinas voadoras. Leonardo Da Vinci (Ornithoptère, s.d.)

Os estudos para máquinas voadoras realizados por Leonardo DaVinci no século XVI (Figura 1.66) são porventura um dos primeiros exemplos de design inspirado na natureza. Partindo do estudo detalhado das asas de aves e morcegos, o artista e inventor renascentista elaborou inúmeros esquissos que evidenciam essa inspiração<sup>106</sup> (Vincent, 2009; Harman, 2014).

Séculos mais tarde, o Crystal Palace criado por Joseph Paxton (Figura 1.67) para a exposição mundial de 1851 em Londres, surge como um dos maiores exemplos da arquitectura do ferro<sup>107</sup>. A icónica estrutura concebida com amplas áreas envidraçadas e generosos espaços abertos interiores, possibilitados pelos então recentes avanços na área da produção de peças metálicas standardizadas (Francastel, 2000, pp. 91-2; Bürdek, 2015, pp. 19-21), tem uma fonte de inspiração conhecida, os nenúfares, cuja capacidade para distribuir carga pela sua superfície atraiu a atenção de Paxton (Forbes, 2006, pp. 31, 199-200), tendo o botânico

---

<sup>106</sup> Não se pretende afirmar que não tenham existido exemplos desta abordagem anteriores a DaVinci. Afinal, foi cedo que o ser humano aprendeu a buscar inspiração na natureza para os mais diversos propósitos (Harman, 2014). No entanto, o exemplo de DaVinci surge aqui, primeiro pela necessidade de traçar uma linha cronológica algures e, em segundo lugar, por ser um exemplo evidente referido por diversos autores.

<sup>107</sup> A torre Eiffel, construída algumas décadas mais tarde, surge talvez como um exemplo mais conhecido deste género arquitectónico. Sobre a mesma, será igualmente possível alegar a sua inspiração na natureza. Todavia, o Crystal Palace surge como um exemplo concreto e cuja inspiração na natureza está devidamente documentada.

traduzido habilmente as propriedades estruturais desta planta para a estrutura arquitectónica que concebeu. Passado mais de meio século, em 1903, os irmãos Wright realizam o seu primeiro voo (Crouch, s.d.). Partindo de uma cuidada observação do comportamento das aves, os norte americanos conceberam uma aeronave inspirada na estrutura leve e eficiente das asas deste grupo de animais (Benyus, 1997, p. 8).

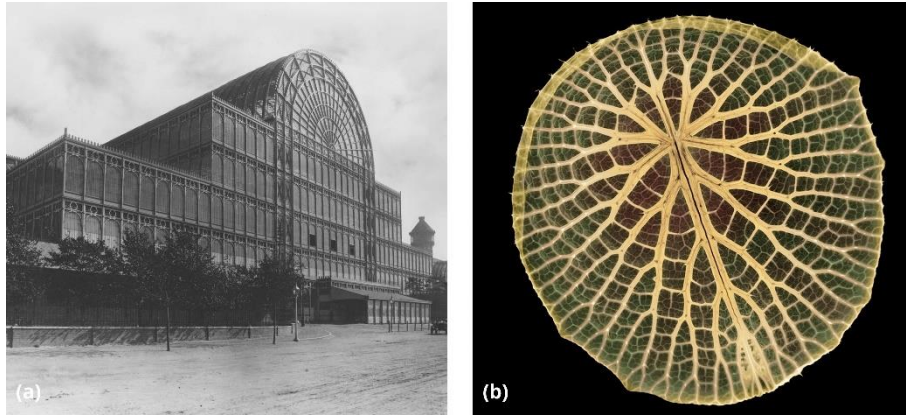


Figura 1.67 – (a) Cristal Palace criado por Joseph Paxton para a grande exposição mundial de Londres em 1851 (Crystal Palace, s.d.). (b) Imagem de raio-x de uma folha de nenúfar (*Victoria amazonica*) demonstrando a sua robusta estrutura. (Weston, 2012)

Os anos 50 do século XX viram surgir o Velcro (Figura 1.68) criado em 1955 pelo engenheiro suíço George de Mestral inspirado pelas propriedades morfológicas das sementes de bardana (Forbes, 2006, pp. 92-5; Vincent, Bogatyreva, & Bogatyrev, 2006, p. 472). Na mesma década o termo “biónica” seria introduzido por Jack E. Steele em 1958<sup>108</sup> (Vincent, 2009, p. 919; Wahl, 2006, p. 292) descrevendo, possivelmente pela primeira vez, uma disciplina dedicada à produção de soluções e aplicações baseadas nos conhecimentos provenientes da biologia (ibid). Levaria quase uma década até que surgisse o termo biomimética (*biomimetics*) usado pela primeira vez pelo biofísico Otto Schmitt num artigo apresentado no congresso de biofísica de Boston em 1969<sup>109</sup> (Vincent, Bogatyreva, & Bogatyrev, 2006, p. 471).

<sup>108</sup> Embora nos seus artigos Vincent e Wahl falem de forma aproximada do ano de 1960 como o ano em que Steele cunhou o termo Biónica, grande parte das fontes da web, artigos e livros consultados fazem referência ao ano de 1958.

<sup>109</sup> Existem algumas discrepâncias quanto à data do surgimento do termo biomimética. Algumas fontes apontam 1957 como o ano em que Schmitt usou pela primeira vez o termo. Porém, segundo Vincent *et al* (2006, p. 471), Schmitt usaria a palavra biomimética apenas em 1969 no título de um artigo da sua autoria. A palavra entraria igualmente para o Webster's Dictionary em 1974.



Figura 1.68 – (a) Semente de bardana (detalhe) (Biomimetics, s.d.). (b) Estrutura do velcro ampliada com recurso a um microscópio (Daniels, 2020)

O século XX não terminaria sem o surgimento de outras inovações de relevo tendo como base a inspiração na natureza. Em 1987 uma membrana de vinil com pequenos sulcos inspirada na pele do tubarão foi aplicada ao casco de um barco de corrida. Esta película, desenvolvida no Langley Research Center da NASA, demonstrou conseguir proporcionar uma redução no atrito de até 8% (McKeag, 2013b, p. 20).

Na arquitectura os ninhos de térmitas — mais propriamente as suas propriedades termodinâmicas — serviram de inspiração ao arquitecto Mick Pearce na criação do Eastgate Center no Zimbabué em 1996 (Forbes, 2006, p. 198; Harman, 2014, p. 145; Turner & Soar, 2008). No ano seguinte, em 1997, Janine Benyus editaria o livro que iria definitivamente chamar à atenção para o termo *Biomimicry* e para o design inspirado na natureza: *Biomimicry – Innovation Inspired By Nature*, sendo este evento precedido de diversas iniciativas conjuntas desta autora que contribuíram para alicerçar e alavancar esta disciplina<sup>110</sup>.

Diante do exposto, o design bio-inspirado enquanto prática e conceito surge como um exercício que o ser humano realizou regularmente ao longo da história. Esta prática precede assim qualquer designação ou terminologia que a possa descrever. O século XX, porém, teve o mérito de além de conferir diversas terminologias a esta prática, incutir em algumas destas métodos e propósitos que permitiram que estas disciplinas se viessem a assumir com ciências de facto. Todavia este não é um aspecto transversal a todas as abordagens que partem de uma inspiração na natureza.

<sup>110</sup> Em 1998, Benyus e Dayna Baumeister fundam o Biomimicry Guild que, cerca de uma década mais tarde, em 2007, se transformaria em Biomimicry 3.8. Um ano antes, em 2006, surge o Biomimicry Institute criado por Janine Benyus e alguns dos seus colegas. Em 2008 nasce o AskNature surgindo como a primeira biblioteca de soluções naturais online (Harman, 2014, pp. 66-7).

### 1.2.2.2 - Distinção entre biomimética, biónica, biofilia e biomorfismo

O design bio-inspirado pode assumir várias formas e diversos propósitos. Termos como biomimética, *biomimicry*, biónica, biofilia ou biomorfismo, são designações utilizadas frequentemente e que definem abordagens que partem de uma inspiração na natureza não existindo, por vezes, uma clara distinção entre estas. No entanto, apesar das semelhanças encontramos-nos perante abordagens distintas. E embora Wahl (2006, p. 296) não considere relevante uma separação nítida entre estas áreas, principalmente entre biomimética e biónica, é contudo, possível — se não pertinente — definir cada um dos termos principalmente quanto à sua forma de operar<sup>111</sup>. Sobretudo considerando que se em alguns casos, como sucede na diferenciação entre biónica e biomimética, ambas as abordagens não se distinguem de forma significativa, noutros, como no caso do biomorfismo, estamos diante de uma abordagem totalmente distinta das anteriores.

No que respeita aos termos *biomimicry* como biomimética ambos definem a mesma disciplina<sup>112</sup> caracterizada, segundo Benyus (1997), por ser uma nova abordagem à inovação que estuda e tenta emular os modelos da natureza de forma a solucionar problemas quotidianos. Esta tem um carácter exploratório e descritivo herdado da biologia como sugerido por Vincent (2014) sendo um método focado na performance (Bernett, 2017). Por sua vez, a biónica, termo atribuído a J. E. Steele, caracteriza-se por ser uma disciplina científica fortemente vinculada às áreas da tecnologia e engenharia, facto que frequentemente surge na base de algumas das críticas tecidas a esta disciplina descrita como detendo méritos e limitações Wahl (2006, p. 292)<sup>113</sup>.

---

<sup>111</sup> Esta separação torna-se pertinente sobretudo quando, no mesmo contexto, são colocadas abordagens meramente formalistas, como sucede na tese de Thomas Button (2016, p. 12), na qual este declara: “Examples of biomimicry in architecture exist in different forms, such as using biomorphic forms, which is the Design of a building form that captures a form found in nature”. Button, que com esta declaração atribui à biomimética um carácter meramente formalista, reduz inevitavelmente o potencial desta disciplina às aplicações estéticas. E, embora posteriormente dê exemplos de aplicações mais estruturais, como o caso do Palazzetto dello Sport de Pier-Luigi Nervi, Button coloca as duas abordagens no mesmo plano, ignorando que a biomimética procura ir além da simples replicação da forma, como fica explícito nas diversas definições desta disciplina avançadas por diversos autores.

<sup>112</sup> O termo *Biomimicry* foi cunhado, concretamente em 1997 por Janine Benyus (Harman, 2014, p. 4). Todavia o termo Biomimética, usado por Otto Schmitt, é mais antigo (Vincent, Bogatyreva, & Bogatyrev, 2006). Não obstante, ambos fazem referência à mesma abordagem.

<sup>113</sup> Wahl (2006, p. 293) refere que, devido a um vínculo exclusivamente tecnológico existente no campo da biónica, chega a existir um desencorajamento no que toca a questões relacionadas com a ecologia e sustentabilidade. Wahl é particularmente crítico relativamente a este posicionamento, referindo que, caso não exista uma mudança de mentalidade no campo da biónica, esta disciplina incorre no risco de ficar presa à tarefa de previsão e controlo da natureza, não criando soluções sustentáveis para as quais é necessário um entendimento das relações complexas entre os diversos factores sociais, culturais, económicos e ecológicos (ibid).

Oriundo dos campos da arquitectura, urbanismo e design de interiores, outro dos termos que recentemente se juntou ao vocabulário do design bio-inspirado, foi o termo “biofilia”. Explorando a conexão entre seres humanos e natureza, a abordagem biofílica tenta replicar as experiências dessa relação no design de forma a reforçar essa conexão (Bernett, 2017)(Figura 1.69). Segundo Allison Bernett (2017), o design biofílico é um método de design que se baseia em evidências de forma a promover melhorias a nível de saúde e bem-estar.



Figura 1.69 – Cascata do Aeroporto Changi, Singapura. Moshe Safdie (The Rain Vortex, s.d.)

Por fim, o biomorfismo<sup>114</sup>, como o próprio termo sugere, define a mera adaptação formal com uma finalidade unicamente estética e sem que qualquer vantagem a nível funcional daí resulte<sup>115</sup>. O termo está fortemente conotado ao meio artístico com expressão em áreas como a arquitectura, pintura, escultura, mas também ao Design (Biomorphism, s.d.) (Figuras 1.70-2).

---

<sup>114</sup> Do grego bios, “vida” e morphé, “forma” (Marco, 2010)

<sup>115</sup> Patrik Schumacher (2018) apresenta uma posição diferente quanto ao valor do biomorfismo principalmente quanto ao seu valor comunicativo referindo em que “Os proponentes da pesquisa biomimética na arquitectura enfatizam frequentemente a distinção entre biomimética e biomorfismo, rejeitando o último como sendo superficial e sem sentido, quando comparado com as realizações performativas da biomimética. Esse julgamento faz sentido a partir de uma perspectiva de engenharia a qual exige desempenho físico em relação a uma determinada demanda técnica. No entanto, na arquitectura esse julgamento arrogante é falacioso. Este perde o ponto essencial de que a arquitectura está preocupada com o desempenho social e que o desempenho social do ambiente construído depende fortemente de seu desempenho visual em termos de manutenção da legibilidade diante da complexidade urbana, e argumentarei que a biomorfismo pode potencialmente ter um desempenho melhor nesta contagem do que, por exemplo, o minimalismo, pós-modernismo ou o desconstrutivismo”.



Figura 1.70 – “Wing Armchair”. Franco Campo e Carlo Graffi, 1950 (aprox.) (Christie's, s.d.)



Figura 1.71 – Bicicleta “Spacelander”. Benjamin G. Bowden, 1946 (Biomorphism, s.d.)



Figura 1.72 – “Orgone Chair”. Marc Newson, 1993 (Newson, s.d.).

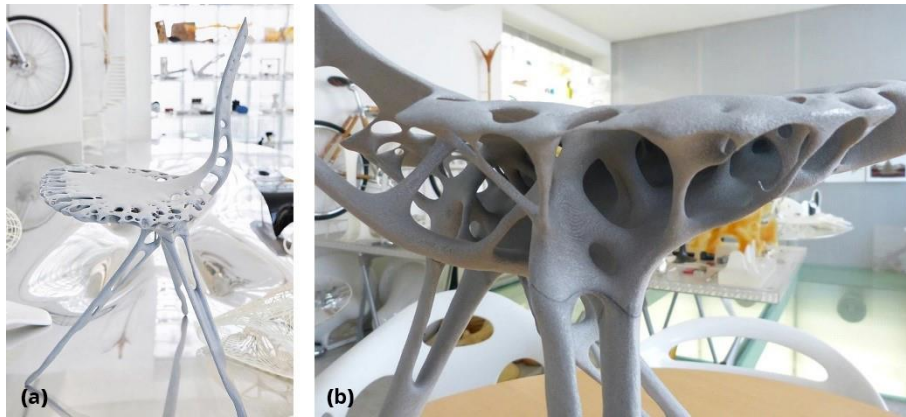


Figura 1.73 – (a) Corolised Chair. Ross Lovegroove – Criada como parte de um projecto de exploração das potencialidades da impressão tridimensional (Sieveking Verlag). (b) Detalhe (Lucchi, 2018)

O design bio-inspirado surge assim com um termo *umbrela* usado de forma genérica para definir diversas abordagens que partem de uma inspiração na natureza, mas que, contudo, diferem entre si quanto à sua aplicação e finalidade (Figura 1.74). Importa reter, que comparativamente o foco da biofilia é a promoção do bem-estar humano. O biomorfismo resume ao domínio da estética. E embora a biónica e a biomimética busquem a criação de soluções aplicacionais a partir de uma mimetização dos mecanismos da natureza, a primeira detém um forte vínculo à engenharia e à tecnologia, sendo que a segunda, além de buscar emular a natureza também ao nível dos seus processos e estratégias (Figura 1.73), distingue-se fundamentalmente da biónica pela forte conotação à ecologia e assentando noutra vertente igualmente íntima ao Design: A sustentabilidade.

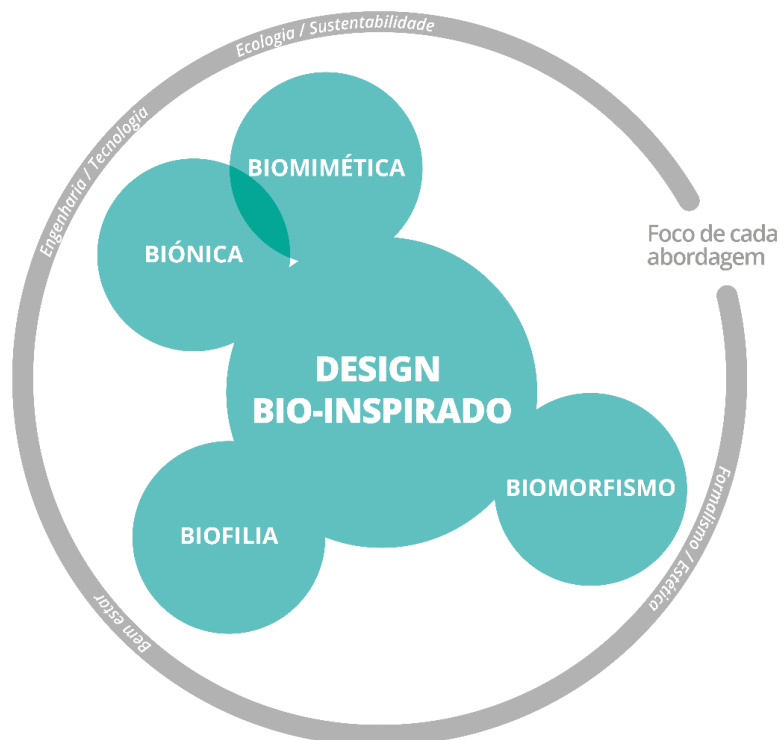


Figura 1.74 – Ralação entre os diversos termos e abordagens qualificáveis como design bio-inspirado e seu respectivo foco.

### 1.2.2.3 - Posicionamento dentro do design para a sustentabilidade

A biomimética não surge com uma disciplina isolada. Esta faz parte de um grupo maior de disciplinas que formam um ramo do Design denominado design para a sustentabilidade ou design sustentável. Esta vertente, muitas vezes vista como uma única disciplina, engloba, no entanto, diversas abordagens entre as quais se encontra a biomimética. Este aspecto é evidenciado por Fabrizio Ceschin e Idil Gaziulusoy (2016) os quais fragmentam o design sustentável em diversos níveis e sub-grupos (Figura 1.75), posicionando a biomimética num nível ou grupo que definem como inovação de produto. Dentro deste, a biomimética forma um sub-grupo definido pelos autores como design inspirado na natureza conjuntamente com o Cradle-to-Cradle.



Figura 1.75 - Fragmentação do design para a sustentabilidade. Adaptado de Ceschin & Gaziulusoy (2016)

### **1.2.3 - Principais áreas de intervenção e aplicações**

Quando em 1998 Janine Benyus e Dayna Baumeister criaram o Biomimicry Guild tiveram como objectivo trazer os seus conhecimentos da área da biologia para o Design (Harman, 2014, p. 66). Almejavam assim aplicar esse conhecimento à criação de soluções inovadoras. Funcionando como uma agência de consultoria o Biomimicry Guild colaborou com centenas de empresas e clientes dos mais distintos ramos, ajudando no desenvolvimento ou redesign de uma ampla variedade de produtos, desde o mobiliário a aviões, processos produtivos, urbanismo ou sistemas (Harman, 2014, p. 66). O vasto acervo de trabalhos do Biomimicry Guild surge assim como um indício irrefutável e suficientemente esclarecedor que comprova o potencial desta abordagem, quer pela amplitude de possíveis soluções aplicacionais que por via desta podem ser geradas, quer pela transversalidade de áreas possíveis de intervenção por esta disciplina.

No que ao Design em particular diz respeito, à semelhança de outras abordagens também a biomimética surge como um recurso valioso à disposição do designer, auxiliando não só na criação de soluções inovadoras — usando a natureza como referência e emulando as soluções que esta desenvolveu ao longo de anos para problemas similares (Benyus, 1997) — mas sobretudo mais eficientes e sustentáveis com potencial para colmatar muitos dos problemas com os quais o ser humano se confronta atualmente.

Neste contexto, não surpreende que biomimética actue principalmente em áreas vinculadas à inovação tecnológica. Principalmente áreas focadas na eficiência — estrutural, energética ou outra — que procuram através de uma abordagem biomimética pistas ou ideias que possam contribuir para o desenvolvimento de soluções optimizadas, mas também, áreas marcadas por um forte vínculo à sustentabilidade e à ecologia.

Do sector automóvel ou dos transportes ao sector da produção de energia a partir de fontes renováveis, da criação de equipamentos desportivos, sejam eles vestuário ou acessórios, aos vários ramos da engenharia, passando por áreas digitais como automação ou a inteligência artificial, a biomimética revela-se como uma disciplina transversal com potencial de intervenção em diversas áreas sobre as quais, mais do que a realização de uma enumeração vã, a apresentação de exemplos práticos que resultam desta abordagem e oriundos de distintas áreas representa um contributo de maior valor para um entendimento mais completo sobre o tema.

### 1.2.3.1 - Exemplos de aplicações resultantes de uma abordagem biomimética

Como referido por Wahl (2006, p. 296), estabelecer uma linha divisória que separa nitidamente o domínio da biomimética de outras áreas, como a biónica, surge como uma tarefa irrelevante, particularmente quando consideradas as potencialidades oferecidas por ambas as disciplinas e sobretudo os contributos que ambas trouxeram para áreas tão fulcrais como a sustentabilidade (ibid). Sem embargo, esta é uma separação pertinente em determinados contextos, principalmente quando impera a necessidade de apresentar exemplos de casos e aplicações relativas ao domínio de uma ou outra abordagem que permitam ilustrar tanto as vantagens de uma abordagem biomimética como expor em que esta consiste. No entanto, constata-se que frequentemente o mesmo projecto é usado para exemplificar diferentes abordagens, não havendo uma clara percepção sobre qual abordagem em concreto esteve na origem de determinada aplicação. Ainda assim, e conscientes desta limitação, é possível apresentar diversos projectos referenciados como resultantes de uma abordagem biomimética.

#### 1- GEMASOLAR – CENTRAL FOTOVOLTAICA INSPIRADA NO GIRASSOL

A crescente procura por fontes de energia mais sustentáveis registada nos últimos anos, foi responsável pelo surgimento um pouco por todo o mundo de parques superdimensionados destinados à produção de energia solar. Entre os métodos mais usados, o recurso a células fotovoltaicas que convertem a energia solar em energia eléctrica, é talvez o que nos é mais familiar. Existem, contudo, outros métodos com a mesma finalidade.

O recurso a helióstatos — espelhos de grandes dimensões usados para direccionar a luz solar, concentrando a incidência da mesma num ponto preciso — é outro dos métodos usados que tiram partido da radiação do sol. O feixe de luz solar resultante por via deste método, capaz de gerar altas temperaturas, é usado no aquecimento de água produzindo vapor usado para movimentar as turbinas responsáveis pela produção de energia eléctrica (asknature.org, 2017). Estruturas com esta tipologia apresentam, contudo, um problema há muito conhecido. Instalados a distâncias relativamente próximas os painéis produzem zonas de sombra cobrindo mutuamente painéis adjacentes. Um aspecto que se traduz em perdas de eficiência (asknature.org, 2017).

A solução encontrada para contornar esse problema partiu de um fenómeno natural já descrito: A distribuição das sementes do girassol (Figura 1.76) cujo empacotamento é regido por uma lógica matemática precisa, seguindo um padrão em espiral no qual cada semente vira a um ângulo dourado de cerca de  $137^\circ$  em relação ao seu vizinho garantindo, desta forma, o máximo de eficiência em termos de exposição solar para cada semente (asknature.org, 2017).

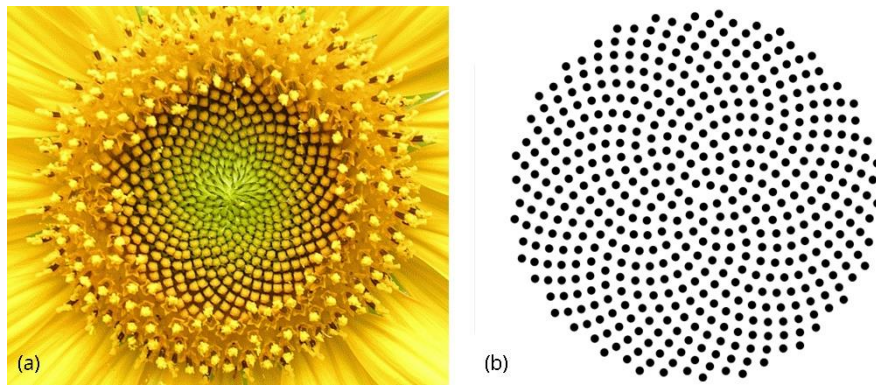


Figura 1.76 – (a) Pormenor da parte central de um girassol. (b) Ilustração da fórmula de Vogel representando o padrão do girassol (asknature.org, 2016).

A tradução deste princípio natural para fins aplicacionais, esteve na origem da central fotoelétrica Gemasolar na Andaluzia (Figura 1.77), na qual esta abordagem proporcionou, além de uma redução de cerca de 20% de área necessária para a instalação, ganhos em termos da eficiência da mesma (asknature.org, 2017).



Figura 1.77 – Gemasolar, central fotoelétrica, Andaluzia, Espanha (asknature.org, 2017).

## 2- SHINKANSEN – COMBOIO BALA JAPONÊS INSPIRADO NO BICO DO GUARDARIOS E NAS ASAS DA CORUJA

Os comboios-bala (Figura 1.78) são inegavelmente uma das imagens de marca do Japão. Alcançando velocidades superiores a 300km/h estas magníficas obras de engenharia e design estiveram, porém, praticamente até ao final da década de 90 do século XX, impedidas de utilizar todo o seu potencial (McKeag, 2012a). Em causa, o ruído produzido pela própria deslocação dos equipamentos, ampliado em razão do aumento da velocidade, tornando-se dominante quando o comboio ultrapassava os 200km/h superando os limites de ruído impostos pelas restritas normas locais (ibid). A este problema já suficientemente limitador, somava-se ainda a explosão sónica produzida pelo equipamento sempre que este atravessava um túnel (ibid).



Figura 1.78 – Comboio bala (Shinkansen) na estação ferroviária de Fukuoka, Japão, 1975 - Exemplos das primeiras series (Brasor & Tsubuku, 2014).

Um estudo viria a revelar duas origens distintas para os problemas apresentados: os pantógrafos<sup>116</sup> (Figura 1.80) no topo das carruagens, responsáveis por conectar o equipamento à rede elétrica, e o formato da parte frontal do comboio (McKeag, 2012a). No primeiro caso apurou-se que a causa do ruído se devia à fraca aerodinâmica dos pantógrafos, os quais originavam grandes vórtices de ar com a deslocação do equipamento (ibid). No caso da explosão sónica produzida sempre que o comboio atravessava um túnel, verificou-se que esta resultava da pressão atmosférica gerada na parte frontal do equipamento e posteriormente libertada à saída do túnel (McKeag, 2012a), um fenómeno conhecido como onda de micro-pressão<sup>117</sup> (McKeag, 2012a, pp. 24-8).

As soluções encontradas para resolver ambos os problemas, viria a surgir mediante a mimetização das propriedades fisionómicas de duas aves guiando o redesign das componentes problemáticas do comboio bala liderado por Eiji Nakatsu <sup>118</sup>: A coruja e o guarda-rios (McKeag, 2012a).

Conhecida pelo seu carácter furtivo e voo silencioso, a coruja deve essa capacidade às propriedades formais das penas primárias exteriores que revestem as suas asas. O rebordo destas penas é composto de pequenas estruturas de aspecto serrilhado semelhantes a minúsculas rebarbas de aspecto curvo denominadas fimbrias

---

<sup>116</sup> Dispositivo articulado existente na parte superior de locomotivas, automotoras, eléctricos e outros meios de transporte eléctricos, que permitem receber corrente eléctrica da catenária (Pantógrafos, s.d.).

<sup>117</sup> Ocorrência na qual o ar empurrado sob pressão na frente do comboio é libertado em forma de uma onda de baixa frequência produzindo uma explosão sónica e vibrações aerodinâmicas (McKeag, 2012a, pp. 24-8).

<sup>118</sup> Eiji Nakatsu (Figura 1.82), à época director geral do departamento de desenvolvimento tecnológico da Japan Railway, chegou a estas soluções após assistir a uma palestra sobre aves apresentada por um engenheiro de aviação (McKeag, 2012a).

(*fimbriae*) ou *flutings* (Figura 1.79). Estas estruturas têm como propósito quebrar o ar que atravessa as asas desta ave gerando pequenos vórtices que previnem a formação de grande turbulência e, em consequência, também de ruído (ibid).



Figura 1.79 – Detalhe das bordas serrilhadas características das asas de coruja (McKeag, 2012a, p. 22).

Uma solução análoga foi desenvolvida para os pantógrafos do comboio bala. O redesign desta estrutura permitiu então que o comboio passasse a circular a velocidades próximas dos 320Km/h mantendo ainda assim o nível de ruído 2dB(A) abaixo do limite imposto pela legislação local. Adicionalmente, esta adaptação traduziu-se ainda em ganhos ao nível da eficiência energética e do conforto dos passageiros (McKeag, 2012a).

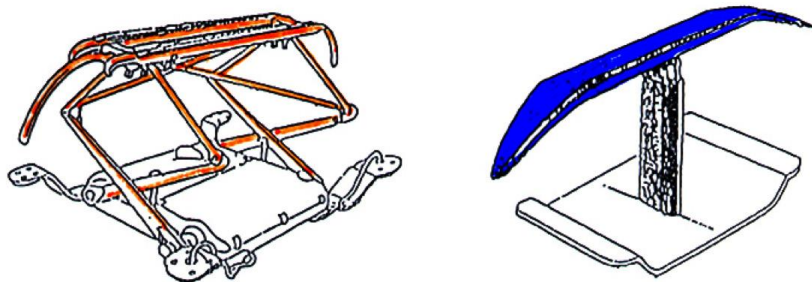


Figura 1.80 –Pantógrafos do comboio. Modelo antigo à esquerda e novo modelo desenvolvido para o comboio bala inspirado na asa de coruja do lado direito (McKeag, 2012a, p. 25).

A inspiração subjacente à solução encontrada para a resolução do problema da explosão sónica presente sempre que o comboio atravessava tuneis, teve origem noutra ave, o guarda-rios, mais concretamente, no longo bico que esta ave ostenta (Figura 1.81). Esta característica fisionómica permite que esta ave mergulhe a grande velocidade na água sem que com isso cause grande perturbação na superfície. O estudo da forma do bico desta ave demonstrou-se essencial revelando que, além de longo, este é consistentemente redondo aumentando a sua área a um rácio constante, formando uma parábola rotativa (McKeag, 2012a).

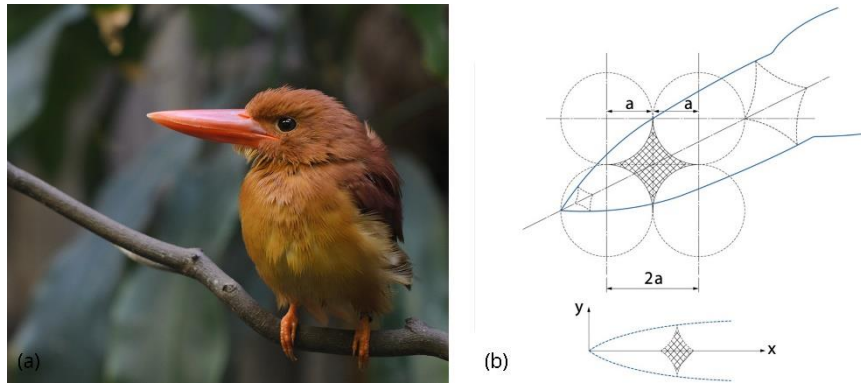


Figura 1.81 – (a) Guarda-rios (*Alcedo atthis*). (b) Estudo esquemático do bico do guarda-rios o qual se caracteriza pela forma parabolóide rotativa com uma área seccional que se altera a uma taxa constante (McKeag, 2012a, pp. 25, 27) .

A tradução da forma do bico do guarda-rios para o nariz do comboio bala resultou em melhorias quanto à sua aerodinâmica, reduzindo a acumulação de pressão atmosférica responsável pela explosão sónica mesmo quando este circula a velocidades superiores a 300Km/h. Desta melhoria resultaram ainda em ganhos em termo de consumo energético resultantes da menor resistência proporcionada pelo novo design (ibid).



Figura 1.82 – Eiji Nakatsu junto a uma locomotiva da serie 500 na estação de Hakata, Japão (McKeag, 2012a, p. 33)

### 3- SHARKLETT: UM CASO PRATICO DE PRODUTO BASEADO NA PELE DO TUBARÃO

Observada sobe a lente do microscópio, a realidade que julgamos conhecer assume formas e comportamentos que anteriormente desconhecíamos. A textura da pele do tubarão é um caso pratico que sustenta esta afirmação. Quando ampliada, a superfície aparentemente lisa da pele deste animal assume uma aparência escamosa estando coberta por placas lamelares denominadas dentículos dérmicos (Figura 1.83)

(McKeag, 2013b). Estas microestruturas responsáveis por reduzir o atrito quando este animal se desloca em meio aquático, conferindo a este ser uma capacidade de movimentação extremamente eficaz, demonstraram igualmente possuir outra propriedade menos óbvia: ser antibacterianas (Harman, 2014, pp. 83-5).

Esta qualidade inerente à pele do tubarão esteve na origem da tecnologia Sharklet™, um revestimento desenvolvido por uma equipa de investigação liderada por Anthony Brennan e financiado pelo gabinete de investigação naval dos Estados Unidos (Harman, 2014, pp. 83-5).

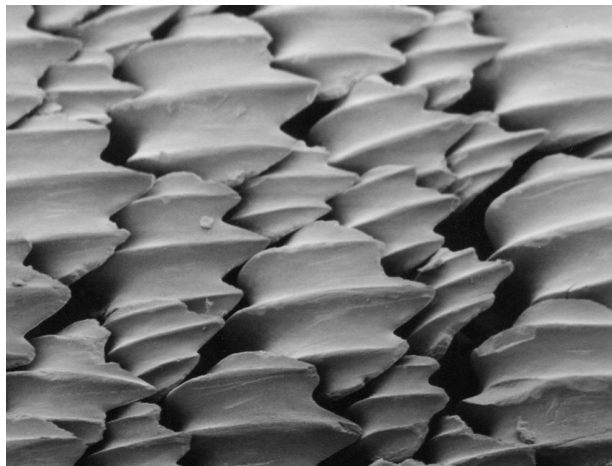


Figura 1.83 – Denticulos cutâneos do tubarão-limão (*Negaprion brevirostris*). Detalhe macroscópico (McKeag, 2013b, p. 8)

Desenvolvido inicialmente com o objectivo de desenvolver um revestimento não tóxico para ser aplicado a cascos de embarcações de forma a prevenir a fixação de microrganismos e crustáceos, cuja consequência mais directa se traduz no aumento do atrito e, conseqüentemente, num consumo de combustível mais elevado, a tecnologia Sharklet™ rapidamente demonstrou outras qualidades (Harman, 2014, pp. 83-5).

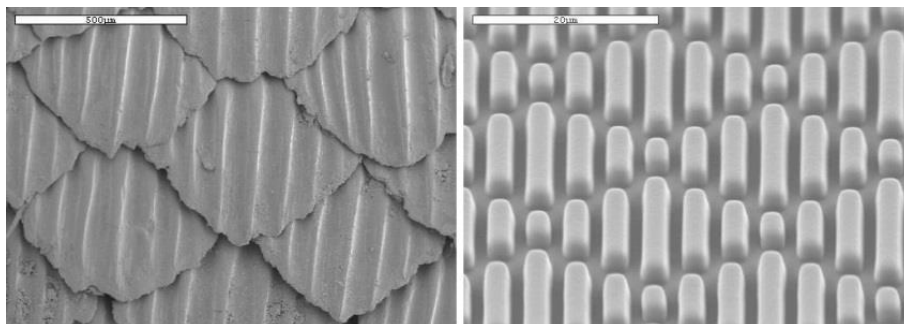


Figura 1.84 – Denticulos cutâneos (esquerda) e a micro-textura que emula estas estruturas criado pela Sharklet Technologies (direita). Imagens obtidas com recurso a um microscópio (Sharklet Technologies, Inc., s.d.)

A superfície do revestimento, composta por milhões de microtexturas em forma de diamante que replicam os denticulos dérmicos da pele do tubarão (Figura 1.84), impede que os microrganismos formem o biofilme fundamental à sua fixação, impedindo assim que as bactérias se fixem e formem colónias (Harman, 2014, pp. 83-5). Uma propriedade que rapidamente culminou em novas aplicações principalmente em meios hospitalares, onde a proliferação de bactérias representa um risco acrescido de infecção (ibid).

#### 4- BORBOLETA MORPHO E A TECNOLOGIA DE VISORES

A revolução tecnológica do século XXI tornou realidade objectos que anteriormente habitavam o domínio da ficção. Dispositivos de comunicação móvel capazes de realizar vídeo-chamadas, tablets, televisores cujo ecrã ultrafino pode ser dobrado ou enrolado<sup>119</sup>, são apenas alguns dos exemplos. O desenvolvimento e evolução destes dispositivos dependeu largamente dos avanços tecnológicos na área dos visores fulcrais a estes gadgets. Plasma, LCD's, LED e OLED, surgem como tecnologias que vieram substituir os antigos equipamentos de raios catódicos ou visores de cristais líquidos mais básicos. Porém, quando ao seu modo de funcionamento todos estes se baseiam na emissão de luz, facto que torna estes equipamentos ineficientes em termos de consumo energético (McKeag, 2013a). Soluções alternativas como a tecnologia E-ink<sup>120</sup>, que apresenta um menor consumo energético, foram criadas visando colmatar este problema. Contudo, o facto destas tecnologias serem predominantemente monocromáticas ou apresentarem tempos de actualização demasiado lentos, surgiram como limitações que impediram a aplicação desta tecnologia à maioria dos dispositivos actuais (ibid).

De forma disruptiva a empresa Qualcomm surge no mercado com uma tecnologia designada Mirasol (Figura 1.87) sendo, segundo Tom McKeag (2013a), um dos exemplos mais visíveis do design bio-inspirado no sector tecnológico. Subjacente a esta tecnologia, encontra-se a borboleta Morpho (Figura 1.85), mais propriamente, as microestruturas presentes nas lamelas que revestem as asas deste insecto e responsáveis pelo fenómeno óptico que produz o azul vibrante que a caracteriza (ibid).

---

<sup>119</sup> Link para consulta: [https://en.wikipedia.org/wiki/Flexible\\_display](https://en.wikipedia.org/wiki/Flexible_display)

<sup>120</sup> E-ink ou “electronic ink” é uma tecnologia usada em displays de dispositivos electrónicos moveis como e-readers e cuja mais significativa característica é o baixo consumo energético (E Ink, s.d.)

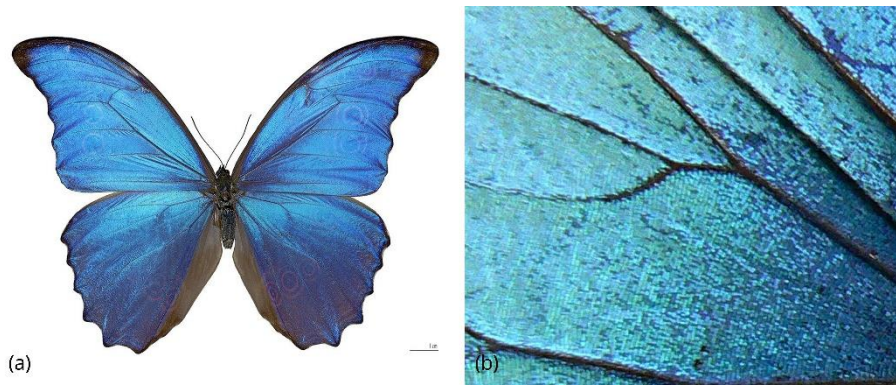


Figura 1.85 – (a) Borboleta Morpho macho (*Morpho* (género), s.d.) (b) Detalhe da asa da borboleta Morpho (McKeag, 2013a, p. 21)

O fenómeno da cor é frequentemente entendido com base na absorção ou reflexão de determinados comprimentos de onda. Este é, de resto, o princípio subjacente à maioria dos pigmentos. A borboleta Morpho recorre, contudo, a outro tipo de estratégia, um fenómeno físico denominado “cor estrutural” produzido pela microestrutura presentes nas escamas que revestem as asas deste ser (Figura 1.86), responsáveis pela difração da luz nos seus diversos comprimentos de onda e que, por sua vez, são reflectidos em diferentes ângulos (McKeag, 2013a). Consequentemente alguns destes comprimentos de onda interferem entre si anulando-se mutuamente enquanto que outros não. Como resultado, as cores que percebemos provêm dos comprimentos de onda que não são anulados por via da interferência, no caso da borboleta Morpho, o azul vibrante que a caracteriza (ibid).

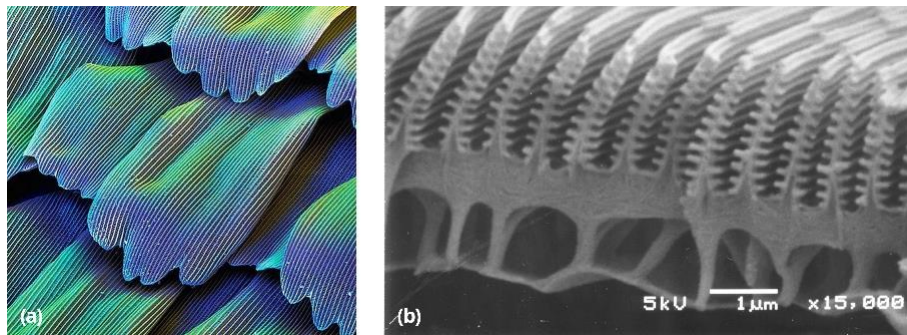


Figura 1.86 – Micrografias de asas de borboleta obtidas com recurso a um microscópio de electrões. (a) Escamas da asa de uma Borboleta Pavão (*Aglais io*). Micrografia colorida (Jo Angell Design, s.d.) (b) Corte transversal da asa de uma Borboleta Morpho (Shinya Yoshioka, Osaka University, s.d.)

Mimetizando o princípio da cor estrutural, encriptado nas asas da borboleta Morpho, a Qualcomm, com recurso a métodos tradicionais envolvendo chips de silicone, desenvolveu um visor reflexivo capaz de reproduzir cores ricas mesmo quando usado em ambientes luminosos e, em simultâneo, energeticamente eficiente (Ibid). A forma das microestruturas da asa da borboleta Morpho não é, contudo, replicada pela Qualcomm que recorre à tecnologia IMOD (modulação

interferométrica) de forma a ajustar com precisão o comprimento de onda das cores que irão cancelar ou interferir entre si (ibid). Como tal, no caso da tecnologia Mirasol, é o modelo ou princípio inerente ao efeito que é replicado.



Figura 1.87 - Mirasol E-Reader criado pela empresa Qualcomm (asknature.org, 2017)

## 5- FLOR DE LOTUS E SUPERFÍCIES AUTOLIMPANTES

Representando a pureza espiritual, a flor de lótus é um dos mais reconhecidos símbolos conotados à cultura oriental (McKeag, 2012b). A planta que tipicamente cresce em águas pantanosas é no contexto da biomimética, segundo Jay Harman (2014, p. 171), uma das mais recorrentes e bem-sucedidas fontes de inspiração, facto comprovável pelos inúmeros produtos de sucesso que inspirou. Produtos que com frequência procuram replicar a capacidade desta planta em repelir a água, propriedade conferida tanto pela sua microestrutura como por uma composição química semelhante a cera que reveste a sua superfície (McKeag, 2012b).

À semelhança de outros casos já apresentados, somente o surgimento de microscópios mais potentes possibilitou o entendimento dos mecanismos subjacentes a tais propriedades. Imagens ampliadas da folha de lótus mostram uma superfície rugosa responsável por reduzir dramaticamente a área de contacto das gotas de água com a superfície da folha da planta (Figuras 1.88-9). Consequentemente, a água forma pequenas gotículas<sup>121</sup> que acabam por rolar ao longo da superfície transportando consigo a sujidade acumulada na folha de lótus (ibid).

---

<sup>121</sup> Tom McKeag (2012b) refere que este fenómeno, que tem implicações moleculares, deve-se ao facto da folha de lótus criar uma condição na qual a atracção da água para si mesma (coesão) é mais forte do que a sua atracção para a folha (adesão).

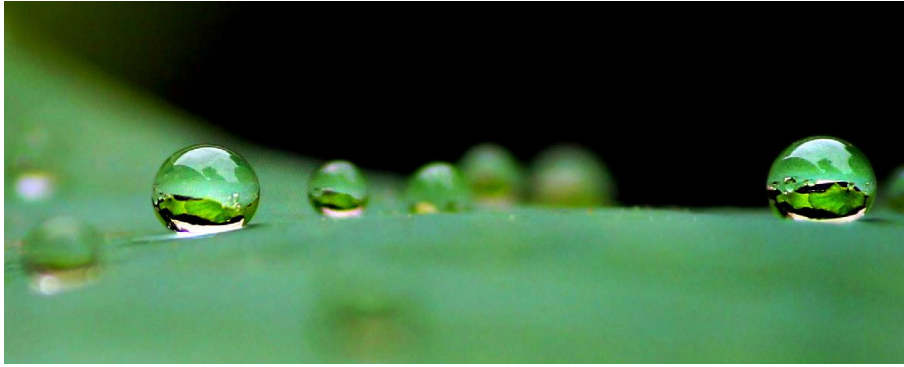


Figura 1.88 – Gotículas de água sobre a superfície de uma folha de lótus (McKeag, 2012b, p. 17)

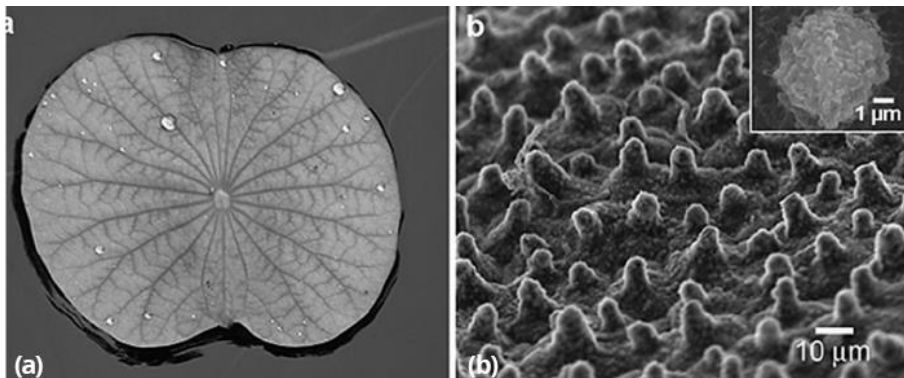


Figura 1.89 – (a) Folha de lótus sobre a água. (b) Micrografia da superfície de uma folha de lótus obtida com recurso a um microscópio de electrões (Gule, Begum, & Klumperman, 2015)

A propriedade hidrofóbica da folha de lótus, responsável pelo fenómeno de autolimpeza da planta, fez desta uma fonte de inspiração apetecível cujo comportamento valeria a pena explorar. Como resultado vários produtos chegaram ao mercado, entre eles e talvez um dos mais conhecidos, o Lotusan, um revestimento criado pela empresa alemã Sto AG o qual replica a microestrutura do lótus, conferindo assim propriedades hidrofóbicas e auto-limpantes à superfície que reveste (Harman, 2014, p. 172).

## 6- AS FORMAS GEODÉSICAS DE BUCKMINSTER FULLER

As icónicas estruturas geodésicas<sup>122</sup> criadas pelo arquitecto americano Buckminster Fuller (Figura 1.90) são porventura mais conhecidas do que o seu autor. Não obstante, estas são talvez um dos itens mais associados ao trabalho desenvolvido por Fuller ao longo da sua carreira, sendo este frequentemente apontado como o seu inventor. Todavia, como exposto por Jay Baldwin (2012), Fuller nunca arrogou para si a invenção deste género de estruturas, referindo que foi apenas o primeiro a descobri-las assim como a reconhecer as suas vantagens.

<sup>122</sup> O termo geodésico descreve o caminho mais directo e eficiente entre dois pontos na superfície de uma esfera (Baldwin, 2012, p. 43).

Não há nas palavras de Fuller uma falsa modéstia. O arquitecto estava convicto que a sua geometria era natural no sentido em que esta já estava presente na natureza, completa e como um princípio matemático aplicado por esta entidade de forma a conseguir resultados otimizados. A Fuller faltaram unicamente os meios para que o conseguisse provar (ibid).



Figura 1.90 – “Montreal Biosphere”. Buckminster Fuller, 1967 -Criado para a exposição mundial do mesmo ano (Montréal - Biosphère, 2017)

As estruturas geodésicas são sobejamente conhecidas pela sua leveza e resistência, características que se devem à sua organização e à forma como a sua superfície é triangulada em todas as direcções, permitindo uma distribuição uniforme do peso. Não surpreende, por tanto, que estas tenham sido a base para a criação de algumas das obras de maior escala da autoria de Fuller. Não obstante, e como coloca Baldwin (2012), “Onde a natureza faz uso de formas geodésicas?”.

Remetendo para a natureza, talvez de forma imediata seja difícil encontrar nesta exemplos de formas geodésicas como as criadas por Fuller. No entanto, tal não significa que Fuller tivesse equivocado nas suas convicções. Significa, porém, que, como esclarece Baldwin (2012) é necessário procurar em escalas mais reduzidas para encontrar exemplos do uso dessas estruturas pela natureza<sup>123</sup> (Figura 1.91). Algo impossível para Fuller considerando os recursos disponíveis na época<sup>124</sup>.

---

<sup>123</sup> Baldwin (2012) refere que, acedendo a escalas bastante reduzidas, com auxílio de microscópios de electrões, verifica-se que uma significativa parte das estruturas naturais é composta por estruturas triangulares. Acrescenta que ovos, os globos oculares ou mesmo os ossos, são estruturas geodésicas.

<sup>124</sup> Buckminsterfullerene (ou buckyball) é uma molécula descoberta na década de 80 por Harold W. Kroto, Richard E. Smalley e Robert F. Curl, Jr. Por apresentar o mesmo princípio estrutural que as cúpulas geodésicas de Buckminster Fuller foi assim baptizada em homenagem ao arquitecto norte americano (Kroto & Walton, 2019)



Figura 1.91 – Ovo de borboleta *Belargus* (*Lysandra bellargus*) obtida com recurso a um microscópio de electrões (Oeggerli, s.d.).

Outro aspecto importante de ressaltar é o facto de Buckminster Fuller nunca ter aplicado o termo biomimética tanto no contexto como para se referir à sua obra (Baldwin, 2012). Porém, os seus domes geodésicos, regidos por critérios tão íntimos à natureza como a economia de material e a eficiência energética, incorporam os princípios que estruturam esta disciplina e, como coloca Baldwin (2012), demonstram “um entendimento e utilização” por parte de Fuller “dos princípios empregues pelo universo”.

Invariavelmente, aos exemplos referidos poderiam ser acrescentados incontáveis casos ilustrativos de uma abordagem biomimética. Todavia, considerando os exemplos apresentados suficientemente esclarecedores, dando um contributo para um entendimento mais abrangente sobre a praticabilidade, impacto e possibilidades apresentadas por esta disciplina, considera-se que a adição de outros exemplos pouco acrescentaria. Não obstante, outros casos em particular surgem como pertinentes, não pelo sucesso obtido — neste contexto irrelevante — mas por surgirem como exemplos de uma falsa ou incorrecta aplicação dos princípios naturais que afirmam integrar.

#### 1.2.3.2 - Design bio-inspirado: da reivindicação ao correcto uso dos princípios naturais

Declarar que determinadas propriedades de um produto resultam de uma inspiração na natureza é, no contexto de uma abordagem biomimética, um argumento insuficiente que não atesta o uso eficiente dos princípios naturais que se afirma replicar, tão pouco a correcta interpretação e aplicação dos mesmos. Casos como o fato de natação LZR desenvolvido pela

marca de produtos desportivos Speedo, referido por Tom McKeag (2013b), ou o Eastgate Center criado por Mick Pearce e cujas alegadas propriedades termodinâmicas são detalhadamente escrutinadas por Turner e Soar (2008), são dois exemplos que corroboram esta afirmação de forma categórica.

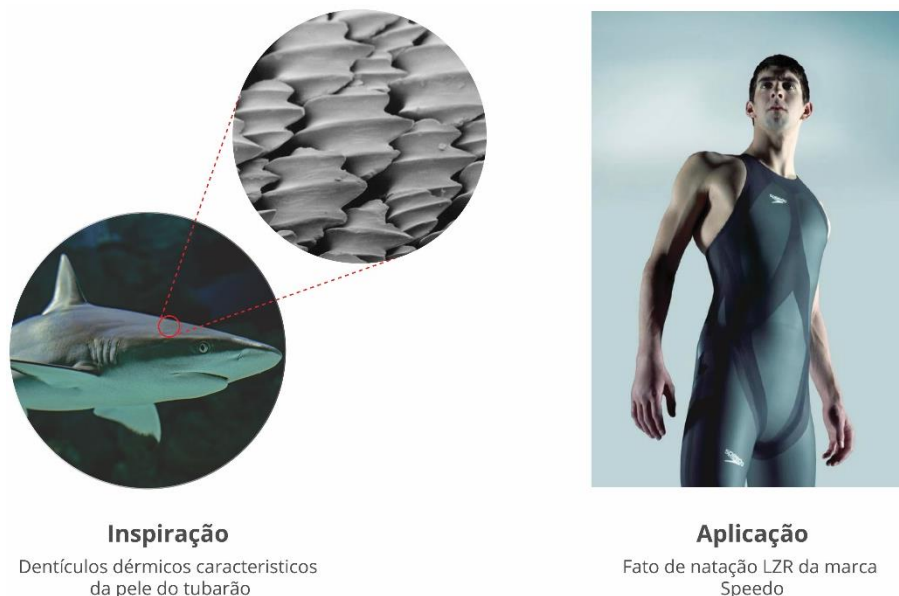


Figura 1.92 – Speedo LZR swimming suit. A marca de produtos desportivos Speedo promoveu o seu fato de natação LZR (direita) como um produto de alta engenharia, cuja microtextura que emulava os dentículos presentes na pele do tubarão (esquerda), detinha propriedades que traziam melhorias em termos de hidrodinâmica (McKeag, 2013b).

No caso do LZR da Speedo (Figura 1.92) as alegações de um produto de alta engenharia, cuja microtextura inspirada na pele do tubarão conferia ao fato propriedades hidrodinâmicas promotoras de uma redução do atrito, não só se provaram falsas como, em estudos realizados em laboratório demonstraram sob determinadas condições contribuir para aumentar o atrito<sup>125</sup> (McKeag, 2013b). Já no caso do Eastgate Center, que segundo o arquitecto Mick Pearce baseou este seu projecto nas estruturas dos ninhos de térmitas (Figura 1.93), a alegada eficiência termodinâmica que pretendeu emular foi apenas alcançada por via da circulação forçada de ar conseguida com recurso a potentes ventoinhas<sup>126</sup> (Turner & Soar, 2008, p. 5).

---

<sup>125</sup> Não obstante, propriedades demonstradas pelo material, como capacidade para repelir a água e o facto do mesmo ser altamente compressivo, tornando o corpo dos nadadores mais hidrodinâmico, revelaram ser as verdadeiras causas das melhorias em termos de eficiência alcançadas pelo LZR (McKeag, 2013b).

<sup>126</sup> Segundo Turner e Soar (2008), embora os princípios que Pearce tentou replicar estejam correctos, este falhou na aplicação do conhecimento teórico sobre estas estruturas ao seu projecto.

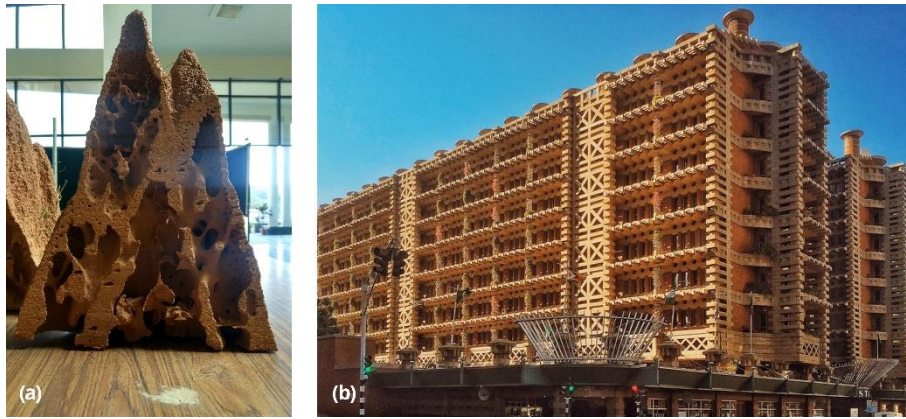


Figura 1.93 – (a) Secção transversal de um ninho de térmitas (Section of Termite mound, 2018). (b) Eastgate Centre no Zimbabué. Mick Pearce, 1996 (biomimicards, s.d.).

Sobre as causas na origem do insucesso destes dois projectos, podemos apenas especular. Todavia, talvez a aplicação demasiado óbvia e directa de princípios naturais que julgamos conhecer, como colocado por Julian Vincent (2014, p. 9), surja como uma razão plausível. Ou talvez estas residam na forma ingénua como a busca de soluções é abordada, por via de perguntas simplistas, directas e de carácter restrito, que não têm como gerar respostas para além do óbvio (ibid). Afinal, como refere Vincent (2014, p. 9), quanto mais definida é a pergunta menos provável é encontrar uma resposta robusta para esta, principalmente tendo em conta que a biologia e a tecnologia são áreas tão diferentes e que soluções para problemas em áreas distintas raramente coincidem (ibid).

Nesse sentido, talvez esta abordagem ao design requiera um pensamento disruptivo, afinal, como refere Vincent (2014, p. 8), “o caminho para uma solução é espectacularmente tortuoso” assim como a solução para um determinado problema nem sempre surge do local mais óbvio. Por outro lado, será igualmente pertinente questionar se o nosso último objectivo passa por criar réplicas exactas da natureza. Se assim for, a biomimética estará longe do potencial que promete uma vez que, como refere Maria Teresa Cruz (2006, p. 8) “uma abordagem baseada na análise e recomposição do já existente, imitando os efeitos sintéticos da natureza e não os seus processos, coloca-nos perante uma abordagem fraca”.

### 1.2.3.3 - Uma reflexão sobre o impacto da biomimética na prática do design

A biomimética, cuja história enquanto disciplina representa apenas algumas décadas, continua a ser para o Design — se não mesmo de forma geral — um tema recente, pendendo na fronteira entre Design e ciência. Porém, talvez seja esta posição indefinida, vista por alguns como um aspecto negativo, que faz deste campo precisamente um terreno fértil em oportunidades para a inovação e diferenciação capaz de exercer um impacto positivo no campo do Design.

Integrando conceitos e conhecimentos oriundos de diferentes campos e promovendo a colaboração transdisciplinar — retirando por vezes o designer do que habitualmente é o seu domínio e zona de conforto — esta abordagem apresenta ao designer uma visão alternativa, fomentando a criação de soluções disruptivas que visem colmatar muitas das problemáticas com que a nossa sociedade se depara na actualidade e às quais este profissional tenta dar resposta. Nesse sentido, uma abordagem biomimética exige sobretudo do designer a capacidade de interagir e comunicar com profissionais de diferentes áreas assim como um elevado grau de receptividade, fundamental para integrar na sua prática conceitos que em última instância não lhe são familiares ou pertencem ao seu domínio.

No entanto, representará este modo de operar um afastamento ao que é a génese do Design enquanto disciplina? Segundo Christopher Lorenz (1991, pp. 8-9) o Design caracteriza-se por ser uma disciplina de interface cuja função passa frequentemente por estabelecer pontes entre as diversas áreas do conhecimento. No contexto da biomimética esta tese é reforçada por Wahl (2006, p. 294) que atribui ao designer o papel de integrador e facilitador no processo de incorporação de conhecimentos oriundos de diversas áreas. Uma visão igualmente partilhada por Neri Oxman (2015). Como tal só por si uma abordagem biomimética não representa uma novidade para a prática do Design, mas apenas uma aproximação a áreas do conhecimento com as quais o Design não colabora habitualmente. E se esta abordagem por si só não é disruptiva no que respeita ao modo de operar do designer, segundo Lorenz, Wahl e Oxman um intermediário entre áreas do conhecimento, qual o verdadeiro impacto da biomimética e o que esta traz de novo à prática do Design?

Se as palavras de Lorenz e Wahl denotam que esta nova disciplina não é propriamente disruptiva quanto ao modo de operar do Design, talvez o mais significativo impacto de uma abordagem biomimética nesta disciplina assuma a forma de uma tomada de consciência à qual esta obriga. Particularmente ao nível da sustentabilidade das soluções criadas pelos designers, princípio que embora faça parte da conduta e ética desta profissão, no século XXI ainda aparenta mais o carácter de uma aspiração do que se assume como prática de facto (Bonsiepe, 1992, p. 75).

O despertar do novo milénio surgiu trazendo novas demandas às quais o Design não ficou imune. Um público ávido das mais recentes novidades tecnológicas ou *trends*, numa procura constante por novas formas de se diferenciar das massas, alimenta uma indústria frenética. Esta, por sua vez, responde lançando novos produtos em espaços de tempo cada vez mais curtos, estreitando inevitavelmente a linha temporal entre produção e descarte (Dorfles, 1978, pp. 55-7; Bonsiepe, 1992, pp. 54-9). Um diálogo reflexo de um modelo

produtivo assente na produção em massa e na obsolescência programada que, não obstante à geração de abundância, é hoje posto em causa por ser pouco sustentável.

O abuso imposto à natureza sob a acção do Homem, culminou num presente onde a sustentabilidade vingou como um tema incontornável e no qual acções de diversos géneros às quais assistimos nos últimos anos tentam empurrar a humanidade em direcção um *mind shift* colectivo, o qual, mais do que ecológico será social, cultural e económico. O sector do Design, como refere Bonsiepe (1992, p. 75) tantas vezes cúmplice de um modelo produtivo e económico que demonstrou ter consequências nefastas, terá obrigatoriamente de acompanhar esta mudança e a criação de soluções sustentáveis, mais do que almejada, impõem-se com obrigatoriedade.

Neste contexto, a integração da biomimética na prática do Design surge como pertinente auxiliando na criação de soluções mais sustentáveis geradas através da mimetização de soluções para problemas similares desenvolvidas pela natureza e, segundo Benyus (1997), testadas ao longo de milhões de anos. A natureza, segundo Neri Oxman (2010, p. 80) demonstravelmente sustentável, surge então como um modelo que o designer poderá observar retirando desta valiosas lições que lhe permitam chegar a soluções mais sustentáveis e eficientes. Também esta não será uma forma estranha de agir para o designer representando este acto de olhar para a natureza em busca de soluções, segundo Neri Oxman (2010, p. 80), uma prática comum que durante milhares de anos o ser humano realizou, tendo a natureza inspirado muitas das conquistas da humanidade.

Não obstante, se no imediato o nosso foco possa recair nos produtos industriais com propriedades inovadoras que desta abordagem poderão emergir, este será porventura um aspecto secundário ao qual se sobrepõem factores mais relevantes, entre os quais, novos materiais e processos produtivos que poderão estar na origem destes produtos e os quais podem resultar de uma abordagem biomimética.

A ciência dos materiais e os processos de fabrico são de resto dois sectores nos quais a biomimética tem vindo a assumir um papel preponderante podendo esta convergência resultar na criação de materiais com propriedades e comportamentos equivalentes aos da natureza, assim como no desenvolvimento de processo de fabrico que mimetizem os processos naturais. Os primeiros passos nesta direcção começam hoje a ser dados por via de projectos de investigação como os liderados por Neri Oxman ou Achim Menges. Dois agentes a actuar em áreas distintas, mas cujos trabalhos indiciam uma sobreposição ou confluência entre biomimética e design paramétrico.

Neri Oxman (2010), que lidera o projecto de investigação Mediated Matter<sup>127</sup> no MIT Media Lab, estuda o desenvolvimento de processos que permitam variar selectivamente as propriedades dos materiais com recurso à tecnologia de fabricação aditiva visando suplantar os actuais métodos baseados na montagem de componentes por via de processos mais próximos aos da natureza<sup>128</sup>. Por sua vez, Menges (2016) explora tanto o que acredita ser as propriedades computacionais inerentes aos materiais<sup>129</sup> como, conjuntamente com Michael Weinstock e Michael Hensel no Emergence and Design Group, o recurso a processos morfogénese para a geração de forma através de técnicas computacionais (Hensel, Menges, & Weinstock, 2004).

Estes exemplos contribuem, portanto, para compreender que a inovação nestas duas áreas em específico, sob influência da biomimética, que terá um impacto directo no Design e na sua prática. Particularmente em vertentes como o design de produto ou industrial cuja prática passa frequentemente pela manipulação dos materiais assim como pela exploração dos processos produtivos.

Invariavelmente, o Design encontra-se assim num ponto de viragem onde novas possibilidades emergem e para as quais a biomimética poderá surgir como uma área determinante detendo um potencial transformador sobre o Design. Tanto de forma directa ao nível da criação de soluções mais sustentáveis e do fornecimento de pistas que visem inspirar soluções para problemáticas que o designer pretenda solucionar, como pelo impacto em áreas que detêm uma influência sobre a prática do Design como é o caso da ciência dos materiais ou dos processos de fabrico.

No entanto, como se poderá concluir das palavras de Neri Oxman (2015), a realização do pleno potencial da biomimética, assim como de muitos dos campos actualmente em desenvolvimento, dependerá das sinergias criadas com outras áreas do conhecimento igualmente fulcrais. Entre estas o Design que segundo Oxman (2015) surge como o elo de ligação estabelecendo pontes e mediando relações entre diversas disciplinas.

---

<sup>127</sup> Link para consulta: [www.media.mit.edu/groups/mediated-matter/overview](http://www.media.mit.edu/groups/mediated-matter/overview)

<sup>128</sup> Esta possibilidade é explorada por Ross Lovegrove no seu conceito “Calgat” (Figura 2.23)

<sup>129</sup> Yves Weinand e Markus Hudert (2010, p. 104) referem que as propriedades físicas dos materiais são consideradas parâmetros activos no processo de design.

## **2 - O design paramétrico enquanto modelo**

O despertar do século XXI surgiu acompanhado de novos recursos — equipamentos informáticos, fabricação CAD-CAM, materiais avançados — mas também de novas exigências — como as que se relacionam à crescente complexidade que caracteriza diversas esferas da sociedade contemporânea, sustentabilidade ou desejo de individualização das massas. Neste novo contexto e ultrapassada a exploração meramente formalista (Carpo, 2016, p. 27) o design paramétrico surge potenciado graças a uma forte integração tecnológica e a uma acesa convergência com diversos campos do conhecimento. Esta condição impede que o design paramétrico continue a ser visto isoladamente obrigando-o a ver como parte integrante de um conjunto mais abrangente de disciplinas colaborantes. Desta sinergia têm resultado estratégias e projectos disruptivos que no contexto do Design podem gerar uma mudança de paradigma tanto na forma de projectar e produzir artefactos, como na forma de interacção que mantemos com estes ou que estes mantêm entre si.

Porém, neste ponto sobram inúmeras questões às quais é necessário dar resposta:

- Qual o impacto do design paramétrico no Design e para a profissão de designer;
- Como uma lógica paramétrica se reflecte nos artefactos a nível formal e funcional;
- Quais são as possibilidades que uma abordagem paramétrica em termos de projecto, produção e distribuição de bens e customização de produtos industriais;
- Quais as suas vantagens e limitações ao nível do workflow, produção e criatividade;

### **2.1 - Diferentes níveis de parametrização**

A forma genérica e abrangente como o termo paramétrico é aplicado em diversos contextos, assumindo inevitavelmente diferentes conotações, tem contribuído significativamente para actual dificuldade em compreender e definir este tema. Esta é, contudo, uma problemática já denunciada por Daniel Davis (2013a, p. 18) para quem uma definição concreta sobre o que caracteriza e distingue o design paramétrico de abordagens não paramétricas é fundamental à defesa do seu carácter único. Para Davis (2013a, p. 24), mais do que o simples recurso a algoritmos e parâmetros, o que caracteriza e distingue uma abordagem paramétrica são as relações explícitas entre parâmetro e resultado assim como a intencionalidade na sua criação (ibid, p.31). Embora pertinente, a opinião de Davis não é, contudo, uma opinião unanime. Pelos menos no sentido em que nem todos os agentes que intervêm na área do design paramétrico consideram que a demonstração explícita da relação existente entre parâmetro e resultado seja relevante para a sua prática profissional.

Principalmente quando o recurso a uma abordagem paramétrica visa a exploração formal como no caso de Mark Fornes (2016)<sup>130</sup>.

Não obstante, surgem hoje novas questões igualmente relevantes que não são colocadas por Davis. Estas resultam dos recentes avanços nos campos da ciência dos materiais e da fabricação aditiva — particularmente do desenvolvimento de materiais programáveis assim como do surgimento da tecnologia de impressão 4D — que permitiram programar nos artefactos determinadas propriedades assim como comportamentos dinâmicos responsivos (Tibbits, McKnelly, Olguin, Dikovsky, & Hirsch, 2014) outrora exclusivos dos modelos digitais paramétricos e que, graças a estes progressos, transcenderam o plano do ambiente virtual ao qual estavam limitados. Uma transição que consequentemente vem alargar a aplicação do termo paramétrico, o qual passa a poder designar uma característica ou propriedade comportamental do próprio artefacto que “ocorre no espaço físico, no decurso de um intervalo de tempo, em reacção a um estímulo que lhe é aplicado” (Choi, Kwon, Jo, Lee, & Moon, 2015, pp. 159-60).

Esta é uma alteração de paradigma que obriga a reformular a noção vigente sobre o artefacto paramétrico. Note-se que, até este ponto, por artefacto paramétrico subentendeu-se aquele resultante da aplicação de uma metodologia, lógica, ou mesmo de uma ferramenta de design paramétrico. Porém a estes factores soma-se agora o facto de um artefacto paramétrico, além das características paramétricas que se prendem à lógica projectual subjacente à sua criação, passar igualmente a poder deter comportamentos dinâmicos possíveis de ser descritos como sendo paramétricos. Neste contexto, das possibilidades introduzidas pela impressão 4D e materiais programáveis, podemos afirmar que passámos a estar diante de duas classes distintas de artefactos que resultam de uma abordagem paramétrica:

1. Artefactos que podem ser definidos como paramétricos pelo facto de resultarem de uma lógica ou abordagem paramétrica, mas que no espaço físico não detêm comportamentos paramétricos dinâmicos.
2. Artefactos que além de resultarem de uma lógica ou metodologia paramétrica, apresentam também comportamentos físicos — como por exemplo comportamentos cinéticos — que ocorrem em resposta a um determinado estímulo para o qual foram previamente programados.

---

<sup>130</sup> As estruturas criadas por Mark Fornes, denotam uma exploração das potencialidades do design paramétrico para a geração de forma. A complexidade e extensão dos algoritmos usados para criar estas estruturas torna quase impossível estabelecer uma relação de causa efeito (Fornes, 2016, p. 61). Contudo, estas não perdem a sua pertinência, principalmente pela exploração das possibilidades e carácter especulativo. Também Luigi Moretti, que no seu trabalho considerou aspectos como, por exemplo, o custo do betão, o qual, segundo Davis (2013a, p. 24) não representa uma ligação explícita surge como outro exemplo pertinente.

Adicionalmente, estas duas classes de artefactos podem ser subdivididas em distintos cenários delimitados segundo as diferentes dinâmicas existentes, tanto no que respeita à forma como o conceito de paramétrico é explorado na lógica ou método projectual aplicado à produção desses artefactos, como à forma como essa lógica se traduz nas propriedades físicas dos artefactos que desta resultam. Logo, no que respeita à primeira classe de artefactos podemos descrever três cenários distintos:

- a) Artefactos que não fazendo uso de modelos flexíveis digitais, incorporam uma lógica paramétrica ou algorítmica como proporções, rácios ou módulos, existindo uma relação da parte com o todo (Frazer, 2016, p. 20) e configurando, portanto, um algoritmo procedural<sup>131</sup> como referido por Carpo (2016, p. 28) quando este se refere às regras escritas deixadas por Vitruvius. Embora a lógica inerente aos modelos subjacentes a estes artefactos permita a acomodação de alterações de forma dinâmica, este não é um processo instantâneo como ocorre nos modelos flexíveis digitais<sup>132</sup>, representando sobretudo uma forma de raciocínio. Adicionalmente, os artefactos que resultam desta lógica, não apresentam comportamentos paramétricos dinâmicos.
- b) Artefactos que resultam do recurso a modelos físicos e técnicas de *form-finding* como os usados no parametrismo analógico. Estes artefactos são considerados paramétricos pois a sua forma é resultado da acção da gravidade sobre a matéria, força entendida como um parâmetro que condiciona directamente a geometria (Burry, 2016, pp. 33-4). Neste caso os modelos não permitem a acomodação de alterações de forma dinâmica e, de forma similar à alínea anterior, os artefactos que resultam destes modelos não apresentam comportamentos paramétricos dinâmicos. Não obstante, podem ser considerados como estruturalmente paramétricos visto que a sua estrutura resulta directamente das forças que actuam sobre a matéria.
- c) Artefactos que resultam do recurso a modelos digitais flexíveis cujas propriedades dinâmicas permitem gerar diversas morfologias mediante a variação dos valores dos parâmetros e que, em conjunto, formam uma classe de objectos como classificada por Mário Carpo (2016, pp. 28-9). Não obstante, esta dinâmica aqui referida limita-se ao plano virtual e ao modelo digital. A materialização das formas geradas a partir do

---

<sup>131</sup> Algoritmo procedural é aquele que gera uma grande quantidade de conteúdo para um pequeno investimento em dados de entrada (Algorithms for Procedural Content Generation, 2019). No contexto do tema abordado nesta dissertação, para compreender este conceito, considere-se como exemplo uma geometria A, definida por N parâmetros e criada com recurso a um modelo digital flexível. Mesmo com um número reduzido de parâmetros a definir a geometria, este mecanismo permite gerar inúmeras versões do mesmo modelo através da alteração e variação dos valores dos parâmetros que o definem.

<sup>132</sup> O carácter dinâmico destas alterações resulta da existência de uma relação da parte com o todo, logo, qualquer alteração da parte resultando na acomodação do todo (Frazer, 2016, p. 20).

modelo flexível — por exemplo com recurso à impressão 3D — resulta na preservação da forma. Logo, de forma similar às alíneas anteriores os artefactos resultantes destes modelos não apresentam comportamentos paramétricos dinâmicos.

Por sua vez, no que respeita à segunda classe de objectos, podemos descrever três cenários distintos nos quais o comportamento paramétrico de um determinado modelo pode ser transposto em maior em menor grau para o mundo físico:

- a) Artefactos resultantes do recurso a modelos digitais flexíveis e são uma assemblagem de componentes individuais. Estes artefactos apresentam comportamentos paramétricos ainda que de forma rotineira, limitada e repetitiva, que, porém, são uma capacidade do sistema ou assemblagem e não das suas componentes (Figura 2.2). Alguns exemplos incluem fachadas arquitectónicas que graças à integração de sensores e actuadores apresentam capacidades cinéticas e comportamentos responsivos que podem ser qualificados como paramétricos (Figura 2.1).

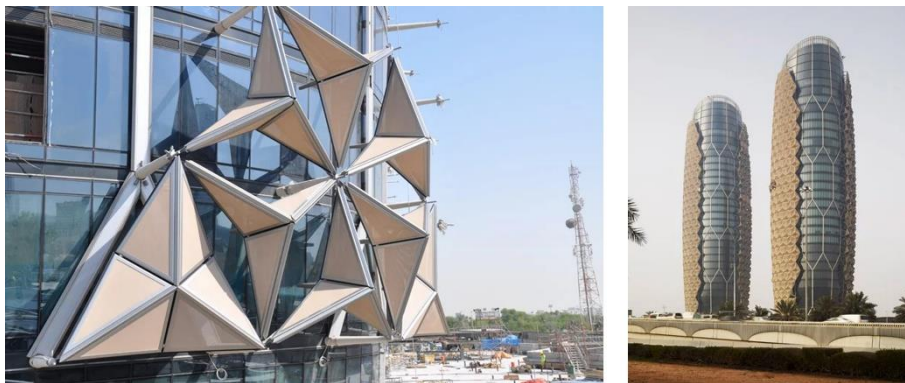


Figura 2.1 – Fachada responsiva das Al-Bahr Towers, Abu Dhabi. Studio Aedas, 2009-2012<sup>133</sup> (Hudson, 2012).

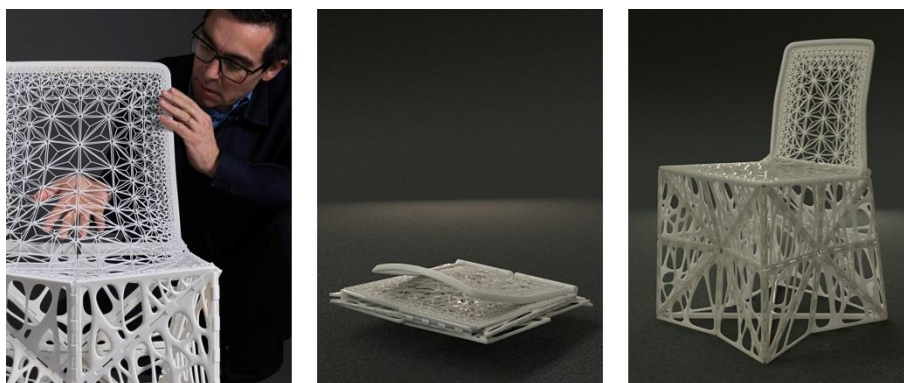


Figura 2.2 – Cadeira TAMU. Patrick Jouin, 2019. Criada em parceria com a Dassault Systèmes Jouin inspira-se no origami para criar um objecto desdobrável que privilegia a economia material e espacial. Produzida com recurso à impressão 3D (SLS) e constituída de 1647 componentes individuais, a cadeira TAMU é fabricada na sua forma compacta e na sua totalidade, não requerendo posterior assemblagem (Jouin, 2019)<sup>134</sup>.

<sup>133</sup> Data de construção segundo o site WikiArquitectura (Al Bahar Towers, s.d.)

<sup>134</sup> Link para consulta: [www.youtube.com/watch?v=2sMniU1No6U&ab\\_channel=DassaultSystèmes](https://www.youtube.com/watch?v=2sMniU1No6U&ab_channel=DassaultSystèmes)

- b) Artefactos que resultam do recurso a modelos digitais flexíveis apresentando uma continuidade estrutural e comportamentos paramétricos não rotineiros em resposta e estímulos previamente programados (Figura 2.3). São compostos de materiais programáveis e heterogêneos como os propostos por Neri Oxman (2010, p. 80), e produzidos com recurso à impressão 4D e técnicas com VPF<sup>135</sup> (ibid, p. 83). Este género de artefactos é capaz de modificar o seu comportamento ou morfologia de forma dinâmica em resposta a estímulos como humidade, raios UV ou pressão (Choi, Kwon, Jo, Lee, & Moon, 2015, pp. 159-60).

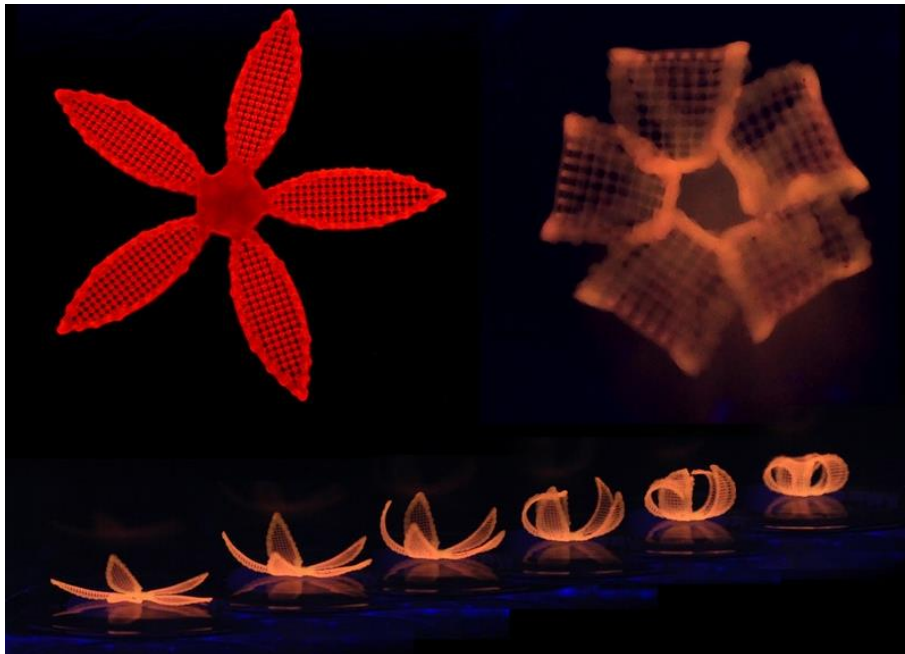


Figura 2.3 – Estrutura dinâmica criada por impressão 4D<sup>136</sup> - Esta série de imagens mostra a transformação de uma estrutura composta de hidrogel após sua submersão na água. A metamorfose da estrutura é guiada por um modelo matemático que permite prever a configuração que a estrutura irá assumir (Wyss Institute, s.d.)

- c) Artefactos que resultam do recurso a modelos digitais flexíveis e da sua conjugação com materiais programáveis criados segundo uma lógica de auto-asmblagem. Estes artefactos apresentam uma continuidade estrutural e comportamentos paramétricos podendo assumir qualquer forma que seja programada no material e inclusive, assumir diferentes morfologias quando uma nova programação é introduzida (Figura 2.4). Dos três géneros de artefactos representados este é o que assume um carácter mais especulativo<sup>137</sup>.

---

<sup>135</sup> *Variable Property Fabrication* – Técnica que tira partido da tecnologia de fabricação aditiva e que permite obter ao longo do processo de impressão um controlo estratégico da disposição, direcção e densidade do material usado ou mesmo a aplicação selectiva de diferentes materiais possibilitando introduzir de forma continua modificações nas propriedades dos materiais como resistência, dureza, densidade, elasticidade, etc (Oxman N. , 2010, p. 81).

<sup>136</sup> Link para consulta: <https://vimeo.com/150837247>

<sup>137</sup> Link para consulta: <https://www.youtube.com/watch?v=JN7BUKboOIA>



Figura 2.4 – “Les objets programmables” de Quentin Vaultot. Neste ensaio Vaultot especula sobre as possibilidades e consequências do surgimento de matérias programáveis na criação e uso de objectos. “Quando a matéria física dos objetos assume propriedades semelhantes às da matéria digital e se torna programável em tempo real, o sistema dos objetos tradicionais é interrompido” (APCI, 2014)<sup>138</sup>

Será importante reconhecer que esta é uma questão que apenas ganha relevância no contexto dos recentes avanços da técnica e consequente introdução das tecnologias referidas. Afinal, ignorando a forma generalizada como o termo paramétrico tem sido reiteradamente aplicado (Davis, 2013a, p. 24), até então no contexto do Design este definira mais uma abordagem estratégica — como fica claro nas teses de Daniel Davis (2013a) e Mário Barros (2015) — do que uma capacidade ou comportamento inerentes aos artefactos criados com recurso a esta.

Neste contexto o desenvolvimento da tecnologia de impressão 4D e dos materiais programáveis representa um novo paradigma no qual o conceito de paramétrico assume um significado mais amplo. Além de uma metodologia ou técnica — digital ou analógica — empregue para gerar geometrias, este passa igualmente a significar uma capacidade que os artefactos produzidos por via deste método detêm e que não se limita ao ambiente digital. Esta nova capacidade que aqui se introduz faz destes artefactos mais do que artefactos qualificáveis como paramétricos por via da metodologia empregue na sua origem, artefactos efectivamente paramétricas *per se*.

---

<sup>138</sup> Link para consulta: [www.youtube.com/watch?v=63b\\_4oZtmHU&ab\\_channel=observeurduDesign](https://www.youtube.com/watch?v=63b_4oZtmHU&ab_channel=observeurduDesign)

## **2.2 - Impactos de uma abordagem paramétrica para o Design**

### **2.2.1 - Prós e contras de uma abordagem paramétrica ao design**

A falta de consenso no que diz respeito ao design paramétrico é neste ponto um dado adquirido. Perspectivas divergentes como as de Patrik Schumacher (2008) são contrapostas por opiniões mais equilibradas como as de Daniel Davis (2013a) ou Mário Barros (2015), dois casos onde esta abordagem é vista pela sua vertente mais metodológica e instrumental. No entanto, mais do que a nova estética apontada por Schumacher (2008), talvez seja justamente este lado instrumental e utilitário do design paramétrico enquanto ferramenta defendido quer por Barros (2015) quer por Davis (2013a), que demonstra deter maior potencial para introduzir alterações ao Design e à sua prática.

À semelhança de outras inovações também o design paramétrico trouxe ao Design uma série de novas vantagens e possibilidades tanto ao nível criativo como operacional. Não obstante, tal não significa que esta abordagem não apresente igualmente aspectos menos vantajosos. Em ambos os casos tanto vantagens como desvantagens são exploradas e discutidas por autores como Davis(2013a) ou Robert Woodbury (2010).

Hugh Whitehead (2010), que assina o prefácio de *Elements of Parametric Design*, começa por referir que o design paramétrico é sobretudo sobre uma atitude mental cuja compreensão será mais fácil para um músico do que para um artista plástico. Whitehead, por via desta analogia, enquanto coloca em evidência o foco na performance partilhado por estas áreas expõem igualmente uma das maiores dificuldades — e desvantagens para alguns — que a prática do design paramétrico envolve.

De uma forma mais clara também Woodbury (2010, pp. 24-34) aborda essa dificuldade quando aponta para a necessidade de uma linha de pensamento distinta, baseada num pensamento algorítmico e apriorístico, que permita pensar de antemão todos os aspectos que definem e restringem um projecto. Segundo este autor, uma forma estranha e distinta de agir para a maioria dos designers, porém fundamental ao exercício desta abordagem (ibid). A motivar a necessidade desta capacidade mental referida por Woodbury encontra-se o carácter singular dos próprios modelos paramétricos criados através do estabelecimento de relações entre parâmetros, algo exposto por Mário Barros (2015, p. 76) quando este último refere que um modelo paramétrico surge como “um sistema de elementos interrelacionados que requerem uma conceptualização à priori e uma visão do objecto como um todo”. Consequentemente, a ausência desta capacidade para definir de antemão todos os parâmetros que delimitam um modelo pode originar lacunas ou lapsos que, com frequência,

levam à necessidade de proceder a alterações ao modelo<sup>139</sup>, algo indesejável devido ao risco de fazer o modelo colapsar exigindo correcções adicionais ou, no pior dos cenários, que o mesmo seja construído de raiz (Davis, 2013a, pp. 37-42; Woodbury, 2010, p. 23).

Ainda assim, as dificuldades que estão relacionadas com o design paramétrico não se limitam a uma alteração de *mindset* exigida ao designer. Esta abordagem requer igualmente a aquisição de novas competências por parte deste profissional, entre as quais, o domínio da sintaxe que compõe a maioria dos programas paramétricos, ou ainda a construção, organização e manipulação de dados. Woodbury (2010, pp. 24-33) enumera uma lista de competências que o designer deve dominar caso pretenda fazer uso do design paramétrico. Entre elas, conceber fluxos de dados criando, organizando e editando relações de dependência, dividir os problemas em subtarefas mais pequenas, logo mais fáceis de manejar e resolver, definir e nomear, pensar com abstracção e pensar matematicamente e algoritmicamente. Às desvantagens mencionadas soma-se o facto da criação de modelos paramétricos requerer um trabalho intensivo e um grande investimento em termos de tempo como referem Mário Barros (2015, p. 78), Robert Woodbury (2010, p. 36) ou Fabian Scheurer (2010, p. 91).

Na presença destes argumentos facilmente se poderá concluir que o design paramétrico é caracterizado essencialmente por ser uma área complexa, com uma curva de aprendizagem demorada, que detém uma forte dependência tecnológica e uma base robusta que se alicerça em campos aparentemente tão díspares ao Design como a matemática e a geometria. Não obstante, tal conclusão pecará sempre por ser parcial e ignorar as inúmeras vantagens apresentadas por esta vertente, as quais não podem — ou devem — ser ignoradas com base em aspectos menos positivos associados a esta abordagem. Aspectos que, em maior ou menor grau, são uma constante transversal a qualquer uma outra.

De forma imediata é possível perceber que a nível de workflow uma abordagem paramétrica permite agilizar tarefas repetitivas, por exemplo, mediante a criação de *presets*, ferramentas que consistem em pequenos *scripts* com funções específicas que podem ser usadas no contexto de um único projecto para replicar determinada acção de forma sincronizada em vários pontos onde esta se aplique, ou mesmo em diferentes projectos nos quais exista a necessidade de resolver a mesma tarefa<sup>140</sup>. Inegavelmente um recurso útil especialmente

---

<sup>139</sup> Woodbury (2010, p. 11) refere que pelo facto dos modelos flexíveis se basearem numa relação entre as partes que permite que o modelo se ajuste de forma coordenada, o designer além da tarefa de estabelecer essas relações assume uma nova tarefa que consiste em reparar essas relações sempre que o modelo é modificado.

<sup>140</sup> As waffles, estruturas compostas por elementos paralelos que se intersectam, como o Metropol Parasol em Sevilha (Figura 1.51), surgem como um bom exemplo desta aplicação visto que as suas múltiplas intersecções e encaixes podem ser geradas simultaneamente com recurso a um comando que aplique determinada acção (neste caso a subtracção de uma porção do material) em todos os pontos onde se verifique uma intersecção.

em campos como a arquitetura e a engenharia caracterizados por uma maior complexidade com exemplifica o edifício Peek & Cloppenburg de Renzo Piano em Copenhaga referido por Fabian Scheurer (2010, pp. 89-90)<sup>141</sup> ou o Metropol Parasol de Sevilha (Figura 1.51).

Neste contexto o design paramétrico surge então como um recurso vantajoso e pertinente — se não mesmo fundamental em alguns casos — que permite, de forma tangível, lidar com tarefas que primam por um elevado nível de complexidade (Scheurer, 2010, pp. 89-90). Esta convicção que pode ser validada na presença de projectos como os elaborados pelo estúdio *The Very Many* de Marc Fornes (2016), no qual as composições de carácter escultórico geradas com recurso a estratégias de *scripting* (Figura 2.5), resultam da conjugação das centenas ou milhares de elementos únicos cuja assemblagem seria impossível sem um sistema ou mapa subjacente ao projecto gerado simultaneamente (Figura 2.6).



Figura 2.5 - "Vaulted Willow" Canadá. Marc Fornes (TheVeryMany) para The Edmonton Arts Council, 2014 - A estrutura é composta por 721 elementos de alumínio conectados por 14,043 rebites (Contemporist, 2015)

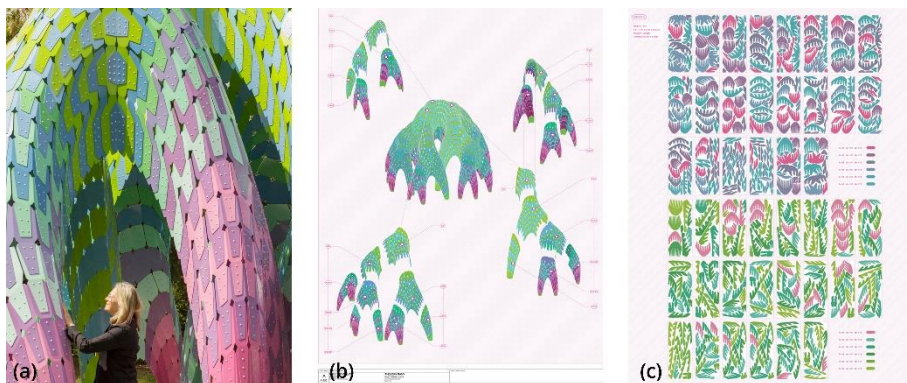


Figura 2.6 - "Vaulted Willow" Canadá. Marc Fornes (TheVeryMany) para The Edmonton Arts Council, 2014. (a) Detalhe da estrutura (b) Esquema para assemblagem (c) Planificação dos diversos elementos que compõem a estrutura. (Contemporist, 2015)

<sup>141</sup> Fabian Scheurer (2010, pp. 89-90) usa o exemplo do Peek & Cloppenburg de Renzo Piano em Copenhaga, cuja forma irregular faz com que cada componente e junção tenham uma forma ligeiramente diferente, para ilustrar como um *script* permitiu gerar automaticamente todas as geometrias que, caso contrário, teriam que ser desenhadas individualmente através de um processo manual.

O mesmo pode ser aplicado a algumas das mais icónicas obras do arquitecto japonês Shigeru Ban, entre os quais o centro Pompidou de Metz criado em 2010 (Figuras 1.49 e 2.7) cuja estrutura composta por uma intrincada malha de vigas de madeira, cada uma delas de carácter singular, possui uma significativa quantidade intersecções e encaixes distintos. Particularidades que tornariam esta estrutura impraticável sem o recurso a uma abordagem pela qual não só os complexos entalhes fossem gerados de forma automática e simultânea na fase de projecto, como também não fosse facultado um sistema lógico que à semelhança de um mapa auxiliasse na sua ordenação e conjugação na fase de assemblagem.



Figura 2.7 – Vigas e uniões do centro Pompidou de Metz criado por Shigeru Ban (Design to Production, s.d.). A numeração de cada uma das vigas de madeira durante a produção, auxilia na sua combinação na fase de assemblagem.

Não obstante, esta capacidade do design paramétrico para gerir a complexidade não significa que esta seja anulada. Fabian Scheurer (2010, p. 91) adverte que “embora no imediato a noção que os modelos paramétricos reduzem a complexidade pareça verdadeira...esta é enganadora”<sup>142</sup>. A complexidade segundo Scheurer (ibid) apenas “transmutou para um nível superior de abstração: programar em vez de desenhar”, o que por sua vez requer energia e esforço mental para desenvolver um algoritmo eficiente que defina o problema.

---

<sup>142</sup> “À primeira vista, mesmo a noção de que os modelos paramétricos reduzem a complexidade pareça ser verdadeira, pelo menos em termos da definição de complexidade descritiva de Kolmogorov: uma impressão de um código de programa junto com uma tabela de todos os conjuntos de parâmetros precisa de menos papel do que todos os desenhos do projecto. Mas isso é enganador: ambas as descrições definem o mesmo grau de complexidade, apenas em linguagens diferentes. O algoritmo é muito mais fácil de manusear que o conjunto de desenhos - principalmente no que toca a alterações - mas este é apenas uma tradução da mesma descrição. Essa tradução, no entanto, tem um custo. Esta requer energia na forma de ação cerebral para criar um algoritmo inteligente. E embora o desenvolvimento atual de modeladores paramétricos - do Grasshopper ao CATIA - remova um pouco do incômodo de programação, as duas tarefas principais permanecem as mesmas. Primeiro, abstrair de uma amalgama de problemas individuais para uma "classe" genérica de soluções num conjunto mínimo de parâmetros que abrem um espaço de solução apenas o suficiente para acomodar todas as variantes necessárias. Em segundo lugar, instanciar todas as variantes individuais com os valores de parâmetro corretos. Assim, o trabalho não desapareceu, este simplesmente mudou para um nível superior de abstração: programar em vez de desenhar” (Scheurer, 2010, p. 91).

Adicionalmente, é importante referir que embora fundamental à criação destes projectos uma abordagem paramétrica seria insuficiente na ausência da tecnologia de fabricação que possibilitasse a sua concretização (Scheurer, 2010, p. 91)<sup>143</sup>. Uma sinergia entre abordagem projectual e tecnologia produtiva da qual emergem inúmeras vantagens. Nomeadamente a obtenção de reproduções mais fiéis à ideia do designer por permitir uma completa integração entre ideia, intenção do designer e processo de produção (Waters, 2003, p. 55; Gramazio, Kohler, & Oesterle, 2010, pp. 112, 115). Um framework onde não há margem para a interpretação por parte de terceiros, considerando que os dados específicos do modelo virtual criados pelo designer são directamente comunicados aos equipamentos de produção (Gramazio, Kohler, & Oesterle, 2010, p. 115)<sup>144</sup>.

Todavia, para o Design, talvez seja a capacidade de criar e fazer uso de modelos flexíveis viabilizada por uma lógica paramétrica a representar a mais significativa e promissora vantagem, tanto ao nível operacional como criativo. A nível operacional pelo facto de permitirem acomodar alterações de forma dinâmica (Barros, 2015, p. 70) os modelos flexíveis apresentam uma vantagem significativa em termos de workflow. Não obstante, tal constatação tão linear não fará justiça às reais potencialidades que emergem desta ferramenta. Como tal, é necessário ir além de observações simplistas de forma a obter uma visão mais completa sobre esta abordagem que permita perceber também as possibilidades subjacentes viabilizadas por este instrumento digital que, embora menos óbvias, podem ainda assim assumir maior relevância.

Entre essas vantagens surge a customização em massa de produtos exemplificada pelos casos da cadeira “Go” de Benjamin Hubert assim como pela exploração feita por Mário Barros (2015) a partir da cadeira Thonet, mas também a capacidade de relegar determinadas decisões relativas ao projecto para fases mais tardias do mesmo. Esta capacidade definida por Robert Woodbury (2010, p. 43) como *deferral*, representa uma das mais relevantes e disruptivas vantagens proporcionadas pelo uso de modelos flexíveis apresentada até agora. Exemplos da aplicação desta técnica podem ser encontrados em projectos como o do terminal internacional de Waterloo (Figura 2.8-9) ou o projecto Eden, ambos da autoria do arquitecto britânico Nicholas Grimshaw e avançados por Woodbury de forma a ilustrar esta estratégia<sup>145</sup>.

---

<sup>143</sup> Segundo Bollinger *et al* (2010, p. 38) é um facto adquirido que se por um lado o design digital aumentou a complexidade das geometrias produzidas os equipamentos CNC são capazes de fabricar essas formas não standard.

<sup>144</sup> Em *Encoding Material* (Gramazio, Kohler, & Oesterle, 2010), os autores traçam uma comparação com os métodos usados na era pré-industrial na qual o artesão, de forma consciente ou não, introduzia a sua própria interpretação nos projectos que executava, algo que se alterou com o surgimento do CAM assim como, consequentemente, a relação de trabalho entre criador e produtor.

<sup>145</sup> Grimshaw, que aquando da elaboração dos projectos ainda não estava na posse da topografia dos terrenos nos quais estes seriam construídos, recorreu, em ambos os casos, a modelos flexíveis (Figura 2.9). A abordagem de Grimshaw permitiu ultrapassar o constrangimento com o qual se deparava, agilizando a fase de projecto por via da elaboração de um modelo passível de se adaptar aos diferentes cenários em termos de terreno que poderiam vir a surgir (Woodbury, 2010, pp. 43-5).

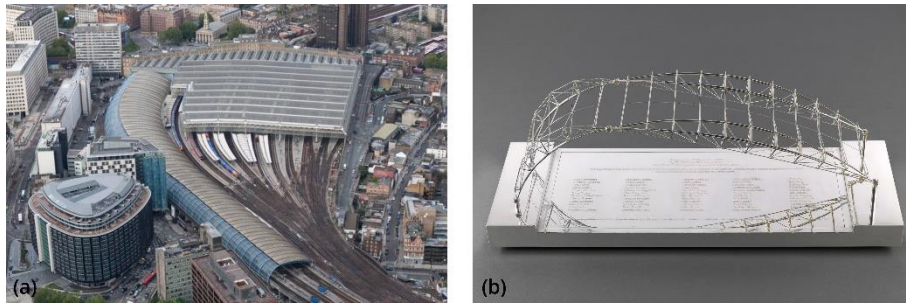


Figura 2.8 – Terminal internacional de Waterloo, Londres. Nicholas Grimshaw, 1993. (a) Vista aérea do complexo (Wembley Innovation). (b) Modelo em prata de um módulo da estrutura da cobertura do terminal internacional de Waterloo à escala de 1: 100 (Royal Academy).

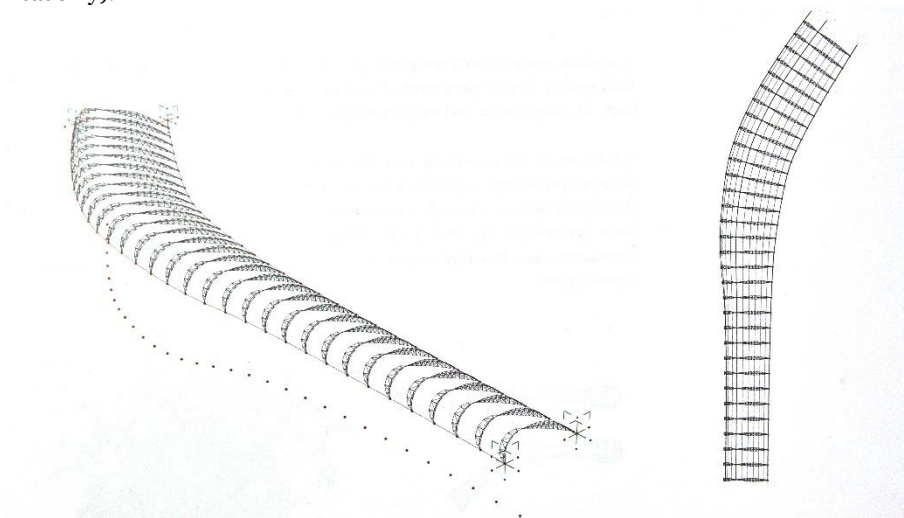


Figura 2.9– Modelo paramétrico do terminal internacional de Waterloo - O modelo parte de uma curva paramétrica que condiciona a curvatura que a estrutura irá assumir permitindo que a adaptação da mesma à sua localização possa ser relegada para mais tarde (Woodbury, 2010, pp. 43-5).

Não obstante, esta propriedade plástica que caracteriza os modelos flexíveis proporcionada por uma lógica paramétrica, viabiliza igualmente outras possibilidades além das que se resumem a simples questões operacionais ou de *workflow*. De forma idêntica, também a nível criativo o design paramétrico surge com uma ferramenta que auxilia na exploração de novos conceitos e possibilidades. O vasto e diversificado acervo de obras sob a assinatura de Zaha Hadid, quem segundo Gage (2016, pp. 130-1) soube de forma incomparável tirar partido desta ferramenta originando um corpo de trabalho robusto marcado por uma vincada linguagem estética, confirma categoricamente esta afirmação. Ainda assim será importante referir que a criação de formas complexas e irregulares presentes no trabalho de Hadid não requer necessariamente a utilização de modelos flexíveis. No entanto, é justamente o recurso a esta ferramenta também a nível criativo que se revela vantajosa, principalmente pelo facto de permitir de forma fácil e rápida gerar inúmeras variações ao modelo digital e, consequentemente, explorar distintas alternativas e soluções para o mesmo projecto por via dos diversos resultados obtidos (Barros, 2015, p. 71) (Figuras 2.10-11).

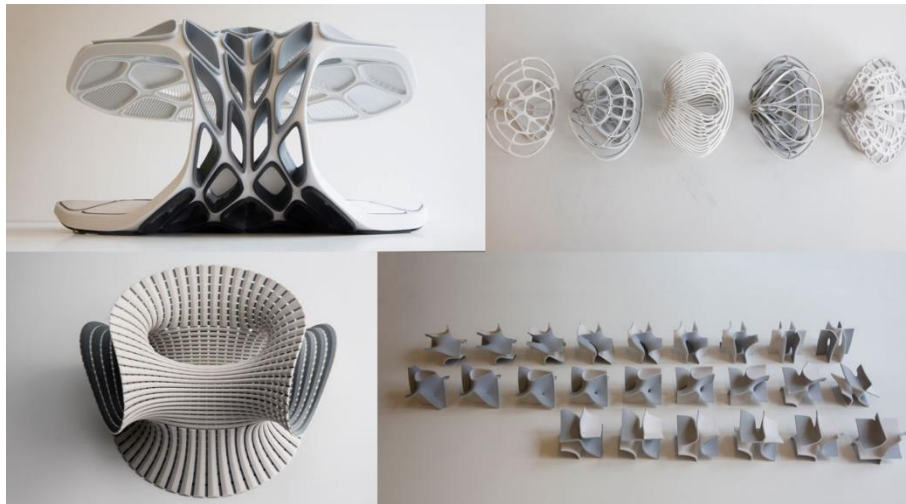


Figura 2.10 – Diversos exemplos nos quais a mesma estrutura assume diferentes configurações (Bhooshan, 2017)

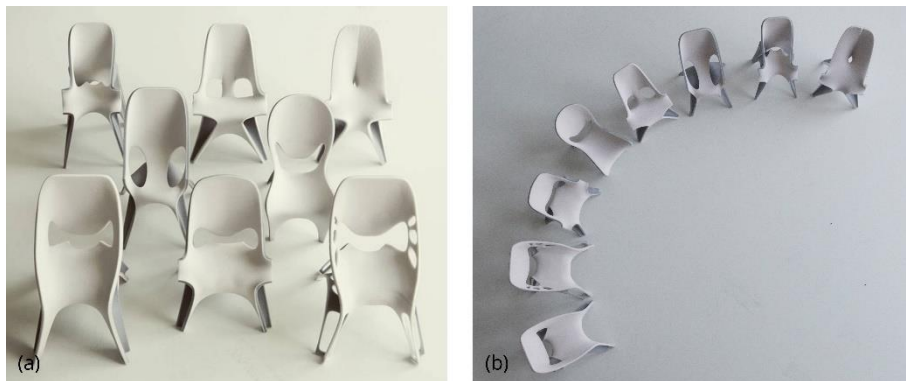


Figura 2.11 – Estudos para cadeira desenvolvida estúdio ZHA-Architects em parceria entre a Stratasys e a Altair, gerados a partir do mesmo modelo digital paramétrico. (a) (ZHA-code-education, 2017); (b) (Louth, 2017)

Porém, se até agora o tema do design paramétrico foi tratado maioritariamente de forma isolada, entenda-se que no presente e à luz dos mais recentes avanços da técnica é sobretudo da sua articulação com diferentes disciplinas, assim como da utilização conjunta entre ferramentas viabilizadas por esta abordagem e tecnologias provenientes de outros campos, que o design paramétrico assume um potencial mais amplo. Deste diálogo emergem novas possibilidades cujas vantagens não se resumem ao plano da exploração formal com fins expressivos ou à simples agilização de tarefas, mas que, por sua vez, representam igualmente vantagens ao nível da otimização e da performance. É disso exemplo o uso conjunto de modelos digitais e softwares de CAE (*computer aided engineering*)<sup>146</sup>. A articulação entre estas duas ferramentas permite instrumentalizar

<sup>146</sup> Independentemente do facto dos softwares de CAE terem permitido a obtenção de dados performativos usados na optimização dos modelos digitais, segundo Rivka Oxman (2006, pp. 248-9) a implementação dessas melhorias caracterizou-se por ser um processo manual no qual o designer assumiu o papel de intermediário, interpretando os dados resultantes da análise e implementado as modificações ao modelo que considerava necessárias.

dados analíticos providenciados pelo CAE usados para conduzir o processo de geração de forma, transformando e adaptando o modelo digital com base em critérios almejados (Oxman R. , 2006, pp. 257-9). Uma estratégia cuja implementação pode ser observada no conceito desenvolvido pelo atelier ZHA em parceria com a Altair e a Stratasys (Figuras 2.12-4).

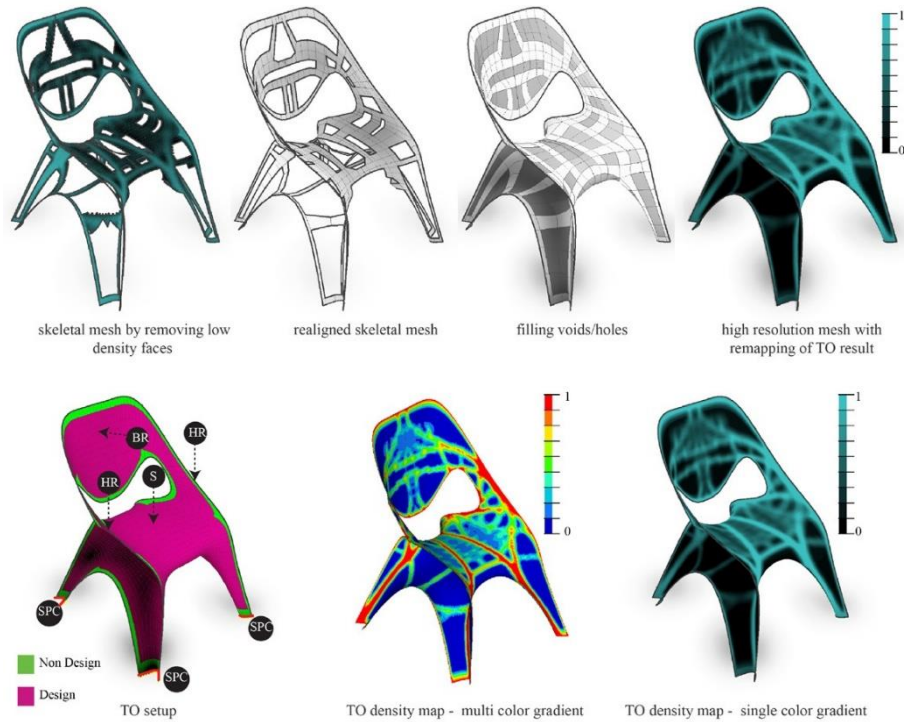


Figura 2.12 – Método de otimização topológica usado na criação da cadeira desenvolvida pela equipe ZHA em parceria com a Stratasys e a Altair – A equipa recorreu à aplicação Altair HyperWorks para implementar uma estratégia de *form-finding* estrutural com base em CAE. A técnica usada passa pela geração de um modelo geométrico que subsequentemente é analisado com recurso a um plugin Altair OptiStruct. Seguidamente e com base nos dados obtidos, a malha do modelo geométrico é reorganizada numa geometria otimizada estruturalmente mais eficiente (altair, 2018)



Figura 2.13 – Cadeira impressa com recurso à tecnologia de impressão 3D com multimateriais. ZHA (Zaha Hadid CO|DE) em colaboração com a Stratasys e a Altair (A difference in making, s.d.)

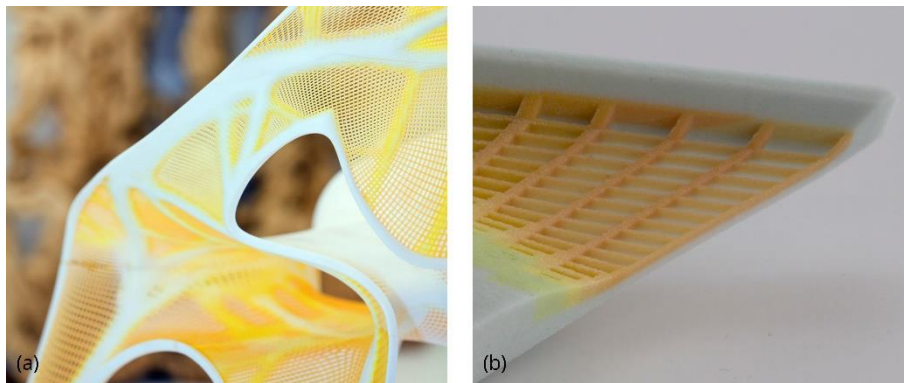


Figura 2.14 – Cadeira desenvolvida pelo Grupo de investigação Zaha Hadid CO|DE em parceria com a Stratasys e a Altair, 2016 – Na pesquisa foram exploradas as potencialidades do uso conjunto de fabricação 3D e software de otimização CAE, nomeadamente o HyperWorks da Altair. Tendo como principal objectivo a optimização estrutural, procurando promover uma redução no material necessário, foram gerados diversos protótipos rápidos através de um processo de iteração no qual um modelo digital foi submetido a um plug-in de optimização de malha geométrica (*mesh*) sendo seguidamente analisado por via de um software de optimização, sendo posteriormente a geometria reformulada para produzir uma geometria estruturalmente optimizada. Além de um produto mais funcional e estável, alcançou-se uma redução do material inicialmente necessário em cerca de 50% (altair, 2018)

Segundo Rivka Oxman (2006, p. 253) os modelos digitais flexíveis são uma ferramenta basilar para estratégias performativas mais complexas com as que aqui se descrevem, particularmente pela sua capacidade para acomodar alterações de forma dinâmica e interactiva permitindo gerar variações (ibid) — um atributo fulcral no contexto destas estratégias. Esta propriedade permite conceber mecanismos generativos assentes numa lógica de *feedback-loop*<sup>147</sup> e *recursion*<sup>148</sup> conduzidos por dados analíticos como exemplificam os modelos performativos<sup>149</sup> descritos por Rivka Oxman (2006, pp. 257-60) ou estratégias de carácter evolutivo como as descritas por Michael Weinstock (2004) ou por Bollinger *et al* (2010, pp. 36-7). Por via destes e de forma automática, é possível conduzidos sucessivos ciclos de análise e implementação de melhorias ao modelo digital até ser obtido um modelo optimizado que satisfaça os critérios almejados pré-estabelecidos (Oxman R. , 2006, pp. 257-9; Bollinger, Grohmann, & Tessmann, 2010)<sup>150</sup>.

<sup>147</sup> Processo no qual os outputs de um determinado sistema são reintroduzidos e usados novamente com inputs (Forsey, 2018)

<sup>148</sup> Técnica usada na programação na qual um processo, sub-rotina ou algoritmo se evoca a si mesmo uma ou mais vezes até uma condição especifica ser satisfeita (Recursion, s.d.).

<sup>149</sup> Segundo Rivka Oxman (2006, p. 257) modelos performativos fazem uso de tecnologias digitais que permitem gerar formas com base em critérios performativos. A performance pode ser definida como uma técnica de geração de forma (*formation*) ou um processo generativo no qual as variantes estão definidas parametricamente pelas condições do problema (ibid). O objecto é gerado mediante a simulação da sua performance e a sua forma é gerada de acordo com uma determinada performance ou comportamento almejado (ibid).

<sup>150</sup> Segundo Weinstock (2004, p. 13) o conceito de *feedback* pode ser entendido como um mecanismo que regula o processo de geração de forma usando informação para medir a performance real em relação a uma performance ideal ou desejada.

Não obstante, aqui chegados, debater o design paramétrico e as possibilidades viabilizadas por esta abordagem no presente, requer sobretudo uma visão alargada que se estenda além da utilização básica dos modelos flexíveis, passando a incluir também técnicas avançadas que resultam da sua integração com diversas tecnologias e estratégias. Entre as quais estratégias generativas como as que incluem algoritmos genéticos (AG)<sup>151</sup> ou evolutivos (AE) ou as que envolvem AI e equipamentos autónomos. Neste ponto, alcançou-se o que pode ser considerado uma zona limítrofe do domínio do design paramétrico na qual, através de abordagens e projectos pioneiros — na sua maioria numa fase precoce de desenvolvimento — é possível constatar o que de mais inovador se produz neste campo. Da especulação inerente a qualquer actividade de descoberta emergem novas estéticas, conceitos, processos e aplicações resultantes de uma convergência interdisciplinar na qual Design, tecnologia e ciência integram um contexto de colaboração. Sobre as aplicações futuras e impacto na forma de projectar e produzir artefactos resultantes desta sinergia, no curto prazo é apenas possível imaginar.

### **2.2.2 - Design paramétrico e as novas possibilidades**

O papel central assumido por Zaha Hadid no contexto do design paramétrico contribuiu para formar uma noção estereotipada sobre esta abordagem, frequentemente conotada a uma imagem composta de formas fluidas. Não obstante ao facto de Hadid ser uma personalidade incontornável, qualquer tentativa que vise corrigir esta ideia assume especial relevância. Principalmente atendendo ao facto de que o design paramétrico além de ter permitido a diversos criativos explorar novas linguagens estéticas e conceitos, provou ter outras aplicações além das que se prendem a esta dimensão.

Como tal, não sendo intenção desvalorizar as possibilidades introduzidas por esta vertente ao nível da exploração formal, a afirmação do valor do design paramétrico exige um olhar abrangente que não se limite ao formalismo. Nesse sentido será igualmente importante que o foco recaia sobre as possibilidades emergentes — quer ao nível dos processos produtivos como ao nível operacional — introduzidas por esta abordagem, não só de forma isolada, mas sobretudo resultantes da sua conjugação com outras inovações e tecnologias oriundas de distintos campos do conhecimento — como por exemplo processos de fabrico ou as ciências da computação — e com as quais a cooperação resulta inegavelmente na ampliação do potencial da abordagem paramétrica. Uma afirmação de valor do design paramétrico depende então da convergência com outros campos e tecnologias assim como do diálogo que se conseguir estabelecer entre estes.

---

<sup>151</sup> Algoritmos genéticos são uma sub-classe de algoritmo evolutivo. Algoritmos evolutivos usam essencialmente um processo de mutação. Estes usam ciclos de análise e implementação para introduzir melhorias a um modelo geométrico digital. Por sua vez os algoritmos genéticos usam processos de mutação e recombinação nos quais as características almeçadas de uma variação anterior dentro do pool genético são recombinadas (researchgate, 2014)

Os exemplos do Pavilhão de Espanha na Expo Shanghai de 2010 (Figura 1.31-2) ou a cobertura criada por Shigeru Ban para o centro Pompidou de Metz (Figura 1.49) são referências que comprovam esta ilação, pois resultam precisamente de um diálogo transdisciplinar e do recurso a distintas tecnologias. Simultaneamente, ilustram de forma clara a capacidade do design paramétrico para lidar com a complexidade (Scheurer, 2010, pp. 89-91) possibilitando a criação de estruturas e formas intrincadas. Capacidade que principalmente nos sectores da arquitectura, engenharia e Design industrial tem promovido o surgimento de projectos caracterizados por um alto nível de sofisticação.

Todavia, a esta sinergia juntam-se actualmente outros campos do conhecimento que têm vindo a ganhar protagonismo junto desta abordagem podendo vir a desempenhar um papel de charneira. Entre estes, a inteligência artificial ou a ciência dos materiais que em conjunto com recentes avanços no sector dos processos produtivos — principalmente na fabricação aditiva<sup>152</sup> — expandem o horizonte de possibilidades não só ao nível produção de artefactos com também ao nível das propriedades e capacidades que estes podem passar a incorporar culminando em novas funcionalidades.

Dessa convergência resultam hoje materiais avançados que detêm qualidades inéditas — entre as quais capacidades dinâmicas e responsivas — obtidas através de um controlo minucioso das suas propriedades estruturais (Oxman N. , 2010) ou da utilização conjunta de materiais com propriedades distintas (Tibbits, McKnelly, Olguin, Dikovsky, & Hirsch, 2014)<sup>153</sup>, tácticas que permitem que estes sejam programados de forma a apresentar determinados comportamentos. Estes são produtos de alta engenharia e design frequentemente designados como “materiais heterogéneos” (Oxman N. , 2010) ou “multimateriais” (Tibbits, McKnelly, Olguin, Dikovsky, & Hirsch, 2014) que resultam de aplicação disruptiva da tecnologia de fabricação aditiva. Uma adaptação que permite obter ao longo do processo de impressão um controlo estratégico da disposição, direcção e densidade do material usado ou mesmo a aplicação selectiva de diferentes materiais (Oxman N. , 2010, pp. 81-3). Uma estratégia denominada *Variable Property Fabrication* (VPF) (ibid) usada por Neri Oxman em diversos projectos entre os quais a *chaise longue* “Beast” (Figura 2.15) ou o vestido “Anthozoa” criado em colaboração com Iris Van Herpen (Figura 1.59).

---

<sup>152</sup> Segundo Tibbits *et al* (2014) a fabricação aditiva tornou-se um subdomínio da ciência dos materiais, campo no qual esta tecnologia foi usada no desenvolvimento de multimateriais. Um processo no qual a própria tecnologia de fabricação aditiva evoluiu.

<sup>153</sup> Ver Figura 1.57

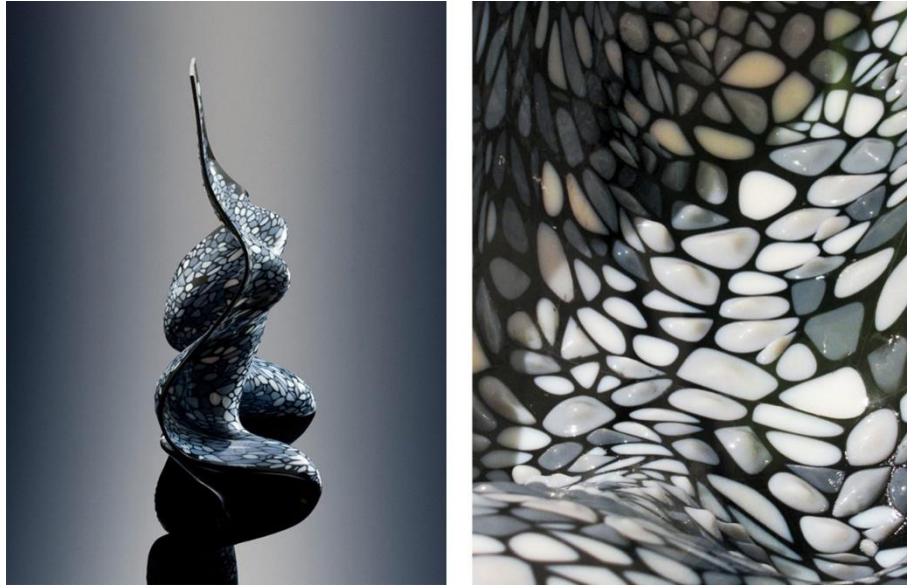


Figura 2.15 – “Beast”, protótipo de *chaise longue*. Neri Oxman, 2008-10 - Apresentada como uma entidade orgânica, como uma superfície única contínua, criada sinteticamente pela incorporação de parâmetros físicos com protocolos digitais de geração de forma, “Beast” combina desempenho estrutural, ambiental e corporal, adaptando sua espessura, densidade de padrão, rigidez, flexibilidade e translucidez às áreas de carga, curvatura e pressão da pele, respectivamente (Neri Oxman / Mit Media Lab, 2008-10)

Neste contexto os materiais passam a ser vistos como detendo propriedades computacionais inerentes como refere Achim Menges (2016, p. 78). Não obstante, não através de um qualquer código informático, mas por via de propriedades físicas que lhes são intrínsecas ou nestes programadas. Os artefactos produzidos com recurso a estas estratégias podem deter características paramétricas possíveis de ser exploradas tanto para gerar novas funcionalidades como comportamentos específicos desejados. Uma possibilidade ilustrada pelo tecido inteligente BioLogic (Figura 2.16) cujo material funciona com um actuador que responde a diferentes condições de humidade (MIT Media Lab, Tangible Media Group, 2015).



Figura 2.16 – BioLogic. Tecido avançado no qual organismos vivos (bactérias da família *Bacillus Subtilis Natto*) são usados como actuadores para gerar comportamentos responsivos de expansão e contracção em resposta a diferentes condições de humidade. Segundo o grupo de investigação, estes encontram-se a “imaginar um mundo em que actuadores e sensores possam ser cultivados em vez de fabricados, sendo derivados da natureza e não projetados em fábricas” (MIT Media Lab, Tangible Media Group, 2015)

Da integração entre design paramétrico e conceitos oriundos ao domínio das ciências da computação — onde se inclui a inteligência artificial (AI) — resultam igualmente novas técnicas aplicadas à optimização dos produtos. As propriedades dinâmicas dos modelos digitais flexíveis são um atributo ideal para usar conjuntamente com estratégias generativas e evolutivas implementadas por exemplo em modelos definidos por Rivka Oxman (2006, pp. 256-7) como Performativos ou Evolutivos. Em ambos os casos é possível perceber a existência de uma lógica de *feedback-loop* na qual os dados obtidos no ciclo anterior alimentam o ciclo seguinte, um procedimento que termina apenas quando encontrado um resultado que cumpra de forma satisfatória os critérios almejados estabelecidos inicialmente e usados para guiar o processo (Oxman R. , 2006, pp. 257-9; Bollinger, Grohmann, & Tessmann, 2010).

No caso dos modelos performativos, dados analíticos relativos à performance de um modelo digital são usados na sua própria optimização (Oxman R. , 2006, pp. 257-60). Por sua vez, modelos evolutivos que fazem uso de algoritmos genéticos ou evolutivos permitem gerar automaticamente diferentes configurações dum modelo digital através de análise, comparação, variação e combinação de diferentes versões do mesmo modelo (Oxman R. , 2006, pp. 256-7).

Um exemplo que ilustra esta possibilidade é o protótipo de um motor de foguete criado recentemente pela empresa Hyperganic (Figura 2.17). Adicionalmente, este projecto demonstra como o uso conjunto das estratégias de optimização referidas e tecnologia de fabricação aditiva, permitem variar as propriedades dos objectos ao longo do processo produtivo em razão de necessidades estruturais localizadas, originando produtos que, à semelhança da natureza, como expõem Neri Oxman (2010, p. 80) e Julian Vincent (2014, pp. 9-10), primam pela economia material. Neste caso, mesmo sendo uma peça única, o material que compõem este artefacto é mais denso em partes que requerem maior resistência ao esforço e mais disperso em áreas onde essa resistência não é necessária (Hahn, 2020).



Figura 2.17 – Protótipo para motor de foguete. Projecto desenvolvido pela empresa Hyperganic através de um processo combinado de impressão 3D e inteligência artificial no qual foi usada uma técnica de design evolutivo envolvendo *loops* e *feedback* visando a optimização do produto. No contexto desta estratégia os dados obtidos da análise ao modelo inicial são usados para reformular o mesmo gerando um modelo otimizado. O processo envolve diversas iterações sendo a cada uma delas a versão mais recente comparada com a que a precedeu. Este ciclo repete-se até ser obtido um modelo que cumpra os requisitos almejados. Segundo a Hyperganic o processo não passa por criar um plano, mas o ADN de um objecto o qual contém os requisitos almejados. Contrariamente aos equipamentos tradicionais, compostos por diversas partes desenhadas individualmente, o protótipo desenvolvido pela Hyperganic é uma peça única e homogénea constituída por uma liga de níquel, ainda assim, cujas propriedades em termos de densidade pode ser variada, duas inovações permitidas pelo processo de fabricação usado que permite conceber zonas mais sólidas onde necessário e outras de constituição mais porosa, conseguindo ganhos em termos de peso (Hahn, 2020)

A capacidade de usar dados obtidos em tempo real para obter diferentes configurações de um modelo digital, abre a porta igualmente à criação de produtos customizados. Embora ainda longe de uma customização em massa, projectos pioneiros como “*This Fits Me*” da autoria de Leonie Tenthof van Noorden (Figura 2.18) demonstram as possibilidades que emergem do recurso ao design paramétrico no que respeita à produção industrial de artefactos que se adaptem às características específicas de cada utilizador.

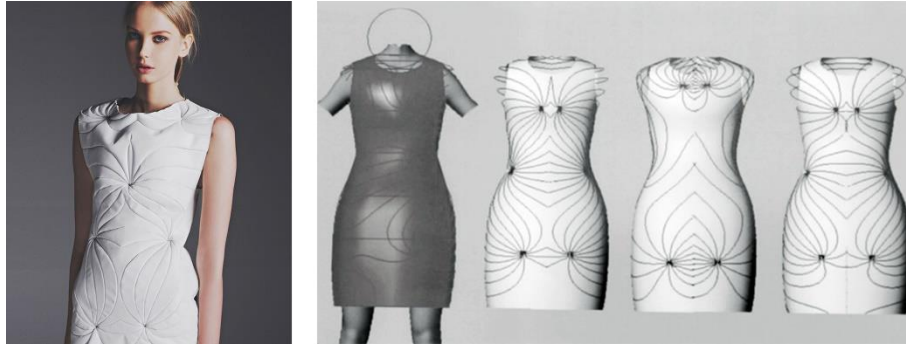


Figura 2.18 – “*This Fits Me*”. Leonie Tenthof van Noorden, 2014.

Em “*This Fits Me*”, através do uso conjunto de um scanner 3D de grandes dimensões e modelos digitais flexíveis criados em Grasshopper, Noorden concebeu um mecanismo que permite criar diferentes configurações da mesma peça que se adequam à morfologia de cada utilizador (Noorden, 2015). Ainda assim, e embora o processo usado pela designer recorra a equipamentos controlados numericamente para cortar o tecido, as etapas seguintes passam ainda por métodos convencionais de produção (ibid). O caso de “*This Fits Me*” surge assim simultaneamente como um exemplo que evidencia as actuais limitações inerentes a este género de abordagem, as quais ainda carecem de uma maior integração tecnológica e onde a pequena amplitude de variações formais possíveis assim como o tempo necessário à produção, continuam a surgir como desvantagens.

Aqui chegados, o design paramétrico demonstra ser uma abordagem promissora, mas que, no entanto, não deixa de ter limitações.

### 2.2.3 - Limitações do design paramétrico

A forma aguerrida como Patrik Schumacher (2008) argumenta sobre o tema do design paramétrico denota uma forte convicção no valor inerente a esta vertente. No entendimento do arquitecto alemão esta surge não só como a única abordagem possível ao design na era moderna como a única capaz de colmatar as problemáticas inerentes a uma sociedade complexa (ibid). Schumacher parece esquecer, porém, que à semelhança de muitas outros avanços surgidos no passado — e outros que virão a surgir — o design paramétrico é apenas uma técnica com vantagens e limitações e cuja pertinência e benefícios podem ser de igual forma transitórios. Nesse sentido uma abordagem paramétrica já mais poderá ser entendida como a única abordagem correcta ou viável ao design, arriscando dessa forma criar o que poderia ser descrito como uma ditadura sobre a prática projectual.

É pertinente recordar que o processo criativo de muitos designers passa ainda no presente por processos convencionais como o desenho ou a maquetagem. Pelo que uma abordagem

paramétrica — independentemente das possibilidades operacionais ou expressivas por si apresentadas — surge como uma entre muitas outras igualmente viáveis. Cabe ao designer, portanto, escolher a linguagem e método que melhor exprime a sua intenção assim como as ferramentas e processos que mais se adequem à resolução do problema que se propõem enfrentar. Afinal, a especificidade desta vertente faz com que esta não se adequa a todas as situações. Considere-se por instantes a elaboração de um modelo paramétrico, uma tarefa facilmente qualificável como trabalhosa e demorada, com referem Scheurer (2010, p. 91) ou Mário Barros (2015, p. 77) citando Woodbury (2010, p. 36), mas também propensa ao erro — o que implica necessariamente avanços e recuos. Por si só, estamos diante de um argumento suficiente para justificar que nem todos os projectos se enquadram numa abordagem paramétrica. De forma idêntica, a mesma abordagem pode ser dispensada sempre que não exista a intenção de criar variações, a necessidade de um modelo flexível, ou ainda que a complexidade do problema que se pretende resolver seja reduzida. Caso assim não seja o recurso ao design paramétrico significará apenas um acto de complexidade pela complexidade. Principalmente atendendo ao facto que é justamente por ser uma ferramenta capaz de lidar eficientemente com a problemas complexos (Scheurer, 2010, p. 91) que deixa transparecer a pertinência e as vantagens de uma abordagem paramétrica.

Pelo seu carácter operativo, enquanto técnica ou ferramenta, o design paramétrico não consiste assim em nenhuma solução por si só. Surge então e apenas como um meio que permite viabilizar soluções previamente idealizadas por um designer que de forma consciente e intencional faça uso desta abordagem.

Por fim, da mesma forma que as possibilidades do design paramétrico são amplificadas pela convergência com outras áreas do conhecimento, esta relação surge simultaneamente como uma limitação que coloca o próprio progresso desta vertente na dependência do desenvolvimento de cada uma das áreas com as quais converge. Uma limitação evidenciada quando considerados os conceitos explorados no plano virtual no contexto do design paramétrico e cuja concretização, como aponta Scheurer (2010, p. 91), seria praticamente impossível sem os meios tecnológicos vitais à sua concretização como, por exemplo, os equipamentos de produção controlados numericamente.

### 2.3 - Correlação entre design paramétrico e biomimética

Relacionar duas abordagens tão distintas como o design paramétrico e a biomimética é uma tarefa complexa. Esta relação não é à partida óbvia e, de forma imediata, poderemos concluir que estamos perante duas abordagens ao design que se encontram em polos opostos do mesmo espectro. Afinal, se por um lado temos uma abordagem fortemente ancorada nas ciências da computação, em oposição encontramos uma outra cuja principal base é a biologia. Não obstante, estamos diante da mesma oposição entre sintético e orgânico, entre natural e artificial, entre máquina e natureza que Neri Oxman (2015) refere na introdução de “Design at the intersection of technology and biology” (Figura 2.19).

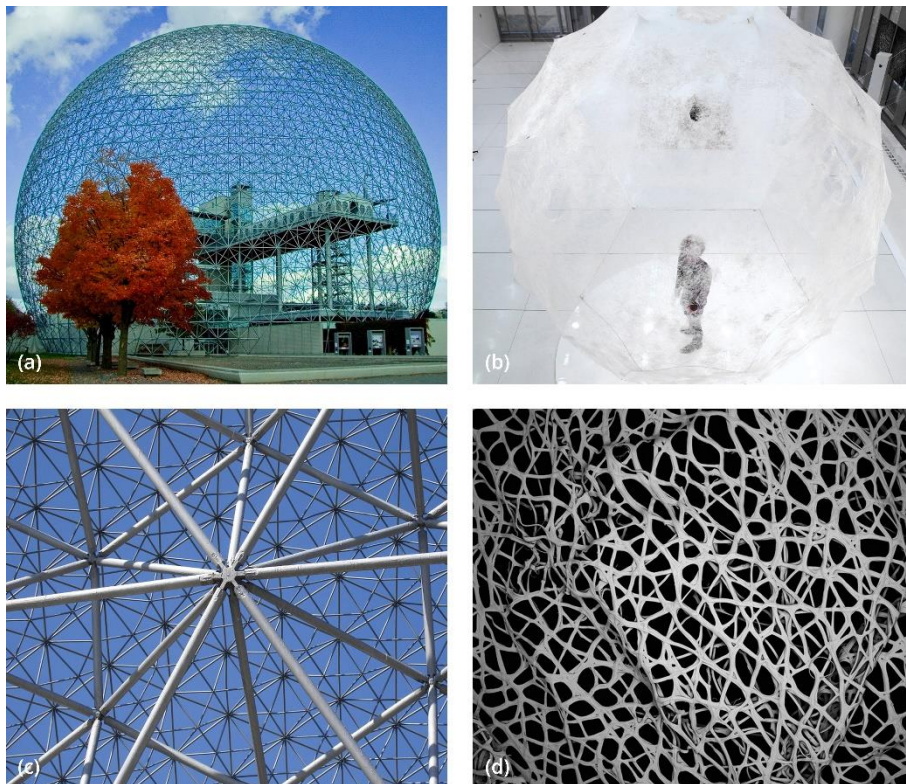


Figura 2.19 – Comparação entre a estruturas geodésicas de Buckminster Fuller e as fibras de seda usadas por Neri Oxman enquanto estruturas idênticas, mas que representam conceitos opostos. “Por um lado, o sintético imposto ao meio e feito para a natureza por via da assemblagem de milhares de componentes, por outro o orgânico criado pela natureza com uma única fibra de seda”. Adaptado de (Oxman N. , 2015). (a) Montreal Biosphere de Buckminster Fuller (c) detalhe (Langdon, 2014) (b) “Silk Pavillion”, domo criado pelo Mediated Matter Group do MIT no qual se explora a relação entre fabricação digital e biológica. A estrutura principal é composta por 26 painéis feitos de fio de seda depositado por um equipamento controlado numericamente. Posteriormente 6,500 bichos da seda foram usados para preencher as lacunas da estrutura. (d) detalhe (Mediated Matter Group, MIT Media Lab, s.d.)

Oposto, portanto, não significa aqui uma cisão. Tão pouco que ambas as abordagens não sejam complementares e que em certos casos estas não cheguem mesmo a ser interdependentes. Não significa de igual forma que não partilhem aspectos comuns — ou não seja a mesma natureza que serve de inspiração ao design biomimético regida por

padrões matemáticos e leis precisas, sendo ela própria (e consequentemente os seus modelos) igualmente paramétrica<sup>154</sup> (Figura 2.20). Como tal foram reunidos os seguintes pontos que sugerem uma relação entre ambos os campos:



Figura 2.20 – Raízes de árvore vs calçada - A adaptabilidade trazida pelo design paramétrico tem paralelo na natureza (Jolles, 2018)

### **2.3.1 - Um lugar comum para a biomimética e o design paramétrico na história do Design**

A própria história do Design não deixa de ser representativa de uma correlação entre design paramétrico e biomimética existindo diversos exemplos nos quais ambas as abordagens coexistem. Gaudí, referido anteriormente como um dos precursores do design paramétrico, foi simultaneamente um ávido explorador da natureza traduzindo na sua obra vários motivos nesta inspirados. Entre estes, as colunas da sagrada família às quais a forma ramificada confere igualmente propriedades estruturais (Vincent, 2014)<sup>155</sup>, ou a cobertura da casa Batlló cuja aparência pode facilmente ser comparada a escamas de peixes. É no entanto o uso da gravidade enquanto condicionante, mediante o princípio da catenária invertida (Davis, 2013a, pp. 22-3; Chilton, 2010, p. 67), a surgir como o exemplo mais concreto da coexistência de ambas as abordagens na obra de Gaudí, onde um princípio natural<sup>156</sup> e uma lógica

---

<sup>154</sup> Exemplo de um comportamento paramétrico podem facilmente ser encontrados na natureza. Os estômatos das plantas, que abrem ou fecham em resposta aos níveis de humidade do meio, são apenas um do exemplo que podem ser mencionados (Menges, 2004, p. 94).

<sup>155</sup> Julian Vincent (2014) refere que o trabalho de Gaudí estava devidamente enraizado no mundo natural. Embora o arquitecto catalão tenha frequentemente usado motivos biológicos com fins meramente decorativos (biomorfismo), exemplos como as colunas da cripta da Sagrada Família demonstram que além da aparência, a forma inspirada nos ramos das árvores, evitando ângulos pronunciados, confere à coluna propriedades estruturais que impedem a propagação de fissuras.

<sup>156</sup> A gravidade entenda-se, que à semelhança do que sucede na natureza, onde as suas formas são o resultado das forças que actuam sobre a matéria (Oxman N. , 2010, p. 80), também condiciona as formas da arquitectura de Gaudí. Por sua vez, estas condicionantes podem ser entendidas como parâmetros.

paramétrica estão simultaneamente presentes e onde à semelhança da natureza a forma é resultante das forças que actuam sobre a matéria (Oxman N. , 2010, p. 80).

Gaudí não é, contudo, um exemplo único. A obra de Frei Otto — com quem Gaudí partilha o recurso a modelos físicos para estudar as suas obras — é igualmente conhecida por incorporar princípios naturais como inspiração. Um exemplo concreto frequentemente referido, é o estudo da película das bolas de sabão implementado pelo arquitecto alemão (Fornes, 2016, p. 61; Hensel, Menges, & Weinstock, 2004(b), p. 20) o qual serviu de base a muitos dos seus projectos. Neste contexto, as leis da física que definem o trabalho de Otto surgem, portanto, de uma inspiração na natureza ao mesmo tempo que funcionam como parâmetros que condicionam a sua obra.

Também Heins Isler<sup>157</sup> ou o italiano Pier Luigi Nervi<sup>158</sup> são exemplos pertinentes de individualidades cuja obra reflecte o uso conjunto de ambas as abordagens. Nervi, que para o Palazzetto dello Sport criado para os jogos olímpicos de verão de 1960 em Roma<sup>159</sup> usou o nenúfar<sup>160</sup> como inspiração (Figura 2.21), conseguiu dessa forma conceber uma cobertura que, além de esteticamente agradável, é estruturalmente mais fina e leve sem, contudo, comprometer a sua resistência. Uma estratégia que permitiu criar um amplo vão, fundamental para o género de equipamento em questão (Button, 2016, p. 38; Pawlyn, 2016, pp. 18-9).

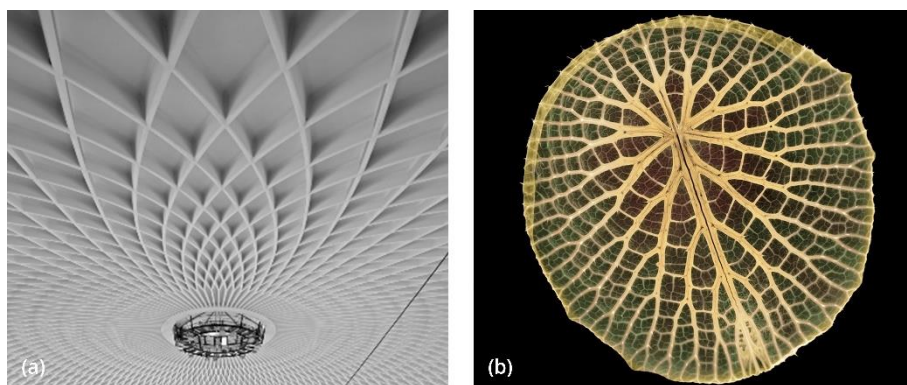


Figura 2.21 – (a) Cobertura do Palazzetto dello Sport criado por Nervi e (b) Imagem de raio-x de uma folha de nenúfar (*Victoria amazonica*) demonstrando a sua robusta estrutura. (Weston, 2012).

<sup>157</sup> À semelhança de Gaudí e Otto, Heins Isler recorria a modelos físicos — nomeadamente modelos suspensos — no processo de estudo para as suas famosas Shells (Chilton, 2010). À obra de Isler é por isso igualmente atribuído um carácter de paramétrica ou bio inspirada. Todavia pela sua semelhança com os exemplos já referidos uma descrição mais detalhada do trabalho de Isler não é fundamental para a questão em causa.

<sup>158</sup> Como nos casos de Gaudí ou Frei Otto, Nervi nunca descreveu o seu trabalho como paramétrico sendo essa definição fruto da análise de terceiros.

<sup>159</sup> O Palazzetto dello Sport em Roma foi criado pelo arquitecto Annibale Vitellozzi e Pier Luigi Nervi sendo este último o engenheiro do projecto. Nesta obra, Nervi teve um papel importante no estudo e desenvolvimento da cobertura feita com recurso a elementos de cimento armado pré-conformado (Leslie, 2013).

<sup>160</sup> ou Vitória-régia, planta aquática da família das *Nymphaeaceae* típica da região da amazónia (Vitória-régia, s.d.)

Neste contexto, e não ignorando o grande foco na eficiência estrutural presente na obra de Nervi, é importante destacar a relação existente entre forma e princípios estruturais que, como aponta Thomas Leslie (2013, p. 107)<sup>161</sup>, caracteriza a sua obra. Uma relação que encontra igualmente paralelo na natureza (Oxman N. , 2010, p. 80). No entanto, a inspiração na natureza não é a única vertente presente na obra deste autor.

A geometria característica da obra de Nervi deixa por si só antever a existência nesta de uma lógica paramétrica, uma suspeita que Thomas Leslie (2013)<sup>162</sup> não hesita em dar como certa sustentando essa convicção no facto de Nervi recorrer a geometrias regradadas<sup>163</sup>. Com base nesse argumento Leslie coloca Pier Luigi Nervi também entre os pioneiros de uma abordagem paramétrica no contexto projetual, embora à semelhança de Gaudí ou Otto, também Nervi nunca tenha aplicado o termo paramétrico no contexto da sua obra.

Contudo, a constatação de Leslie além de pertinente parece ser sustentada de forma indirecta quando, paralelamente, observamos a aplicação da mesma estratégia por outros autores agora com abordagens assumidamente paramétricas. É disso exemplo Philip Yuan (2016, pp. 76-7) que recorreu ao uso de superfícies regradadas para conceber a estrutura em betão armado que integra a biblioteca do estúdio de arquitectura Archi-Union, ou a escadaria que projectou para Jade Museum de Shangai.

Embora partindo de uma análise à posteriori elaborada por terceiros, as obras de Gaudí, Otto, Hisler ou Nervi emergem como exemplos frequentemente referenciados tanto no contexto do design paramétrico como no contexto da biomimética. A estes poderiam facilmente juntar-se nomes como Buckminster Fuller, Neri Oxman ou Ross Lovegrove, também estes mencionados de forma recorrente no âmbito de ambas as abordagens, ou ainda do arquitecto britânico Michael Pawlyn (Figura 2.22)<sup>164</sup>, reforçando não só a ideia de que o seu uso conjunto é uma prática comum, como que esta prática não ficou limitada ao passado.

---

<sup>161</sup> O foco na eficiência estrutural característico da obra de Nervi pode ter sido uma forma de fazer face às restrições e limitações que o engenheiro enfrentou numa Itália do pós-guerra como aponta Leslie (2013, p. 107).

<sup>162</sup> Leslie (2013, p. 114) refere que muitas das formas complexas criadas por Nervi eram conseguidas com recurso a algoritmos simples criados com materiais básicos no próprio local como ripas de madeira usadas para criar geometrias regradadas.

<sup>163</sup> Em geometria, uma geometria é regradada quando pode ser planificada ou desenrolada sem que a superfície “estique”, “encolha”, se “rasga” ou adquira “pregas” (Pottmann, 2010, p. 74; Developable surface, s.d.). Exemplos simples e de fácil visualização incluem o cilindro ou o cone (Developable surface, s.d.). Pode por isso ser também denominada de geometria planificável.

<sup>164</sup> O trabalho desenvolvido por Pawlyn é frequentemente mais conotado à biomimética, no entanto o arquitecto recorre a ferramentas digitais e técnicas de carácter paramétrico na sua prática —algo nítido nos conceitos apresentados pelo arquitecto (The Architecture Foundation, 2014). Adicionalmente Pawlyn trabalhou com Grimshaw durante uma década tendo um papel central no projecto “Eden” (ibid) no qual foi implementada uma abordagem paramétrica (Woodbury, 2010, pp. 43-5)



Figura 2.22 – Michael Pawlyn - Mesa de apoio produzida em PLA por impressão 3D, 2014 – A mesa criada para a exposição “Exploration Architecture’s work” Pawlyn usou algoritmos para determinar o uso mais eficiente do material tendo como inspiração as estruturas dos ossos e o padrão de crescimento das árvores (Lindsay, 2020)<sup>165</sup>.

Não obstante, transpondo a simples referência a individualidades cuja obra pode ser enquadrada no contexto de ambas as vertentes, elevam-se questões relevantes que exigem resposta. Entre estas, se a simples integração conjunta de conceitos e técnicas provenientes de ambas as práticas — com maior ou menor consistência por parte dos autores — ou o facto de determinados nomes serem assiduamente citados no domínio destes dois campos, surgem como argumentos robustos que permitam afirmar a existência de uma relação entre o design paramétrico e a biomimética ou que ambas as abordagens são convergentes?

Sendo estes à partida argumentos pobres, existem indicadores mais sólidos que corroboram a existência desta relação. Entre estes, um foco intrínseco na procura de soluções eficientes comum a ambas as abordagens, ou a integração e exploração no contexto do design paramétrico de conceitos próprios da biologia que se tentam replicar com recurso a estratégias algorítmicas.

### **2.3.2 - A eficiência e a aptidão como medidas universais**

Embora diferentes, tanto a biomimética como o design paramétrico são irrefutavelmente disciplinas que almejam a eficiência. A biomimética procura desenvolver aplicações através da replicação dos padrões e estratégias da natureza — e com efeito integrar a eficiência inerente a esta entidade. Por sua vez, o design paramétrico procura criar modelos cuja eficácia possa ser traduzida a vários níveis — estrutural, formal, produtivo, etc. — nos artefactos que origina, valendo-se para esse efeito dos mais recentes avanços da técnica.

---

<sup>165</sup> Link para consulta: [https://www.youtube.com/watch?v=3OGCU5XpOZk&ab\\_channel=Dezeen](https://www.youtube.com/watch?v=3OGCU5XpOZk&ab_channel=Dezeen)

No âmbito do design paramétrico, para atingir esse objectivo são usadas estratégias evolutivas integrando algoritmos evolutivos e genéticos que emulam os processos de evolução, recombinação e selecção existentes na natureza (Hensel, Menges, & Weinstock, 2004 apud Oxman R. , 2006, pp. 256-7). As soluções resultantes são seleccionadas segundo um critério igualmente intrínseco a esta entidade: a aptidão (ibid).

Recorrendo aos mesmos mecanismos algorítmicos conciliados com os avanços surgidos nas áreas das ciências dos materiais e da fabricação aditiva, procura-se igualmente replicar a utilização estratégica de materiais implementada pela natureza. Um objectivo cuja última fronteira seja talvez a substituição de um processo produtivo baseado na montagem de componentes por outro baseado no crescimento orgânico (Lovegrove, 2016, p. 106; Oxman N. , 2015), obrigando a repensar a lógica hierárquica ineficiente, caracterizada pela pós-racionalização da forma, que até agora caracterizou a produção de artefactos (Oxman N. , 2010; Oxman & Oxman, 2010). Uma lógica onde a forma é pensada em primeiro lugar e estrutura e material é acomodada em função desta (ibid).

### **2.3.3 - Material First**

Contrariamente à produção humana, a natureza emprega uma lógica hierárquica na qual a matéria e a estrutura antecedem a forma (Oxman & Oxman, 2010, p. 15). Na natureza a forma é o resultado das forças que agem sobre a matéria (Oxman N. , 2010, p. 80)<sup>166</sup> e como resultado, nas estruturas “desenhadas” por esta entidade a matéria é distribuída eficientemente acumulando-se em áreas que necessitam de maior resistência e dispersa em áreas onde essa necessidade não existe (ibid).

No contexto do design paramétrico esta é uma lógica que hoje se tenta replicar em projectos de investigação como os apresentados por Achim Menges nos quais o material, mais do que a forma, assume um papel determinante. Para Menges (2016, pp. 78-9) os materiais têm propriedades computacionais detendo agência no que à geração da forma diz respeito. Nesta perspectiva o material deixa de ser um receptor passivo de formas passando a deter um papel determinante no processo de morfogénese (ibid, p. 78). No âmbito de uma lógica paramétrica as propriedades físicas dos materiais podem ser vistas como parâmetros (Weinand & Hudert, 2010, p. 104).

---

<sup>166</sup> Como sucede quando empregues estratégias morfogénicas conduzidas por dados analíticos e em tempo real que emulam o processo e lógica implementados pela natureza onde a forma a é condicionada pelas forças que agem sobre a matéria.

### **1.3.4 - Convergência: a replicação dos mecanismos da natureza no contexto do design paramétrico**

A assimilação por parte do design paramétrico de conceitos e princípios oriundos da biologia, como a noção de emergência<sup>167</sup> ou morfogénese<sup>168</sup> que se procuram emular através de técnicas computacionais de carácter generativo e evolutivo, denota uma relação próxima entre estes dois campos. O trabalho de investigação desenvolvido conjuntamente por Achim Menges, Michael Hensel e Michael Weinstock e explorado em “Emergence: Morphogenetic Design strategies” (2004) é disso exemplo. Através da exploração destes conceitos pertencentes à esfera natural, este grupo de investigadores procura desenvolver novos métodos para gerar formas e comportamentos complexos. No seu conjunto estes exemplos surgem como argumentos robustos que permitem sustentar a convicção da existência de uma ligação ou convergência entre o design paramétrico da biomimética.

No domínio do design paramétrico, independentemente da prematuridade e evidentes limitações que no presente ainda caracteriza este género de estratégias, os casos apresentados são expressivos de um aumento na frequência com que estas têm vindo a ser implementadas.

### **2.3.5 - Design paramétrico como alavanca da inovação inspirada pela natureza**

A aparente simplicidade da natureza não deixa transparecer a sua complexidade e, de certo modo, talvez apenas recentemente com o surgimento da ciência moderna o ser humano se tenha dado conta dessa sofisticação<sup>169</sup>. Ainda assim, sobre estas novas descobertas continuam a ser feitas num ritmo cada vez mais célere. O desenvolvimento de novas tecnologias — como por exemplo o microscópio de eletrões que permitiu captar imagens a escalas nunca alcançadas — permitiram desvendar os mecanismos inerentes a alguns fenómenos naturais até então incompreendidos. Com efeito, a inovação tornou acessível um manancial de novas possibilidades resultantes dos conhecimentos obtidos que por via dos novos recursos.

---

<sup>167</sup> Em “*Emergence: Morphogenetic Design strategies*” o termo “*Emergence*” (ou emergência) é usado pelos autores para invocar o emergir de formas e comportamentos sistémicos complexos no meio natural.

<sup>168</sup> Morfogénese (morfo = Forma + génese = origem) em biologia descreve um conjunto de leis que presidem à produção da forma dos órgãos e da estrutura dos seres durante a evolução a partir do embrião. Morfogénia = desenvolvimento da forma (Morfogénese, s.d.).

<sup>169</sup> A descodificação do genoma humano, porventura um dos maiores feitos do século XX, ilustra esta realidade. O projecto com início em 1990 demonstrou-se uma tarefa hercúlea que durou mais de uma década envolveu mais de 5000 cientistas de 250 diferentes laboratórios. Somente em 2003 foi anunciado que finalmente 99% do genoma humano fora sequenciado (Projeto genoma humano, s.d.).

No que diz respeito à biomimética, não será impreciso afirmar que é justamente das escalas mais reduzidas que emerge o maior potencial para a inovação. Exemplos como o a pele do tubarão (Figura 1.83), as asas da borboleta *morpho* (Figuras 1.85-6) ou a microestrutura presente nas patas das osgas, todos eles na origem de diversas aplicações inovadoras, comprovam esta afirmação. Curiosamente, é também à microescala, pelos seus padrões e estruturas onde a eficiência foi puxada ao limite, que a natureza mais evidencia o seu carácter paramétrico — uma crença detida por Fuller (Baldwin, 2012).

Deste diálogo entre ciência (descoberta) e engenharia (aplicação) resultam seguramente novas oportunidades para a inovação, as quais por terem origem num diálogo transdisciplinar ajudam sobretudo a evidenciar o carácter convergente das disciplinas na sua origem. O designer, apontado por Lorenz (1991, pp. 8-9), Wahl (2006, p. 294) e Neri Oxman (2015) como um “construtor de pontes” entre distintos campos do conhecimento, não está por certo disposto a ficar fora deste diálogo. E, factualmente, não está. designers como Ross Lovegrove (2016, pp. 106-7) cuja linguagem sempre assumiu um carácter futurista, idealizam já no presente como a evolução tecnológica pode vir a alterar a forma como produzimos objectos. Segundo Lovegrove (ibid), o método produtivo vigente, assente na assemblagem de componentes, pode dar lugar a métodos análogos aos que ocorrem na natureza pelos quais os produtos cresçam através de processos biológicos (Figura 2.23). Uma concepção estranha para o designer “treinado para pensar nos seus objetos como montagens de partes separadas com funções distintas” (Oxman N. , 2015).

Esta visão de Lovegrove encontra paralelo no trabalho e visão de Neri Oxman (2015) para quem, numa perspectiva biomimética, a lógica de assemblagem deve ser abandonada para dar lugar a um modelo mais próximo ao natural, por sua vez baseado no crescimento e no qual as componentes materiais, digitais, físicas e biológicas se combinem. Contudo, esta emulação da natureza aplicada aos processos produtivos subjacente às perspectivas de Lovegrove e Oxman, não poderá ser implementada via de processos manuais. Recorrendo à mesma analogia usada por Neri Oxman (2015), longe vão os tempos em que o ser humano moldou o mundo com pouco mais do que um martelo e um cinzel.



Figura 2.23 – “Calgat (Can a Lily Grow a Telephone)” de Ross Lovegrove, 2010: imagem simbólica alusiva à produção de artefactos industriais mediante processos de crescimento orgânico análogos aos existentes na natureza (Ross Lovegrove, s.d.).

A natureza e os processos que esta incorpora são extraordinariamente complexos não sendo de fácil replicação por via dos métodos convencionais. Lidar com tal ordem de complexidade requer obrigatoriamente o amparo do algoritmo e do processador. Valendo-se dos mais recentes avanços tecnológicos em termos de aplicações computacionais, processo de fabrico e materiais — áreas chave referidas por Neri Oxman (2015) — para decompor os mecanismos naturais, transforma em dados, interpretados por algoritmos convertidos posteriormente em modelos paramétricos talvez seja possível aos Ser humano emular eficazmente a natureza.

Para a biomimética, cujo foco reside precisamente na emulação dos processos e estratégias da natureza (Biomimicry Institute, 2019), uma abordagem paramétrica surge como fundamental. No sentido inverso, para o design paramétrico e principalmente para muitos dos agentes que se encontram na vanguarda desta abordagem, a natureza é um modelo cuja lógica se tenta replicar. biomimética e design paramétrico não são, portanto, abordagens opostas, mas sim complementares e convergentes (Figura 2.24).

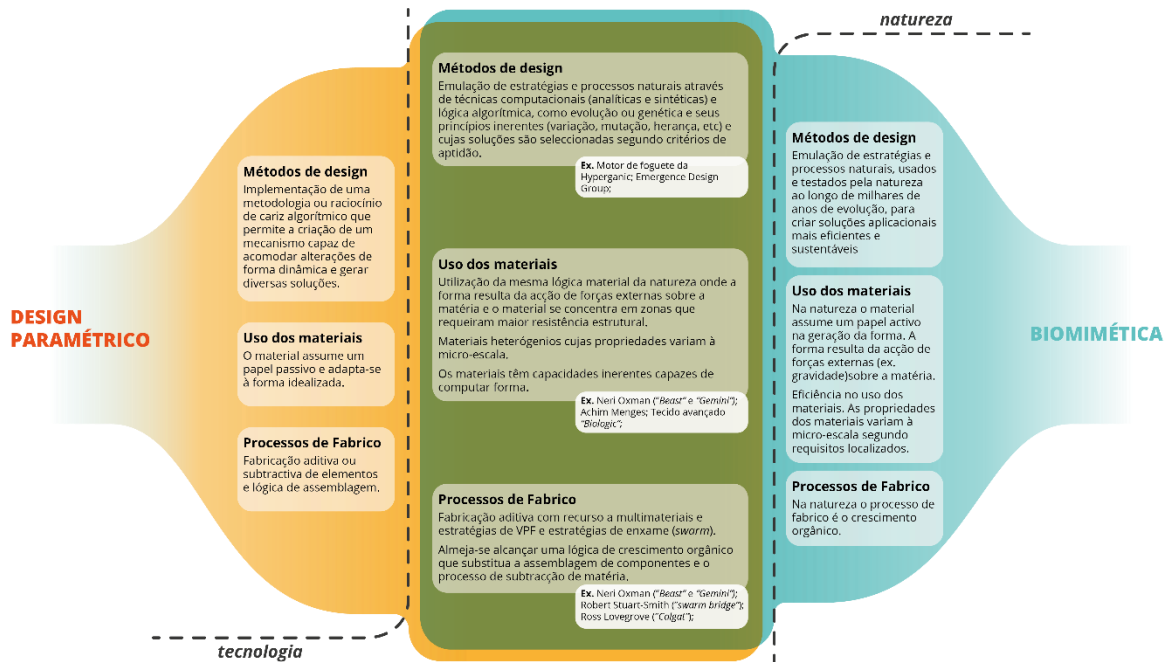


Figura 2.24 – Intersecção ou convergência entre design paramétrico e biomimética no contexto dos projectos de investigação apresentados focando os seus métodos, uso de materiais e processos de fabrico (ver apêndice 1).

## 2.4 - Problemáticas emergentes

A evolução tecnológica verificada desde a revolução industrial contribuiu inquestionavelmente melhorias na qualidade de vida do Ser humano (Rifkin, 2016, pp. 77-87). Não obstante, a produção em massa de todo o tipo de bens rapidamente revelou a sua face mais negativa (Bonsiepe, 1992, pp. 75-85). As consequências que daí resultaram não só ainda são sentidas no presente como foram amplificadas pelo consumo desmedido ao qual assistimos nas últimas décadas.

O designer, segundo Gui Bonsiepe (1992, p. 75) muitas vezes cúmplice desse sistema, emerge hoje reinventado na forma de um Ser mais consciente. Todavia, o deslumbramento causado pelo manancial de novas oportunidades que agora emergem não pode servir para que este esqueça o passado que a história da sua profissão encerra, sob pena de assim descurar os perigos que o futuro apresenta.

No presente, o Design converge com áreas do conhecimento cada vez mais díspares articulando um diálogo que inequivocamente abre portas a inúmeras inovações (Oxman N. , 2015). Sem embargo, à semelhança do passado as mesmas virão por certo acompanhadas de novas problemáticas, das quais não se poderão dissociar e que não podem — ou devem — ser ignoradas.

### 2.4.1 - Produção em massa vs customização em massa

Da intersecção entre Design e áreas tão diferentes como as ciências da computação, e alavancado pelos mais recentes avanços no campo dos processos de produção, o design paramétrico emerge com uma abordagem que promete romper com o sistema produtivo vigente, desde a sua génese baseado na reprodução de réplicas (Carpo, 2016, p. 29) e que praticamente até aos nossos dias pouco mais se permitiu oferecer do que alguma margem para a customização, ainda assim, sempre obtida mediante o pagamento de um extra.

Deste diálogo transdisciplinar emerge na actualidade a promessa de uma produção à escala industrial de objectos personalizados, algo anteriormente inconcebível (Carpo, 2016, p. 29). O modelo de produção massificada gerado pela evolução da técnica, sucumbirá assim também pela mão desta, dando por fim lugar a um novo modelo produtivo de customização em massa cujas possibilidades são exploradas por Mário Barros (2015). No contexto deste modelo, o design paramétrico surge como uma ferramenta que vem permitir dar resposta a um dos maiores anseios contemporâneos<sup>170</sup>, facultando os meios necessários à criação de soluções cuja singularidade pode alcançar o nível do individual. O design paramétrico emergirá assim como um agente com um potencial inerente para a diferenciação.

Não obstante, desta promessa surgem novas questões, entre as quais, se a diferença não emergirá ela própria como um agente uniformizador. Afinal, num contexto onde nada é igual, o efeito da diferença surtirá nulo contribuindo para o mesmo efeito de *white-noise* mencionado por Schumacher (2016c, p. 116)<sup>171</sup>. Seremos então iguais na diferença que partilhamos, nunca podendo, ainda assim, descartar totalmente a possibilidade de nunca sequer ter presenciado uma verdadeira diferença, pois como coloca Mário Carpo (2016, p. 28), objectos resultantes de algoritmos procedurais não são objectos isolados, mas uma classe de objectos unidos pelo mesmo sistema de regras que os define. Como tal, estaremos então e apenas perante uma variação do mesmo<sup>172</sup>.

Da mesma forma, poderemos igualmente questionar se a transição de um modelo de produção em massa para um modelo de customização em massa como o apresentado por Barros (2015), trará só por si qualquer impacto mais significativo do que a simples produção individualizada dos artefactos obtida por via da variação da forma. Afinal, caso se mantenha uma lógica de produção em série alguns dos maiores problemas causados pelo modelo anterior permanecerão por resolver.

---

<sup>170</sup> O desejo de se diferenciar entenda-se. Gillo Dorfles (1978, pp. 56-7) refere que a ânsia de diferenciação é uma característica de todo o ser humano desde o seu estágio mais selvagem que dificilmente desaparecerá por completo.

<sup>171</sup> Schumacher usa a expressão *white-noise* referindo-se ao aglomerado arquitetónico construído de forma desregulada nos grandes centros urbanos, nos quais a acumulação de diferentes estéticas acaba paradoxalmente por ter um efeito contrário surtindo num efeito uniformizador.

<sup>172</sup> ou, como definidos por Deleuze, “objectiles” (Carpo, 2016, p. 26)

### 2.4.2 - Automação e desumanização do Design

Algoritmos, realidade aumentada, inteligência artificial, a promessa de um futuro altamente tecnológico pode surgir simultaneamente como um futuro onde a criação de objectos não resultará mais da intervenção humana. Nesse cenário, modelos gerados por algoritmos com recurso a dados recolhidos de forma directa e em tempo real, são prontamente comunicados a equipamentos de produção sem ter o ser humano como intermediário. Tudo em prol da eficiência e da perfeição. Esta automação que ameaça afastar o Homem da produção de artefactos também explorada por Rifkin (2016, pp. 211-33)<sup>173</sup>, levará igualmente consigo talvez o lado humano que sempre integrou o Design e, sem este, poderemos questionar se o Design não foi também ele anulado.

A eficiência em todas as suas vertentes emergirá então como um novo standard e no artefacto nascido do algoritmo não haverá mais lugar à expressão humana. Um reemergir, talvez, de um passado onde o foco excessivo na funcionalidade resultou em objectos frios e apáticos e, para alguns, “num Design entediante”<sup>174</sup>, como coloca Oki Sato (2019) para quem a tecnologia, embora útil, ao almejar a perfeição retira o lado humano — intrinsecamente imperfeito — ao Design.

“A tecnologia é sobre fazer coisas perfeitas e o que torna as pessoas interessantes é o facto de estas não serem perfeitas. No final, a perfeição torna as coisas chatas”

**Oki Sato** (2019)

Não obstante, este não deixa de ser um receio antigo no domínio do Design, onde aquando do seguimento da máquina se temeu por uma desumanização desta prática projectual ou até mesmo por uma subjugação do ser humano por esta (Mumford, 2001, pp. 10-4). Ainda assim os objectos não perderam o toque humano e embora um produto da máquina estes continuaram a reflectir a imaginação e intenção do primeiro. Por sua vez, a máquina acabaria por assumir o seu lugar enquanto ferramenta que, sem desmérito, viria a permitir não só a concretização de novas ideias, mas em simultâneo aumentar o espectro de possibilidades de exploração.

---

<sup>173</sup> Rifkin (2016, pp. 211-33) refere como as tecnologias da informação e da internet que reduziram os custos associados à comunicação, energia, educação superior e indústria transformadora reduziram igualmente a mão-de-obra necessária em muitos sectores. Na actualidade segundo o autor, os megadados, a analítica avançada, os algoritmos, a inteligência artificial e a robótica estão a substituir a mão de obra em diversos sectores, desde as indústrias transformadoras à educação, extinguindo centenas de milhões de postos de trabalho na primeira metade do século XXI.

<sup>174</sup> Opinião perfeitamente representada pela declaração de Venturi “*less is a bore*” em 1966 (Bürdek, 2015, p. 50)

De forma idêntica, também o design paramétrico surge como uma ferramenta ao serviço do designer. A linguagem do algoritmo, à semelhança da linguagem da máquina, não emerge necessariamente como um agente de desumanização, pelo menos enquanto esta for reflexo da intenção e pensamento de um designer. Por outro lado, talvez esta nova ferramenta, como sucedeu no passado, venha abrir a porta a novas possibilidades estéticas, produtivas ou funcionais. O design paramétrico não surge, portanto, como uma ameaça para o Design e seus profissionais. É, todavia, na ideia de uma numa automação total que essa ameaça reside.

### **2.4.3 - O lugar do designer na era do algoritmo e da inteligência artificial**

A automação de equipamentos e processos produtivos representa uma inovação promissora cujas vantagens e possibilidades são há muito exploradas em diversas aplicações e equipamentos que passaram a integrar os ambientes industriais (Bechthold, 2010). Não obstante, a recente evolução tecnológica, arraigada na era da informação e da inteligência artificial, viabilizou o desenvolvimento de novos recursos agora dotados de novas funcionalidades e aptidões. Outrora limitados à execução de tarefas rotineiras (ibid), no presente começa-se a assistir ao surgimento de equipamentos capacitados nos quais uma combinação de diversas tecnologias permite que estes possam formular juízos e tomar decisões de forma autónoma (Stuart-Smith, 2016; Bechthold, 2010). Este avanço, notoriamente numa fase precoce da sua evolução, encontra-se na génese de diversas abordagens enquadradas em vertentes de cariz exploratório do campo do Design através das quais se procuram derivar soluções aplicacionais desta nova tecnologia.

Entre estas encontram-se abordagens como o *agent-based design* ou *behavioral design*, vinculadas a projectos de investigação inovadores como os liderados por Robert Stuart-Smith (2016) ou Theodore Spyropoulos (2016). Nestes, por via de um *framework* marcado por uma vigorosa integração tecnológica onde frequentemente se recorre ao uso combinado de algoritmos, sensores e processadores contendo comandos pré-programados (Stuart-Smith, 2016), além da automação são exploradas as capacidades de artefactos tecnológicos integrados num contexto rico em informação, para formular decisões, intervir, e inclusive introduzir alterações à ideia ou plano inicial criado pelo designer (ibid).

Diante desta hipótese facilmente se pode concluir que é provavelmente nesta promessa de futuro, onde uma automação total está subjacente, que reside uma das maiores ameaças à profissão de designer. Afinal, onde se enquadra este profissional num sistema onde tudo passou a ser produzido e pensado pela máquina? Consciente desta possibilidade talvez seja Ross Lovegrove (2016, p. 107) que melhor responde a esta questão quando refere que,

“num sistema onde a máquina assuma as tarefas mais banais relacionadas à produção de bens que supram as necessidades mais básicas do Ser humano, sobrarão ao designer a tarefa de explorar a vertente mais criativa dos aspectos idiossincráticos que emergem da experiência humana”.

Não obstante esta é para já uma hipótese remota. Ainda assim, no imediato não se deve ignorar o papel do desenvolvimento tecnológico enquanto agente transformador, o qual sistematicamente ao mesmo tempo que foi alterando a forma de agir de diversas profissões, se encarregou igualmente de extinguir outras que no contexto da nova realidade se tornaram obsoletas. O campo do Design não foi excepção e talvez a migração do suporte físico em direcção ao suporte digital seja uma prova categórica de tal agência do avanço da tecnologia sobre esta profissão. Essa transição rumo a uma digitalização do design emerge como uma evidência que impede de pensar a prática do design e sobretudo o papel do designer como algo estático. Especialmente quando consideradas as alterações introduzidas tanto ao modo de operar deste profissional exploradas por Rivka Oxman (2006), como também, no enquadramento das novas abordagens aqui referidas, ao nível da sua intervenção na fase projectual e controlo que até recentemente detinha sobre os artefactos que projectava.

Neste contexto, talvez seja Greg Lynn (Waters, 2003, p. 53) quando se refere ao software enquanto colaborador no seu processo criativo a pôr em evidência uma das mais significativas alterações ocorridas por via da digitalização do design. Ou seja, enquanto o designer passou a ter à sua disposição novas ferramentas que lhe permitiram explorar diferentes conceitos e abordagens, este foi lentamente perdendo o controlo — pelo menos total — sobre os resultados obtidos por via dessa exploração agora criados em co-autoria com essas mesmas ferramentas. Consequentemente, e à medida que as técnicas convencionais de modelação foram sendo abandonadas em detrimento de métodos experimentais, como o recurso a forças virtuais para a geração de geometrias usados por Lynn ou Rashid (Waters, 2003, pp. 8 e 56-9; Oxman R. , 2006, pp. 253-4) ou em técnicas de carácter generativo ou evolutivo descritas por Rivka Oxman (2006, p. 250) como não-determinísticas, também a capacidade do designer prever ou antecipar um resultado foi sendo perdida<sup>175</sup>.

De forma idêntica, também o desenvolvimento de técnicas de optimização generativas como as que recorrem a dados analíticos resultaram no mesmo género de partilha. O designer, outrora intermediário entre CAE e modelo digital, detendo o poder de acção para implementar ajustes manualmente neste último (Oxman R. , 2006, pp. 248-9), foi

---

<sup>175</sup> Pela especificidade das estratégias generativas nas quais o que resultado final é imprevisível, Rivka Oxman (2006, pp. 250-1) descreve estas abordagens como não determinísticas.

lentamente perdendo essa autonomia à medida que novas técnicas baseadas em estratégias de *feedback* — como optimização topológica<sup>176</sup> (Figura 2.12) — foram sendo implementadas no contexto projectual.

Estas técnicas passaram assim a permitir que o modelo digital criado pelo designer fosse automaticamente ajustado com base nas informações obtidas por via da análise como sucede no caso da cadeira desenvolvida pelo atelier ZHA em colaboração com a Stratasys e a Altair (Figuras 2.12-4) (altair, 2018), ou que o próprio modelo fosse gerado com base numa lista de critérios almejados como no caso do motor de foguete desenvolvido pela Hyperganic (Figura 2.17) com recurso a um modelo evolutivo (Hahn, 2020). Ainda assim, mesmo no contexto de estratégias generativas, o designer continuou a deter o controlo e o poder de decisão sobre o resultado que melhor enquadra as suas expectativas (Oxman R. , 2006, p. 254) assim como para interromper e reajustar o mecanismo generativo (O'Reilly, Hemberg, & Menges, 2004, p. 51).

Não obstante, à medida que novas estratégias resultantes de uma maior integração tecnológica vão sendo estudadas, neste processo criativo partilhado entre designer e ferramenta, como visto por Lynn (Waters, 2003, p. 53), o primeiro interveniente aparenta vir progressivamente a perder protagonismo e poder de intervenção. Algo evidenciado no conceito de *agent-based design* apresentado por Stuart-Smith (2016).

Esta colaboração entre designer e equipamentos outrora limitada ao plano virtual e fase de projecto, assume na proposta de Stuart-Smith a pretensão de migrar em direcção ao mundo físico e à fase de produção. Segundo Stuart-Smith (2016, pp. 56-8) esta colaboração descreve uma mediação entre intenção projectual ou ideia inicial do designer, dados obtidos localmente em tempo real por via da análise e respostas pré-programadas. O resultado final é uma negociação entre a intenção do designer e as decisões tomadas autonomamente pelo sistema em resposta às condicionantes por este detectadas localmente e em tempo real no decorrer do processo de execução (ibid).

Independentemente do que o futuro possa reservar para este profissional, os exemplos aqui descritos denotam sobretudo um progressivo afastamento do designer em relação à criação da forma em direcção a uma nova função de criador de ferramentas ou mecanismos destinados à geração de formas (Oxman R. , 2006).

---

<sup>176</sup> Optimização topológica é um método usado frequentemente no domínio do Design e Arquitectura que recorre a algoritmos computacionais para otimizar o uso e distribuição do material segundo determinadas condicionantes (como resistência, etc) previamente estabelecidas. Esta estratégia recorre a FEA (*Finite element analysis*) para avaliar uma determinada geometria. Com base na análise inicial, o software irá acrescentar ou retirar material em determinadas áreas consoante necessidades estruturais locais de forma automática e iterativa analisando e readaptando a geometria a cada alteração até ser obtido um modelo que cumpra a performance desejada (Abbey, 2018). Topologia é (na geometria) o estudo da estrutura relacional dos objectos mais do que a sua geometria. É o estudo das propriedades do objecto que não se alteram quando a este é aplicada uma transformação (Oxman R. , 2006, p. 251).

## 2.5 - Possibilidades para o futuro

Qualquer discurso que vise a formulação de cenários futuros prima pelo carácter especulativo. Ainda assim, se houve algo que nas últimas décadas ficou demonstrado foi a capacidade e o engenho do ser humano para tornar reais muitas das tecnologias outrora pertencentes ao imaginário ou à ficção<sup>177</sup>. A determinação em transformar utopias em concretizações alavancou o avanço tecnológico em diversas áreas, cujos resultados comprovamos diariamente através das inúmeras aplicações inovadoras ao nosso dispor.

Igualmente vital a esse progresso foram as sinergias entre diversos campos do conhecimento, um modo de operar que no presente, mais do que uma escolha, aparenta ser imposto pela complexidade da nossa época. O designer, que na óptica de Christopher Lorenz (1991, pp. 8-9) historicamente assumiu o papel de mediador, não se ausentou deste diálogo transdisciplinar, assumindo actualmente, segundo Neri Oxman (2015), um lugar de relevância enquanto agente conciliador entre diversos campos tecnológicos dos quais a convergência poderá vir a alterar a forma como produzimos artefactos.

Sobre as possibilidades e implicações para o Design que desta convergência poderão vir a resultar, no imediato poderemos apenas especular, assumindo como indicadores as teorias existentes assim como projectos e estratégias que destas resultam, na sua maioria ainda numa fase prematura de desenvolvimento e marcadas por uma natureza experimental.

### 2.5.1 - Da produção em massa à individualização em massa

O modelo produtivo baseado na produção massificada de bens que predominou desde a revolução industrial até aos nossos dias, implementou como norma a reprodução em série de objectos standardizados. Exemplos como a cadeira Thonet (Bürdek, 2015, p. 21) ou o modelo T de Henry Ford (Rifkin, 2016, p. 173) ilustram a prática vigente sob este modelo. Simultaneamente, a repetição das formas levada à exaustão por via da máquina uniformizou as escolhas do consumidor, o qual ficou limitado às morfologias por esta produzidas de forma repetida e incessante.

Talvez o surgimento do Styling na primeira metade do século XX tenha o mérito de ter introduzido alguma margem para a diferenciação. Ainda assim não por via da produção de objectos à medida de cada consumidor, mas pelo facto de ter alargado a gama de escolhas disponíveis renovadas em espaços de tempo cada vez mais curtos (Dorfles, 1978, pp. 55-7;

---

<sup>177</sup> Jeremy Rifkin (2016, p. 163), referindo-se à impressora 3D, aponta para o facto de muitas inovações terem na sua base a ficção científica.

Bonsiepe, 1992, pp. 54-9). Um modelo permitido tanto pelo boom industrial americano como, mais tarde, exponenciado pelo surgimento do marketing (Bürdek, 2005, pp. 179-83).

Mais recente é o conceito de customização, termo mais próximo ao léxico do marketing e que descreve uma opção oferecida àqueles dispostos a pagar um extra por uma série de configurações que lhes permitam dessa forma distinguir-se das massas. Por sua vez, a personalização continua a surgir como uma prática exclusiva das elites, cujo poder económico lhes permite assumir os custos inerentes à produção de artefactos feitos por medida (Dorfles, 1978, pp. 23-5). Porém, não integrando uma lógica de produção industrial em série<sup>178</sup> e envolvendo frequentemente processos manuais que lhes confere um carácter mais próprio do produto artesanal, estes artefactos deixam de pertencem à categoria de produtos industriais (ibid, pp. 22-3).

Não obstante, o design paramétrico surge neste contexto como um agente de disrupção prometendo por termo a este paradigma produtivo caracterizado pela produção massificada de réplicas, implantado no seu lugar um novo modelo assente na customização em massa como o que é explorado por Mário Barros (2015). Em virtude das ferramentas e estratégias que integram esta vertente — como modelos flexíveis e fabricação aditiva — e de forma inédita, torna-se possível a produção em série de artefactos que resultam de processos industriais mas que apresentam características distintas — ou variações — como os artefactos resultantes da produção artesanal (Carpo, 2016, p. 29). De um ponto de vista sociológico estamos perante a cultura de individualização em massa proposta por Ross Lovegrove (2016, p. 104), a qual já nos dias de hoje começa a apresentar resultados como demonstra o projecto “*This Fits Me*” de Leonie Tenthof van Noorden (Figura 2.18).

Impulsionado pelo design paramétrico e ferramentas que integram esta abordagem, um modelo assente na customização em massa de objectos apresenta-se para já como uma perspectiva promissora. E à medida que novas estratégias começam a ser estruturadas com a intenção de incluir critérios genéticos ou o próprio bioma do utilizador no conjunto de possíveis dados usados na criação de produtos paramétricos (Oxman N. , 2015), fica claro que as possibilidades que emergem vão além da simples adaptação ou variação da forma, prometendo exponenciar o próprio conceito de customização em massa. Porém, tal avanço requer ainda desenvolvimentos adicionais em áreas descritas por Neri Oxman (2015) como complementares, entre as quais a fabricação aditiva e a engenharia dos materiais.

---

<sup>178</sup> Gillo Dorfles (1978, pp. 13-5) aponta para o carácter iterativo do design industrial que pressupõem uma produção em série (independentemente do número de reproduções) de réplicas exactas.

### 2.5.2 - Novos métodos produtivos e de distribuição.

Desde o seu surgimento na década de 80 (Choi, Kwon, Jo, Lee, & Moon, 2015; Rifkin, 2016, p. 164) a tecnologia de fabricação aditiva desenvolveu-se vagarosamente tendo, contudo, vindo a verificar significativos progressos nos últimos anos<sup>179</sup>. Ainda assim, na actualidade esta continua a surgir como uma tecnologia limitada, tanto pela morosidade do processo produtivo, como pela estrita gama de materiais que permite trabalhar<sup>180</sup>, ou ainda pela escala reduzidas dos objectos que é capaz de produzir<sup>181</sup> (Barros, 2015, p. 4; Tibbits, McKnelly, Olguin, Dikovsky, & Hirsch, 2014, p. 540; Bürdek, 2015, p. 256). Não obstante, esta será inquestionavelmente uma tecnologia fundamental tanto à implementação de um modelo produtivo de customização em massa como o apresentado por Mário Barros (2015), como para a concretização de outras aplicações oriundas de diversos campos que, muito embora permaneçam no plano das hipóteses, poderão vir a concretizar-se num futuro próximo.

Do campo da arquitectura chegam exemplo de projectos de investigação nos quais se estuda a aplicação da fabricação aditiva à construção de estruturas e edifícios<sup>182</sup>. Entre estes, surgem pesquisas de carácter conservador já com alguns resultados demonstráveis, nas quais processos convencionais são replicados por via de versões super-dimensionadas das comuns impressoras 3D (Figura 2.25)<sup>183</sup>. Sem embargo, surgem também abordagens disruptivas e de natureza especulativa como a que é proposta por Robert Stuart-Smith (2016) na qual se estuda a aplicação de estratégias de enxame (*swarm*)<sup>184</sup> com recurso a robots situados (*situated robots*)<sup>185</sup> com propósito idêntico.

---

<sup>179</sup> Jeremy Rifkin (2016, p. 164) refere que devido ao seu elevado custo as impressoras 3D eram usadas essencialmente para criar protótipos nas indústrias automóvel e da aviação.

<sup>180</sup> Predominantemente termoplásticos como ABS e PLA, resinas fotossensíveis como resinas acrílicas ou epóxi.

<sup>181</sup> Embora existam na actualidade equipamentos de grandes dimensões, estes representam sobretudo projectos experimentais que, embora não possam ser ignorados, não invalidam o facto da maioria dos equipamentos de impressão 3D sejam de pequena dimensão.

<sup>182</sup> As primeiras tentativas de conceber equipamentos robotizados destinados à construção de edifícios emergiram no Japão e remontam à década de 80 do século XX e visaram colmatar a falta de mão de obra no sector da construção (Bechthold, 2010, p. 119).

<sup>183</sup> Jeremy Rifkin (2016, p. 169) refere que engenheiros e arquitectos estão empenhados em introduzir no mercado edifícios produzidos por via da impressão 3D. Para o autor, apesar desta tecnologia se encontrar ainda em fase de investigação e desenvolvimento surge como evidente que a impressão de edifícios irá ao longo das próximas décadas reinventar o sector da construção.

<sup>184</sup> Estratégias de enxame ou “Swarm” são uma abordagem inspirada na natureza que passa pelo uso de um grupo de robots capazes de comunicar e desempenhar tarefas conjuntas como um colectivo (Stuart-Smith, 2016, pp. 56-7).

<sup>185</sup> Rodney Brooks, pioneiro e antigo dirigente do laboratório de inteligência artificial do MIT, define “situated robot” com um equipamento capaz de desempenhar tarefas de forma autónoma, mediante respostas pré-programadas, a experiências sensoriais *on-site*. O recurso a sensores permite ao robot tomar decisões autónomas em resposta a estímulos provenientes do meio numa lógica bottom-up (Stuart-Smith, 2016, p. 56).



Figura 2.25 – Edifício construído por fabricação aditiva com recurso a um braço robótico no Dubai pela empresa Apis Cor (Block, 2019)

Por sua vez a medicina viu emergir o ramo do “*bioprinting*”<sup>186</sup> no qual tem vindo a ser estudada a aplicação da tecnologia de impressão 3D à produção de órgãos funcionais criados a partir de biomateriais que integram a informação genética do paciente<sup>187</sup> (Rifkin, 2016, pp. 425-6) (Figura 2.26). Uma estratégia por via da qual se espera conseguir contornar dois problemas recorrentes no sector dos transplantes: a escassez de órgãos e a rejeição dos mesmos pelo corpo do transplantado (ibid). Simultaneamente, esta perspectiva que pode vir a representar a forma mais extrema de produção individualizada de um produto gerado através de um processo industrial. Um produto que não só é altamente individualizado, como pelo facto de conter a informação genética do seu receptor/utilizador não poderá servir mais ninguém.

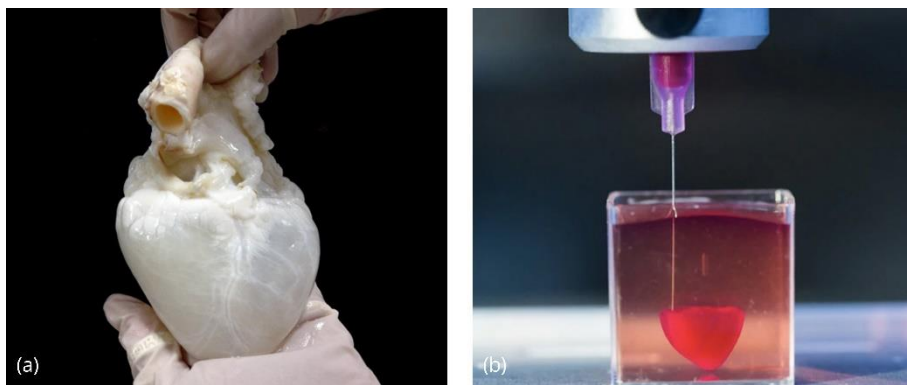


Figura 2.26 – Bioprinting - (a) Estrutura de um coração despovoado de células (ideas.ted.com, 2015). (b) Processo de impressão 3D de um coração (Alexander, 2020)

<sup>186</sup> O termo “*bioprinting*” descreve o uso de biomateriais como matéria prima para o crescimento de, por exemplo, tecidos moles (Mashambanhaka, 2018).

<sup>187</sup> A esperança que recai sobre esta possibilidade é alimentada pelo desenvolvimento de estudos e métodos como os desenvolvidos recentemente por Harald C. Ott. pelos quais é possível extrair todas as células de um órgão deixando apenas a sua estrutura a qual pode ser posteriormente repovoada por células estaminais criadas com recurso à informação genética do receptor. Embora a técnica usada por Ott passe pela reutilização de órgãos de doadores, o trabalho por si desenvolvido torna credível a possibilidade da produção de estruturas desprovidas de informação genética por via do processo aditivo que posteriormente possam ser povoadas por células do seu receptor (Ott, 2017).

Não obstante e como podemos deprender das palavras de Neri Oxman (2010), a replicação do orgânico e da sua funcionalidade requer mais do que a reprodução da forma, a reprodução da sua estrutura e todas as suas variações será igualmente vital. Para alcançar propriedades idênticas, técnicas de fabricação inovadoras pelas quais se procura replicar estratégias da natureza, como VPF referidas por Neri Oxman (2010, p. 83) demonstram ser um avanço promissor nessa direcção.

Em adição às aplicações referidas, a tecnologia de fabricação aditiva poderá igualmente alterar o actual modelo de distribuição de bens, integrando princípios de uma *flow-manufacturing*<sup>188</sup> mas possibilitando a produção local de produtos assim como a implementação de um modelo de *print-on-demand* (Bürdek, 2015, pp. 254-5) como exemplifica a cadeira “Diamond” da Nendo (Figura 1.48). Segundo Rifkin (2016, pp. 161-2), graças à fabricação aditiva e às tecnologias da informação — não esquecendo a democratização do acesso aos equipamentos de impressão 3D gerada por uma exponencial redução do seu curso (ibid, p. 158) — qualquer pessoa no mundo poderá produzir os seus próprios produtos<sup>189</sup>. As vantagens introduzidas por este modelo residem na eliminação dos custos inerentes à produção de bens em números elevados, armazenamento e transporte, assim como da eventual criação de *dead stock*<sup>190</sup> (Bürdek, 2015, p. 255; Nendo, 2008).

A fabricação aditiva prova assim que apesar das actuais limitações, está longe de ser uma área de investigação estática surgindo na origem de diversos avanços. No entanto falamos de avanços que não dependem somente do desenvolvimento desta tecnologia, mas também do progresso noutros campos. Entre estes a engenharia dos materiais, que em conjunto com os novos métodos de fabricação poderá dar origem a formas alternativas de produzir artefactos, as quais se afastem de um modelo baseado na montagem de componentes para se aproximar de estratégias mais íntimas à esfera natural como o crescimento orgânico (Oxman N. , 2015; Lovegrove, 2016, pp. 106-7).

---

<sup>188</sup> *Flow Manufacturing* (ou produção em massa) envolve o uso de linhas de produção existindo um movimento contínuo de itens ao longo do processo de produção. As tarefas necessárias à produção de determinado item são fragmentadas em sub-tarefas implementadas conforme este se move ao longo da linha de montagem. Isso significa que quando uma tarefa é concluída, a próxima tarefa deve começar imediatamente. Um exemplo da implementação desta estratégia é a produção automóvel (Riley, s.d.).

<sup>189</sup> Rifkin (2016, p. 157) refere que no que respeita à impressão 3D faz mais sentido falar em “infofabrico” do que em processo de fabrico pelo facto de existir pouco envolvimento humano sendo o software a fazer grande parte do trabalho. O termo usado por Rifkin denota sobretudo um foco nas tecnologias da informação, salientando o autor a capacidade de um produto poder ser produzido em qualquer parte do mundo (ibid, pp.161-2). Deste envolvimento do consumidor no próprio processo de produção, podendo este último criar adaptações ou criar os seus próprios produtos, gera-se segundo Rifkin uma mudança de paradigma de consumidor para “prossumidor” (ibid)

<sup>190</sup> *Dead Stock* ou Stock morto designa as mercadorias em stock que não se conseguiram vender e por isso representam um prejuízo.

### 2.5.3 - Materiais avançados

A ideia de uma relação entre técnica e material não é nova. Esta afirmação pode ser fundamentada pelas palavras de Lewis Mumford (2001, p. 38) quando este autor faz referência ao método aplicado pelos primeiros antropólogos e etólogos para catalogar as distintas épocas da existência humana. Segundo Mumford (ibid) estes basearam-se nos utensílios deixados por povos primitivos associando, assim, aspetos civilizacionais com determinado processo tecnológico. Como é possível depreender, designações como idade da pedra, do bronze ou do ferro, apontam não só para o recurso predominante de determinado material e respectivo domínio da técnica para o trabalhar, como para a relação fundamental entre ambos. Denota igualmente a relevância atribuída aos materiais.

Desde o paleolítico, quando o ser humano produziu os primeiros utensílios em sílex, que a pedra assumiu o papel central na produção de artefactos, uma posição que ocuparia durante o vasto período de tempo que durou até que o ser humano desenvolvesse suficientemente a técnica que lhe permitiu trabalhar os metais<sup>191</sup>. Cronologicamente, esta transição marcou o início de uma nova era da existência humana na qual os metais assumiram uma posição de relevo na produção de utensílios outrora ocupado pela pedra. Esta classe de materiais não só ocupou esta posição até à era moderna, como, aquando da revolução industrial, viria a alcançar uma posição predominante graças ao desenvolvimento da indústria metalúrgica impulsionada pela invenção do forno de coque por Henry Bessemer no século XIX (Francastel, 2000, pp. 32-3). Seria o surgimento dos plásticos<sup>192</sup> no século XX a suplantarem os metais. A sua potencialidade em termos expressivos e fácil conformação, fizeram deste o material perfeito para a produção em série que alimentou a criatividade e o processo exploratório dos designers industriais da segunda metade do século XX.

No século XXI talvez seja o silício, vital à nossa tecnologia, que nos defina enquanto era (FECYT ciencia, 2017). Não obstante, novas matérias têm vindo gradualmente a ganhar protagonismo reflectindo os avanços ocorridos na área da engenharia dos materiais, segundo Neri Oxman (2015) uma área central que nos últimos anos se tem destacado pela inovação. A integração neste campo da tecnologia de fabricação aditiva e sua aplicação de forma não convencional, traduziu-se no desenvolvimento de estratégias como VPF que possibilitam pré-programar nos artefactos produzidos através deste método

---

<sup>191</sup> Cronologicamente a pré-história divide-se entre dois períodos distintos: a idade da pedra e idade dos metais. No que diz respeito ao segundo período, este divide-se em idade do cobre, idade do bronze e idade do ferro (Periodização da história, s.d.). Porém, não sendo esta separação relevante para o tema tratado, o termo “metais” é aqui usado de forma genérica invocando uma classe de materiais e não a um metal em específico.

<sup>192</sup> O termo “plástico” é usado neste contexto para designar uma classe de materiais (resinas e polímeros) não se ignorando o facto de o mesmo termo ser usado para fazer referência a uma reacção do próprio material (Lesko, 2004, p. 121).

comportamentos ou respostas específicas em relação a determinados estímulos (Tibbits, McKnelly, Olguin, Dikovsky, & Hirsch, 2014), assim como variar estrategicamente as propriedades estruturais dos artefactos (Oxman N. , 2010, pp. 81-3). Técnica da qual resultam os multimateriais<sup>193</sup> ou “materiais heterogéneos” referidos Tibbits *et al* (2014) e por Neri Oxman (2010).

Deste avanço emerge um horizonte de possibilidades alargado cujas hipotéticas aplicações já são estudadas actualmente no âmbito de projectos de investigação que exploram conceitos como impressão 4D ou estruturas auto-assembláveis. Dois temas complementares que constituem o núcleo da pesquisa conduzida por Skylar Tibbits no contexto da qual se estudam diversas possibilidades para a criação de objectos capazes de se auto construir.

Com recurso a técnicas como *multi-material 3D printing*<sup>194</sup> ou *gradientes*<sup>195</sup> para combinar materiais com propriedades distintas ou controlar estrategicamente a distribuição do material, Tibbits tira partido da tecnologia de fabricação aditiva para programar nos artefactos comportamentos específicos como flexão, torção ou ondulação (Tibbits, McKnelly, Olguin, Dikovsky, & Hirsch, 2014) (Figuras 1.57 e 2.3). Os resultados obtidos por via destas estratégias podem ser observados em produtos como o têxtil avançado BioLogic desenvolvido pelo Tangible Media Group do MIT (Figura 2.16) cuja composição incorpora um tipo específico de bactéria que confere ao material propriedades peculiares (MIT Media Lab, Tangible Media Group, 2015). Comportando-se como um actuador, abrindo ou fechando estruturas lamelares em resposta às alterações de temperatura e humidade do corpo do utilizador, o BioLogic comporta-se como um organismo vivo, dispensando a intervenção directa do utilizador (*ibid*). Simultaneamente, este produto apresentam um tipo de comportamento paramétrico que resulta das capacidades computacionais do

---

<sup>193</sup> A designação “multimateriais” é usada no artigo “4D printing technology: A review” de Choi *et al* (2015) para fazer igualmente referência ao trabalho de Neri Oxman, nomeadamente ao trabalho desenvolvido pela investigadora na concepção de materiais capazes de alterar a sua forma dinamicamente com recurso à tecnologia de fabricação aditiva.

<sup>194</sup> Multi-material 3D printing descreve a capacidade de alguns equipamentos de impressão 3D usar e variar estrategicamente materiais com propriedades distintas ao longo do processo de produção (Oxman N. , 2010; Tibbits, McKnelly, Olguin, Dikovsky, & Hirsch, 2014). Esta tecnologia é usada por exemplo por Skylar Tibbits para programar determinados comportamentos nos objectos que produz (Tibbits *et al*, 2014) ou por Neri Oxman (2010) para variar as propriedades de forma localizada como através de estratégias de VPF como ilustra o seu projecto “Beast” (Figura 2.15). Um exemplo de equipamento que integra esta capacidade e que é referido por ambos os autores é a impressora da serie Connex Multi-Material da Stratasys.

<sup>195</sup> No cálculo vetorial o gradiente (ou vetor gradiente) é um vetor que indica o sentido e a direcção na qual, por deslocamento a partir do ponto especificado, se obtém o maior incremento possível no valor de uma grandeza a partir da qual se define um campo escalar para o espaço em consideração (Gradiente, s.d.). No design paramétrico são usados por Patrik Schumacher (2016c) como um mecanismo computacional para a ordenação do espaço urbano ou por Tibbits *et al* (2014) para controlar estrategicamente a distribuição do material ao longo do processo de impressão 3D de forma a programar nos objectos determinados comportamentos desejados.

próprio material para gerar forma (Menges, 2016, p. 78) responsivamente. Exemplos como BioLogic assim como a investigação desenvolvida por Tibbits, surgem como provas irrefutáveis que indiciam o facto de estarmos a presenciar um ponto de viragem na engenharia dos materiais assim como a fase embrionária de desenvolvimento dos materiais heterogêneos referidos por Neri Oxman (2010, p. 83).

Dos desenvolvimentos que possam vir a surgir desta área poderão emergir produtos cuja estrutura incorpore uma lógica mais próxima da natureza, sendo constituídos por materiais dos quais as propriedades variem à microescala com base em requisitos localizados (Oxman N. , 2010, p. 80) e produzidos por via de métodos alternativos à lógica de montagem (Oxman N. , 2015; Lovegrove, 2016, pp. 106-7)(Figura 2.27). Logo, integrando igualmente a eficiência e sustentabilidade características da natureza. Por sua vez, a possibilidade de programar comportamentos específicos directamente nos materiais que constituem os objectos, pode viabilizar a produção de produtos que requeiram um menor número de componentes eletrónicas e apresentem menor consumo energético, abrindo portas a novas funcionalidades que podem ser exploradas pelo designer.



Figura 2.27 – “Gemini” Neri Oxman, 2014 - Graças à tecnologia de impressão 3D com multimateriais foi desenvolvido um padrão irregular na superfície que absorve o som. Segundo Neri Oxman, embora só tenha sido usado um material, a superfície foi impressa a partir de 44 propriedades diferentes que variam em termos de rigidez, opacidade e cor correspondendo aos pontos de pressão do corpo humano. Oxman refere que, à semelhança da natureza, a superfície criada varia a sua funcionalidade não através da conjugação com diferentes materiais ou componentes, mas por variar continuamente e delicadamente a propriedade do material (Neri Oxman / MIT Media Lab, 2014; Oxman N. , 2015).<sup>196</sup>

Desta evolução e proliferação de materiais resulta talvez uma dificuldade em definir a era actual nos mesmos termos que as e que a precederam foram definidas. Porém, facilmente se poderá concluir que além da falta de relevância de tal definição, é plausível que na actualidade os materiais tenham deixado de ser o denominador mais adequado para definir a era moderna.

<sup>196</sup> Link para consulta: [https://www.youtube.com/watch?v=Uz7LpDR-Gew&ab\\_channel=Stratasys](https://www.youtube.com/watch?v=Uz7LpDR-Gew&ab_channel=Stratasys)

#### 2.5.4 - Design informado: da *BigData* à Internet das coisas

Foi o século XX a ver surgir a era da informação. Nascida dos avanços no campo das ciências dos computadores na década de 70 do século passado<sup>197</sup> assume no presente um papel de relevância transversal à generalidade das actividades humanas (Bürdek, 2015, pp. 7, 245). Na actualidade, potenciada pelo progresso tecnológico do novo milénio, onde em teoria tudo pode ser reduzido a zeros e uns e alcançar o outro lado do globo numa fracção de segundo, a informação parece surgir na origem de uma mudança de paradigma que, contudo, não surge como estranha. Principalmente, num presente no qual aparenta existir uma tendência à transição do físico (material) em direcção ao digital (imaterial) (Bürdek, 2015, pp. 7, 245-50; Maldonado, 2006, pp. 80-1).

Deste cenário onde o microchip e o software surgem como corpo e alma dos artefactos modernos, emergem conceitos como inteligência artificial, *Big Data*<sup>198</sup> ou Internet das Coisas<sup>199</sup>, termos cada vez mais presentes no vocabulário do cidadão comum mesmo que regularmente este não possua um claro entendimento sobre o que representam ou sequer sobre o impacto destes conceitos no seu quotidiano, não abandonando este, inevitavelmente, a sua condição de coabitante num ambiente cada vez mais povoado por estas tecnologias convenientemente apelidado de tecnosfera<sup>200</sup>. Um habitat onde câmaras, sensores e demais artefactos tecnológicos, cada vez mais marcam presença, monitorizando, analisando e compartilhando todo o género de informações ininterruptamente evidenciando um comportamento sistémico.

O sector do Design não passou incólume<sup>201</sup>, nem aos avanços tecnológicos, tão pouco à alteração de paradigma que pareceu acompanhar a digitalização do design pela qual, segundo

---

<sup>197</sup> Era da informação ou era digital, designa o período pós era industrial, mais especificamente após a década de 80. Todavia será importante reconhecer a relevância de invenções tais como o microprocessador que ocorreram anteriormente e que foram vitais para o seu desenvolvimento (Era da informação, s.d.)

<sup>198</sup> *Big Data* (ou megadados em português) designa grandes quantidades de dados de diferentes tipos produzidos a partir de vários tipos de fontes, nomeadamente pessoas, máquinas e sensores (Publication Office of the European Union, 2016)

<sup>199</sup> A internet das coisas (IoT), é um sistema de dispositivos inter-relacionados, máquinas mecânicas e digitais, objetos, animais ou pessoas, providos de identificadores exclusivos e com a capacidade de transferir dados numa rede sem requerer interacção quer ao nível homem-homem como ao nível homem-máquina. Uma coisa na internet das coisas pode ser por exemplo uma pessoa com um implante cardíaco, um animal com um biochip ou um automóvel com sensores embutidos que alertam quando a pressão dos pneus está baixa. Um ecossistema IoT consiste em dispositivos inteligentes habilitados para web que usam processadores, sensores e hardware de comunicação, para recolher, enviar e actuar com base em dados recolhidos no ambiente no qual estão integrados (Rouse, 2020).

<sup>200</sup> Tecnosfera designa o domínio ou reino da atividade tecnológica humana; o ambiente tecnologicamente modificado (tecnosfera, s.d.)

<sup>201</sup> Bürdek refere que as alterações nas tecnologias de informação influenciaram significativamente o sector do Design (Bürdek, 2015, p. 243)

Rivka Oxman (2006, p. 242), a informação viria a tornar-se num “novo material” para esta disciplina<sup>202</sup>. Uma mudança verificável principalmente em abordagens que envolvem estratégias generativas de carácter performativo nas quais forças externas<sup>203</sup> podem ser usadas para manipular o modelo digital (ibid, p. 257-9).

No âmbito destas estratégias os dados obtidos por via de simulações conduzem o processo de geração da forma (ibid, p.259). As capacidades analíticas que passaram a integrar a maioria dos softwares de CAD, permitindo a obtenção de dados qualitativos usados para fins de optimização (ibid, pp.247-9), surgem neste contexto como um recurso imprescindível que actualmente continua a ser fundamental para diversas abordagens pioneiras que se desenvolvem em áreas vinculadas à prática projectual.

Da conjugação entre as capacidades analíticas oferecidas por diversos softwares e modelos flexíveis — tirando partido das capacidades dinâmicas destes últimos (Barros, 2015, p. 70) — foram desenvolvidas diversas técnicas de optimização inovadoras baseadas numa lógica de iteração<sup>204</sup>. Estas permitem conduzir de forma contínua e automática ciclos de avaliação e implementação com sucede em estratégias evolutivas como as descritas por Rivka Oxman (2006, pp. 257-9) ou as usadas por Bollinger *et al* (2010), assim como em estratégias de optimização topológica como a usada na criação da cadeira desenvolvida pelo estúdio ZHA em colaboração com a Stratasys e a Altair (Figuras 2.12-4) (altair, 2018). No âmbito destas estratégias os dados obtidos por via da análise originam um *feedback* que é traduzido instantaneamente em ajustes à geometria do modelo digital — como no caso da cadeira criada pelo estúdio ZHA — ou mesmo na formulação de novas geometrias ou modelo aperfeiçoados que resultam da recombinação dos modelos obtidos na iteração anterior e que apresentaram melhor desempenho — como no caso de algoritmos genéticos usados por Bollinger *et al* (2010). Um novo ciclo será então iniciado a não ser que o modelo obtido na última iteração satisfaça os requisitos estipulados pelo designer (ibid).

Neste contexto o nível de automação que o processo de iteração assume surge como um elemento diferenciador comparativamente com estratégias similares usadas no passado e nas quais, segundo Rivka Oxman (2006, pp. 248-9), o processo de *feedback* tinha o designer como intermediário, interpretando os dados e implementando as modificações por este consideradas como necessárias ao modelo digital. Consequentemente, a intervenção do Ser

---

<sup>202</sup> Não um material físico, moldável ou conformável, mas um material de trabalho cujas implicações podem condicionar o resultado final.

<sup>203</sup> Segundo Rivka Oxman (2006, p. 259) forças externas podem ser forças ambientais como por exemplo carga estrutural, a acústica, localização, etc.

<sup>204</sup> Repetição; Acção ou processo de repetir. No contexto da programação remete para a repetição de uma sequência de instruções num número específico de vezes até uma condição ser alcançada (iteration, s.d.).

humano foi sendo dispensada e as formas obtidas por via destas estratégias passaram a ser ditadas pelas decisões do sistema informático resultantes da interpretação dos dados obtidos por via da análise. Ainda assim, é perceptível que além de um marcado foco na eficiência estrutural esta prática permaneceu maioritariamente limitada ao ambiente virtual e, como tal, à fase de projecto. Adicionalmente, ainda cabe ao agente humano a decisão final sobre qual das soluções avança para a fase de produção (altair, 2018).

Sem embargo, a evolução tecnológica veio permitir novas dinâmicas — nomeadamente ao nível da obtenção, processamento e partilha de dados — que contribuíram para o desenvolvimento de estratégias de carácter responsivo, que actuam em tempo real e ocorrem no espaço físico (Stuart-Smith, 2016). Como resultado, e como se torna possível depreender do trabalho de Stuart-Smith (ibid), técnicas de iteração com base em *feedback* como as referidas anteriormente deixaram de estar relegadas à fase projectual e da sua integração com a tecnologia de fabricação aditiva prometem transcender o plano virtual passando igualmente a integrar a fase de produção.

Estas estratégias constituem hoje a base de abordagens inovadoras que emergem de uma associação entre Design, tecnologia e informação e nas quais se explora a capacidade de agência quer de equipamentos quer do meio envolvente (Schumacher, 2016a, p. 14). Neste contexto o termo agência é aplicado no seu sentido sociológico<sup>205</sup> invocando a aptidão dos meios tecnológicos que compõem um determinado sistema para formular decisões, intervir e participar de forma autónoma nas actividades inerentes ao próprio sistema (Stuart-Smith, 2016; Spyropoulos, 2016). Uma capacidade explorada em projectos de investigação como o liderado por Robert Stuart-Smith.

O processo inerente a estas abordagens passa pela integração de sensores e potentes processadores contendo respostas pré-programadas em equipamentos robotizados (Stuart-Smith, 2016, pp. 55-7). O uso conjunto destas tecnologias permite estabelecer um processo de *feedback* alimentado por dados recolhidos localmente e em tempo real, originando respostas imediatas e autónomas por parte do sistema (Stuart-Smith, 2016). O resultado é um processo de iteração pelo qual, no *framework* da pesquisa de Stuart-Smith, o sistema implementa ajustes constantes ao modelo criado pelo designer (Stuart-Smith, 2016, pp. 56-8) como sucede em “Swarm Brige” (Figura 2.28).

---

<sup>205</sup> Em sociologia “agência” refere-se à capacidade de indivíduos agirem independentemente e fazerem suas próprias escolhas livremente (Agência (sociologia), s.d.).

Neste projecto com um forte vínculo à inteligência artificial, Stuart-Smith e a sua equipa exploram a capacidade de equipamentos robotizados — designados robots situados<sup>206</sup> — para colaborar autonomamente no desempenho de uma tarefa específica (Stuart-Smith, 2016, pp. 55-6). Um *framework* que integra uma lógica sistémica denominada de *swarm* — ou enxame — que visa emular os comportamentos colectivos que ocorrem na natureza e são comuns a diversas espécies (Stuart-Smith, 2016, p. 57; Harman, 2014, p. 138). Simultaneamente, explora-se também a emergência de comportamentos inteligentes resultantes da interacção tanto destes equipamentos com o meio, como com os restantes elementos que constituem o sistema mediante um processo de *feedback* através do qual estes podem aprender e partilhar novos conhecimentos entre si (Stuart-Smith, 2016, pp. 55-6).



Figura 2.28 – “Swarm Bridge” - Aerial Robotic Bridge Construction, AA.DRL Studio<sup>207</sup>  
Em “Swarm Bridge”, Stuart-Smith explora processos de construção alternativos com recurso à utilização de robots autónomos e estratégias de enxame. No contexto deste projecto de investigação, dois grupos de robots situados, munidos de equipamento de impressão 3D e um composto de fibras ultraleves, iniciam o processo de construção de duas vigas de balanço em margens opostas de um ambiente simulado, das quais a união resultará numa estrutura única (Stuart-Smith, 2016, pp. 57-8). Prevendo desvios ao projecto original que possam ocorrer durante a fase de construção devido ao vento, a equipa adicionou equipamento de análise estrutural permitindo que os robots construtores procedam a uma análise em tempo real. Esta estratégia permite que os robots parem a sua actividade espontaneamente e de forma autónoma sempre que for necessário construir estruturas de reforço adicionais de forma a manter a integridade estrutural (Stuart-Smith, 2016, p. 58). O resultado final segundo Stuart-Smith (2016, p. 58) é fruto da mediação entre o projecto inicial, material, dados recolhidos em tempo real e respostas pré-programadas, formulando um *feedback* onde a forma emerge da negociação sócio-espacial feita localmente pelo conjunto de equipamentos que interagem entre si na construção de uma estrutura optimizada. Um cenário onde o designer é visto como um potencial criador de comportamentos (Stuart-Smith, 2016, p. 59).

<sup>206</sup> Robot situado ou *situated robot* é definido por Rodney Brooks robot como um equipamento autónomo que não requer uma pré programação de instruções. Em vez de recorrer a instruções, estes equipamentos são munidos de processadores internos e pré-programados com respostas a experiências ou estímulos locais, fazendo uso de algoritmos condicionais que permitem ao equipamento agir de acordo com os estímulos experimentados no meio físico num processo que segue uma lógica bottom-up que lhes permite formular decisões de forma autónoma (Stuart-Smith, 2016, p. 56).

<sup>207</sup> Link para consulta: <https://www.kokkugia.com/filter/aadrl/AADRL-swarm-printing-aerial-robotic-bridge-construction>

“Swarm brige” emerge, contudo, como framework fechado dentro do qual um número quantificável de agentes colabora na realização de uma tarefa comum e explicitamente definida. Neste caso a intervenção humana ocorre somente através dos modelos tridimensionais e dos algoritmos criados e codificados à priori nos equipamentos, ou pela colocação de marcadores que delimitam o espaço de acção dos equipamentos no espaço (Stuart-Smith, 2016, p. 58) — estratégias usadas para condicionar a sua actuação (ibid).

Todavia, Theodore Spyropoulos (2016, pp. 38-9) apresenta um modelo no qual o conceito de agência é aplicado numa escala mais ampla. Neste o Ser humano não está limitado ao papel de programador, sendo integrado no sistema enquanto participante e interagindo com este em tempo real (ibid). Spyropoulos (2016, p. 39) propõem um cenário constituído por ambientes responsivos capazes de interagir e de se adaptar. Para Spyropoulos (2016, pp. 39-41) o espaço construído surge como um interface de e para a comunicação que actua como um agente participativo, estabelecendo um dialogo constante com os seus intervenientes de forma a estimular a sua participação e adaptando-se em função dessa interação.

Como poderemos depreender da proposição de Theodore Spyropoulos (2016, pp. 38-9), do surgimento e integração de novas tecnologias — como as relacionadas à inteligência artificial — e da sua exploração conjugada com outros recursos e estratégias aplicados à criação de artefactos, mais do que a geração e utilização de informação como sucedeu no passado, será também a articulação da mesma em tempo real que possivelmente irá introduzir significativas mudanças em áreas conotadas à produção de artefactos — como o design industrial ou a arquitectura — mas também nos objectos em si.

A estratégia aplicada em “Swarm brige” apesar de especulativa, poderá redefina a noção vigente de fabricação aditiva, principalmente no que respeita à linearidade que caracteriza este processo (Stuart-Smith, 2016, p. 56), permitindo, com efeito, a produção objectos independentemente da escala e podendo assim contribuir para a formulação de novas formas de construir. Por sua vez, a proposição formulada por Spyropoulos (2016) deixa antever um futuro caracterizado por uma hiper-conectividade no qual os artefactos deixarão de ser itens isolados para passar a ser parte integrante de um sistema ou rede. Um cenário que remete para uma hipotética noção de *smart city* ou para a ideia de internet das coisas, conceitos que no presente começa já a surgir como familiares.

A integração de diversas tecnologias enumeradas por Spyropoulos (2016, p. 43) — AI, sensores e materiais programáveis — abrirá portas a infindáveis possibilidades sobre as quais para já podemos apenas especular. Entre estas, será talvez a concepção de ambientes compostos por artefactos dinâmicos e em constante mutação a surgir como uma possibilidade promissora, independentemente de no presente esta nos poder ainda suscitar

estranheza. Não obstante, esta visão de ambientes com capacidades cinéticas, aptos para se reconfigurem e adaptem autonomamente em tempo real, incorpora o conceito de *Parametric Responsiveness* proposto por Schumacher (2008) como um dos paradigmas paramétricos que irão alavancar o desenvolvimento do Parametricismo.

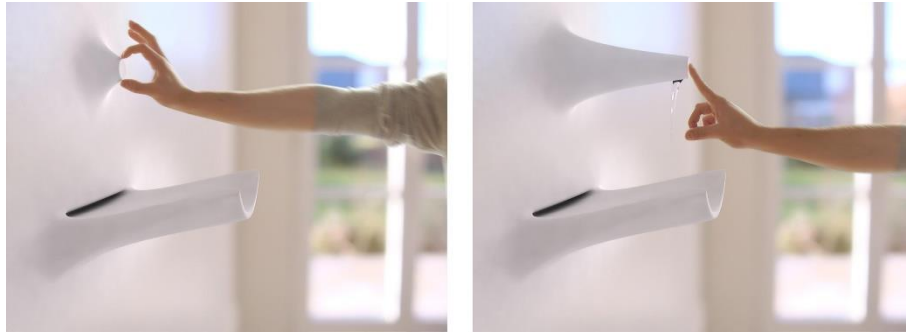


Figura 2.29 – “Living Kitchen - The Future of Matter”. Michaël Harboun, 2010 - Neste projecto Michaël Harboun (2010) especula sobre as possibilidades aplicacionais da matéria programável, um conceito investigado por um grupo de cientistas na Carnegie Mellon University em Pittsburgh, Estados Unidos sob a designação de “claytronics”. Claytronics é definido como uma matéria programável composta por minúsculos robots inteligentes que utilizam electroestática para se manter unidos, comunicar e alterar a sua posição no espaço. A introdução de informação nestes robots, permite que estes formem novas geometrias ao reagir a estímulos externos (ibid).

Para o Design, este conceito obriga a repensar as noções existentes sobre os artefactos e sobre a forma como estes são projectados e produzidos. Da concretização dessa hipótese talvez o designer tenha de abandonar a lógica de projectar produtos com base numa ideia final concreta para abraçar a nova função de criador de relações (Woodbury, 2010), criador de ferramentas (Oxman R. , 2006, p. 262) ou, como denota o trabalho de Tibbits *et al* (2014), programador de comportamentos aplicados a uma nova matéria capaz de assumir múltiplas formas (Figura 2.29). A adopção de uma lógica paramétrica e dos seus modelos caracterizados pela abstracção é um primeiro passo nessa direcção.

Desta integração tecnológica resultante “dos avanços na tecnologia de computadores, automação dos métodos produtivos e uma cultura rica em informação” como refere Shajay Bhooshan (2016, p. 53) “podemos em breve conceber habitats análogos aos da natureza”. Uma possibilidade explorada já no presente em projectos de investigação nos quais, através de estratégias computacionais, se tentam emular os mecanismos evolutivos e selectivos da natureza assim como comportamentos inteligentes apresentados por diversos organismos.

### **2.5.5 - Evolutive Design: uma abordagem à genética no Design por via de modelos digitais evolutivos**

A evolução da técnica que progressivamente afastou o ser humano da natureza, permitiu também o desenvolvimento de meios tecnológicos fundamentais para desvendar os mecanismos inerentes a esta entidade. No presente, não deixa de ser paradoxal que a mesma técnica esteja na origem de diversas abordagens que tentam replicar esses processos naturais valendo-se, para tal, de recursos e processos computacionais.

Gradualmente, conceitos como evolução ou génesis foram sendo introduzidos e explorados em diversos campos fora do domínio das ciências naturais de onde provêm. As ciências da computação emergem como um desses campos onde há muito passou a existir um interesse por essas noções e pelos processos que lhes são inerentes (O'Reilly, Hemberg, & Menges, 2004, p. 50). Com base nestes conceitos foram desenvolvidas técnicas algorítmicas que passaram a ser usadas no domínio da programação (ibid). Estas técnicas incorporam operadores que fazem uso de critérios análogos aos existentes na esfera natural, entre os quais, selecção, variação e *inheritance*<sup>208</sup> (ibid), replicados em algoritmos definidos como evolutivos ou genéticos que, segundo Rivka Oxman (Oxman R. , 2006, p. 256), têm sido uma ferramenta prolificamente usada em diversas áreas de investigação.

Segundo Holland (1992 apud Oxman R. , 2006, p. 256) algoritmos genéticos são representações computacionais paralelas aos processos de variação, cruzamento e selecção com base critérios de aptidão comuns à maioria dos processos de evolução e adaptação. Neste contexto a noção de código genético invocada é referente a um conjunto de regras estabelecidas que definem uma determinada classe<sup>209</sup> ou família (Oxman R. , 2006, p. 256). O recurso a este tipo de algoritmos permite gerar variações por via de um processo de reprodução que se dá através de cruzamento e mutação (Oxman R. , 2006, p. 256) de soluções individuais. Conjuntamente, estas podem ser testadas e avaliadas com base na sua performance em ambientes simulados (Oxman R. , 2006, p. 256; O'Reilly, Hemberg, & Menges, 2004, p. 50) com o intuito de encontrar a solução mais apta a qual poderá ser posteriormente recombinação e modificada de forma a produzir descendentes aperfeiçoados que integrem características ancestrais desejadas (O'Reilly, Hemberg, & Menges, 2004, p. 50).

---

<sup>208</sup> Inheritance ou herança em OOP (*object-oriented programming*) é um mecanismo que permite gerar novas classes a partir das classes existentes (Inheritance (object-oriented programming), s.d.)

<sup>209</sup> Classe surge aqui como um termo relevante pois remete para a ideia deleuziana de *objectile* referida por Mário Carpo (2016, p. 28), vinculada à noção de um conjunto de objectos distintos definidos pelas mesmas regras matemáticas. Comparativamente, num contexto biológico, a mesma noção pode ser facilmente associada ao conceito de espécie.

Todavia, a utilização de algoritmos evolutivos não ficou limitada ao campo das ciências da computação. No domínio das disciplinas projectuais como o Design e a arquitectura técnicas evolutivas têm sido, segundo Rivka Oxman (2006, p. 256), parte de uma longa tradição de investigação. Deste contexto emergem abordagens como o *Evolutionary Design* ou *Genetic Design* que procuram explorar os processos evolutivos da natureza e a sua aplicação no contexto projectual.

Neste domínio este género de algoritmos têm sido a base de técnicas de computação de carácter evolutivo usadas sobretudo para fins de optimização (O'Reilly, Hemberg, & Menges, 2004, p. 49; Oxman R. , 2006, p. 256). No entanto, actualmente este são vistos pelas suas qualidades adaptativas que permitem implementar processos morfogénicos performativos (O'Reilly, Hemberg, & Menges, 2004, pp. 49-50) que podem ser governados por uma troca interactiva de informação (Oxman R. , 2006, p. 256). Consequentemente, modelos próprios da esfera natural, como os referentes aos mecanismos evolutivos dos organismos biológicos, começam a ocupar um papel central no contexto do Design (Oxman R. , 2006, pp. 256-7). Especialmente modelos conotados ao conceito de morfogénese (ibid), processo que tem vindo a ser explorado através de mecanismos computacionais com a finalidade de gerar forma (Oxman R. , 2006, pp. 256-7).

Esta abordagem, definida por Rivka e Robert Oxman (2010, p. 20) como morfogénese digital, passa por um processo de *form-finding* reproduzido digitalmente que permite derivar soluções através de processos generativos e performativos<sup>210</sup>.

Note-se que há nestas abordagens uma nítida tentativa de instrumentalizar os processos naturais de evolução e crescimento dentro de um framework computacional (O'Reilly, Hemberg, & Menges, 2004, p. 49). O objectivo passa por utilizar estes instrumentos como ferramenta de design generativo não só para fins de optimização, mas também para produzir formas complexas e adaptativas (ibid)<sup>211</sup>. Não obstante, com o desenvolvimento destas estratégias o foco deixou de se resumir à geração da forma. A última fronteira que se procura atingir passou igualmente a ser o surgimento de comportamentos complexos ou

---

<sup>210</sup> Segundo Rivka e Robert Oxman (2010, p. 20) a utilização de dados performativos para conduzir este processo evolutivo pode ser considerado o nível mais avançado de *performance-based design*.

<sup>211</sup> Algoritmos evolutivos geram e manipulam cadeias de caracteres que servem como genótipos de populações inteiras de estruturas. Estes genótipos servem como input de dados para modelos estruturais paramétricos que se tornam fenótipos. Essas estruturas individuais são sucessivamente analisadas e avaliadas até alcançarem um resultado optimizado onde o objectivo passa por encontrar um equilíbrio entre múltiplos requisitos. Gerações sucessivas são maioritariamente baseadas no pool genético da melhor solução da iteração anterior. Os indivíduos são reconfigurados e mutados para gerar um novo conjunto de múltiplas soluções. Um ciclo que que pega no output anterior logo que o novo input é estabelecido (Bollinger, Grohmann, & Tessmann, 2010, p. 36)

mesmo inteligentes numa lógica sistémica, algo expresso no conceito de Emergência<sup>212</sup> explorado por Hensel, Menges e Weinstock em *Emergence: Morphogenetic Design Strategies* (2004).

O termo Emergência<sup>213</sup> usado neste contexto, remete para as propriedades irreduzíveis de um sistema, ou seja, as propriedades detidas por um sistema cujas partes que o compõem não detêm individualmente (Weinstock, 2004, p. 11)<sup>214</sup>. Segundo Michael Weinstock (ibid) no campo das ciências naturais este termo remete para a produção de formas e comportamentos complexos pelos sistemas naturais que têm uma complexidade irreduzível. Não obstante este conceito disseminou-se para outras áreas, entre as quais, as conotadas à prática projectual onde os mecanismos inerentes ao processo de emergência são usados para gerar e evoluir “*designs*” em ambiente virtual através de estratégias de morfogénese (Hensel, Menges, & Weinstock, 2004, p. 8).

Através de uma acesa integração tecnológica e de conceitos oriundos da biologia, este grupo de investigadores procura desvendar as leis matemáticas às quais os sistemas naturais obedecem e que possam ser usadas por sistemas concebidos artificialmente (Weinstock, 2004, p. 11). O principal objectivo passa por conseguir reproduzir o processo de crescimento orgânico como expresso por Lovegrove (2016, p. 106), ou Neri Oxman (2015).

Para o Design a integração de algoritmos evolutivos na sua prática representa uma mais-valia que possibilita explorar diversas soluções criadas mediante um processo generativo. No entanto, contrariamente ao que sucedeu no passado onde a exploração deste género de estratégias assumiu um carácter meramente formal (Carpo, 2016, p. 27), a integração de dados analíticos para conduzir o processo de geração da forma — ou morfogénese — incutiu nestas estratégias um carácter performativo alargando o foco igualmente à criação de soluções mais eficientes. De futuro, poderão vir a emergir novas possibilidades resultantes de uma maior integração tecnológica — incluindo a fabricação aditiva, materiais programáveis, tecnologia da informação e inteligência artificial — bem como de uma convergência interdisciplinar mais acesa. Esta conjuntura talvez reúna as condições

---

<sup>212</sup> No campo das ciências o termo remete para a produção de formas e comportamentos por sistemas naturais que têm uma complexidade irreduzível (Weinstock, 2004, p. 11). O termo foi adoptado no domínio da arquitectura justamente para invocar complexidade (ibid).

<sup>213</sup> Segundo Weinstock (2004, p. 11) o termo Emergência surge simultaneamente na literatura de diversas disciplinas, entre as quais a biologia evolutiva, inteligência artificial, teoria da complexidade, cibernética e teoria dos sistemas.

<sup>214</sup> Alguns exemplos que podem ilustrar este conceito são avançados por John Holland (1998 apud Hensel, Menges, & Weinstock, 2004, p. 9) os das colónias de formigas ou dos enxames de abelhas cujos comportamentos apresentados enquanto colectivo são exclusivos do próprio colectivo não sendo detidos pelos elementos individualmente, mas também redes de neurónios, a economia global ou a internet. Weinstock (2004, p. 11) refere que esta propriedade é algo mais do que a soma das partes.

necessárias à criação de ambientes em constante mutação resultantes de trocas de informação e análise constante como os propostos por Spyropoulos (2016)

No ar fica a ideia de um futuro no qual o processo criativo é partilhado com equipamentos e tecnologias que outrora detinham um papel passivo neste processo passando agora a ser participantes activos capazes de influenciar o resultado final. À medida que outros factores se incluem na equação aumentado o nível de imprevisibilidade dos resultados, o desfasamento entre ideia inicial do designer e resultado final aumenta. Neste contexto o designer deixará de ser um criador de formas ou de interagir com esta passando a interagir e a interferir unicamente no framework interactivo do mecanismo que gera a forma (Oxman R. , 2006, pp. 253-4). Não obstante, no contexto das estratégias apresentadas, mesmo a noção de resultado final tão íntima ao Design, é posta em causa, suplantada por um contexto de mutação, evolução e adaptação constantes, conceitos basilares de áreas como a biologia, agora apropriados pelo domínio do Design (O'Reilly, Hemberg, & Menges, 2004, p. 53; Hensel, 2004, p. 29).



### **3 - Conclusão**

Considerando os factos reunidos ao longo desta dissertação, é possível afirmar que a aplicação de uma lógica paramétrica à produção de artefactos não surge com uma prática recente. Da mesma forma, também ficou demonstrado que esta abordagem ao design não está condicionada por um vínculo de dependência para com os sistemas informáticos aos quais é comumente associada. Através dos exemplos apresentados e das teorias avançadas por diversos autores, foi possível desfazer dois dos equívocos mais comuns relacionados com o design paramétrico.

No entanto, quando confrontados com os inúmeros projectos realizados no contexto desta abordagem ao design, é impossível não reconhecer que é efectivamente na era digital, quando complementado com os novos recursos tecnológicos, que o design paramétrico alcança o seu verdadeiro potencial tanto ao nível expressivo como ao nível operativo. Logo, não existindo uma relação de dependência entre método e ferramenta, é um facto incontornável que os recursos tecnológicos disponíveis em cada época influenciaram o modo como uma lógica paramétrica se reflectiu, tanto nos métodos e estratégias aplicadas à produção de artefactos, como também nos próprios artefactos pensados e produzidos no contexto desta lógica.

De forma a comprovar esta tese, podemos invocar o progresso ocorrido no campo das ciências da computação e subsequente desenvolvimento dos equipamentos informáticos e softwares de modelação 3D. Ferramentas que incontestavelmente contribuíram para ampliar as possibilidades expressivas e operativas do design paramétrico e cuja relevância, tanto para o desenvolvimento desta abordagem como para a realização de muitos dos exemplos apresentados, ficou comprovada.

O desenvolvimento destas ferramentas e tecnologias teve como consequência a digitalização do Design, que no contexto do design paramétrico representa um marco evidente que separa a sua fase analógica (proto-parametrismo) da sua fase digital. Simultaneamente, esta transição colocou em evidencia o que aparenta ser o início de uma convergência entre o campo do Design e outras áreas do conhecimento. Uma convergência que no presente assume uma dimensão mais abrangente abrindo-se a sinergias com disciplinas cada vez mais díspares ao domínio do Design. Sinergias que, como foi possível comprovar, são um elemento potenciador das possibilidades e valências apresentadas por esta abordagem quer ao nível criativo com aos níveis operacional e aplicativo.

Ainda assim, e apesar dos desenvolvimentos do design paramétrico, verificou-se que no presente esta vertente continua a surgir com um tema conturbado, suscitando repúdio por

parte de alguns, mas também posições apaixonadas por parte de uma minoria de entusiastas que nos últimos anos têm vindo a aumentar. Porém, foi perceptível que mesmo no seio desta comunidade continuam a existir opiniões divergentes, noções erróneas, assim como uma certa indefinição quanto ao carácter, qualidades, modo de operar ou propósitos desta abordagem ao design.

Como tal e decorrente da investigação efectuada ao longo desta dissertação foram identificadas diferentes perspectivas teóricas e abordagens de trabalho em projecto, seguidas e defendidas por diferentes autores e que são aqui apresentadas em forma de síntese conclusiva.

### **3.1 - Not Digital, Not Hadid**

As sumptuosas formas que caracterizam a linguagem da obra de Zaha Hadid e cuja imagem vincada contribuiu para a projecção do design paramétrico, contribuíram também para a formulação de uma falsa noção que confere a esta vertente uma condição de novidade.








No entanto, confirmou-se que a aplicação de uma lógica paramétrica à produção de artefactos precede Hadid ou mesmo a era digital. Os documentos deixados por Vitruvius ou Leon Battista Alberti surgem como elementos que comprovam a existência de uma lógica paramétrica aplicada à arquitectura que remonta à era clássica (Carpo, 2016, p. 28; Gage, 2016, p. 130). Comparativamente, também as obras de Gaudí e Frei Otto referidas por Burry (2016, pp. 30-5) contribuem para refutar essa noção que confere ao design paramétrico uma condição de novidade da era digital. Mesmo quando excluídos estes exemplos, sob o pretexto dos mesmos resultarem de uma análise à posteriori elaboradas por outros que não os próprios autores, o exemplo de Luigi Moretti, que segundo Frazer (2016, p. 19) declaradamente caracterizou a sua obra como paramétrica, surge como uma evidencia categórica que contraria a ideia de que o design paramétrico é uma prática recente, antecedendo tanto a obra de Hadid como a era digital.

Ainda assim, foi possível perceber que ao longo da história os meios tecnológicos disponíveis influenciaram o modo como o conceito de paramétrico se reflectiu, tanto ao nível das estratégias usadas para projectar e conceber artefactos paramétricos, como também ao nível dos próprios artefactos que destas resultaram. Um facto evidenciado quando comparadas as fases analógica e digital desta abordagem.

### 3.2 - Pluralidade

O surgimento e posterior desenvolvimentos dos sistemas informáticos representou uma inquestionável mudança de paradigma. No contexto do design paramétrico, verificou-se que este feito representa um marco simbólico entre a sua fase analógica e subsequente fase digital, expectavelmente distintas entre si. Sem embargo, na história desta abordagem, e mesmo no contexto de cada uma das fases em que esta se encontra fragmentada, foi possível notar a aplicação de diferentes estratégias para projectar e conceber artefactos paramétricos. Inevitavelmente esta pluralidade de métodos reflectiu-se de distintas formas nos resultados obtidos através de uma metodologia paramétrica aplicada ao design, não só ao nível da estética dos artefactos, mas também no que respeita às suas propriedades estruturais e mecânicas (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 – Diferentes formas de implementação de estratégias paramétricas ao longo da história e a influência da tecnologia na criação de objectos paramétricos, suas propriedades e capacidades (ver apêndice 2)

Abordagem	Parametrismo analógico			Parametrismo digital			
	REGRAS, RÁCIOS E MÓDULOS	ESTRATÉGIAS EMPÍRICAS DE FORM-FINDING	CONSCIÊNCIA E INTENÇÃO	EXPLORAÇÃO DO SOFTWARE	MODELOS DIGITAIS FLEXÍVEIS	INSTRUMENTALIZAÇÃO DE DADOS ANALÍTICOS	IMPRESSÃO 4D
Descrição	Implementação de um mecanismo lógico baseado em regras, permitindo criar composições cujas proporções são interdependentes e possibilitando assim derivar variações geométricas e composicionais a partir da mesma ferramenta algorítmica pela modificação dos parâmetros usados para definir o modelo.	Recurso a modelos suspensos e estratégias de form-finding instrumentalizando a força da gravidade e da capacidade de auto-organização dos materiais enquanto forças ou parâmetros geradores de forma.	Aplicação de parâmetros especificamente definidos (como a quantidade de betão ou diâmetro de vício) para condicionar e estabelecer o resultado das estruturas projectadas.	Exploração para fins criativos de novos recursos disponibilizados pelo software para gerar forma com recurso por exemplo a forças virtuais.	Recurso a mecanismos algorítmicos digitais nos quais os diversos parâmetros que definem o modelo estão declarados explicitamente mantendo uma relação de dependência entre si permitindo alterar a geometria do modelo digital dinamicamente, produzindo diferentes soluções formais.	Recurso a software de análise (CAE) permitindo instrumentalizar dados performativos usados para fins de optimização estrutural em estratégias de feedback loop e evolutivas.	Programação de comportamentos almejados nos produtos através de um controlo mecânico de deposição dos materiais ou de combinação de materiais com propriedades distintas através de estratégias com VPP.
Exemplos de autores	<ul style="list-style-type: none"> <li>Leon Battista Alberti;</li> <li>Vitruvius;</li> <li>Pier Luigi Nervi;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gaudi;</li> <li>Frei Otto;</li> <li>Heinz Isler;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Luigi Moretti;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Greg Lynn;</li> <li>Karim Rashid;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Frank Gehry;</li> <li>Nicholas Grimshaw;</li> </ul>		
Exemplos de artefactos							
Propriedades estruturais paramétricas		Resultados da auto-organização dos materiais sobre a força da gravidade				Resultados de uma utilização e controlo estratégico dos materiais com base em dados performativos	Resultados de uma utilização e controlo estratégico dos materiais para programar comportamentos almejados
Comportamentos dinâmicos paramétricos							Em resposta a estímulos previamente programados como pressão ou humidade

Não / Não se aplica

### REGRAS, RÁCIOS E MÓDULOS

Leon Battista Alberti e Vitruvius têm em comum o facto de terem implementado um sistema baseado numa lógica paramétrica valendo-se de regras, rácios e módulos (Carpo, 2016, p. 28). Este sistema de regras permitiu criar composições cujas proporções são dependentes entre si, existindo uma relação entre a parte e o todo. Um mecanismo lógico que possibilita derivar inúmeras variações geométricas e composicionais a partir da mesma ferramenta algorítmica, mediante a modificação dos parâmetros usados para definir o modelo<sup>215</sup>. De forma idêntica, também a obra de Pier Luigi Nervi pode ser enquadrada neste contexto pelo recurso a superfícies regradas, técnica empregue pelo engenheiro italiano com propósito idêntico (Leslie, 2013).

<sup>215</sup> Variações que, embora diferentes entre si, devido ao facto de derivarem do mesmo mecanismo algorítmico, formam uma classe ou família de objectos unidos pela mesma lógica (Carpo, 2016, p. 28).

Não obstante, os artefactos resultantes deste sistema são qualificados como paramétricos pelo facto de resultarem de “uma forma de raciocínio lógico que faz com que estes possuam um mecanismo construtivo inerente capaz de produzir diferentes variações paramétricas” (Barros, 2015, p. 72). Embora incorporem uma lógica paramétrica, estes artefactos não são estruturalmente paramétricos e não apresentam comportamentos paramétricos responsivos, ou seja, no mundo físico, não exibem comportamentos dinâmicos em resposta a estímulos específicos.

#### EMPIRISMO DAS ESTRATÉGIAS DE *FORM-FINDING*

Por sua vez, Gaudí, Frei Otto e Heinz Isler recorreram a técnicas empíricas de carácter intuitivo, entre as quais, modelos suspensos ou estratégias de *form-finding*. A obra destes autores é considerada paramétrica devido à instrumentalização que estes fizeram da força da gravidade (Davis, 2013a, pp. 22-3; Chilton, 2010, p. 67; Burry, 2016, pp. 33-4) e da capacidade de auto-organização dos materiais enquanto forças ou parâmetros geradores de forma (Burry, 2016, p. 34; Hensel, 2004, p. 27).

Comparativamente com os exemplos anteriores, os artefactos criados por estes autores com recurso às técnicas referidas, integram igualmente uma lógica paramétrica subjacente. Porém, distinguem-se por apresentam características estruturais paramétricas uma vez que a sua estrutura é um resultado directo das forças que actuam sobre a matéria que os constitui. No entanto, estes artefactos continuam a não possuir comportamentos paramétricos responsivos dinâmicos.

#### CONSCIÊNCIA E INTENÇÃO

Recorrendo a uma abordagem menos empírica, Luigi Moretti aplicou uma série de parâmetros especificamente definidos para condicionar e estabelecer o resultado das estruturas por si projectadas. Entre outros parâmetros, Moretti incluiu factores diversos como a quantidade de betão ou ângulos de visão (Davis, 2013a, pp. 17-8). No entanto, a ambiguidade que caracteriza os parâmetros usados no contexto da sua obra, resulta na ausência de uma relação óbvia entre parâmetro e resultado alcançado — um aspecto que é na generalidade criticado por Davis (2013a, p. 24). Mesmo assim, os artefactos projectados por Moretti destacam-se pela forma consciente e intencionalidade com que uma lógica paramétrica foi implementada na sua criação, ainda que recorrendo a métodos analógicos.

## EXPLORAÇÃO DO SOFTWARE

Décadas mais tarde, o desenvolvimento ocorrido nas áreas da microelectrónica e software, permitiu explorar novas possibilidades estéticas e aplicacionais. Numa primeira fase, arquitectos como Frank Gehry souberam tirar partido destes novos instrumentos para fins projectuais<sup>216</sup> (Carpo, 2016, p. 27). Explorando as capacidades destas ferramentas para lidar com a complexidade e para gerar formas irracionais e irregulares, Gehry<sup>217</sup>, viu nestes recursos o meio ideal para alicerçar a estética desconstrutivista que caracteriza alguns dos seus trabalhos mais icónicos (Carpo, 2016, p. 27). Por sua vez, Greg Lynn e Karim Rashid enveredaram pela experimentação para fins criativos de outros géneros de softwares (Waters, 2003). Tirando partido das novas funcionalidades oferecidas por estas ferramentas, nomeadamente a sua capacidade para simular forças virtuais, estes implementaram técnicas de modelação pouco convencionais para criar uma linguagem altamente expressiva marcada pelas formas fluidas<sup>218</sup>.

Quanto às técnicas usadas por Lynn, Rashid ou Gehry, assim como quanto aos artefactos que destas resultam, é possível defender o seu carácter paramétrico considerando o mecanismo algorítmico inerente aos softwares usados e também, nos casos de Lynn ou Rashid, a instrumentalização de forças virtuais para gerar e manipular geometrias. Não obstante, esta ilação é questionável, principalmente quando sujeita ao escrutínio de critérios restritivos como os propostos por Daniel Davis (2013a).

No entanto, ainda que aceitando a validade desta hipótese, não é possível afirmar que os artefactos que resultam destas técnicas detenham propriedades estruturais paramétricas como sucede nos que são gerados com recurso a técnicas de *form-finding* — como as implementadas por Gaudí, Otto ou Isler — ou através de técnicas que integrem softwares de CAE e que permitem instrumentalizar dados analíticos para fins de optimização. Adicionalmente, os artefactos que resultam destas técnicas continuam a não possuir comportamentos paramétricos responsivos. Além do mais, mesmo amparados pelos sistemas informáticos, software e fazendo uso efectivo de modelos digitais, os modelos usados por Lynn ou Rashid não incorporam o dinamismo característico dos modelos digitais flexíveis e as técnicas por si usadas, à semelhança de Gaudí, Frei Otto ou Isler, continuam de certa forma a assumir um carácter empírico.

---

<sup>216</sup> Ainda assim como um meio para pós-racionalizar as suas ideias (Oxman N. , 2010, p. 80)

<sup>217</sup> Inicialmente Gehry usou o software sobretudo um meio para pós-racionalizar muitas das formas por si idealizadas por via de processos analógicos (Oxman N. , 2010, p. 80).

<sup>218</sup> No entanto, a exploração das capacidades oferecidas por este género de softwares não foi obtida de forma gratuita. Em troca o designer teve de abdicar do controlo sobre os resultados obtidos.

## MODELOS DIGITAIS FLEXÍVEIS

A capacidade dos modelos digitais flexíveis para acomodar alterações dinamicamente, contrariamente aos métodos empíricos usados por Lynn ou Rashid, permitiu obter um maior controlo sobre os resultados pretendidos, assim como uma maior clareza quanto à relação entre parâmetros e resultados. Como foi possível verificar, estas utensílios digitais provaram ser uma evolução de extrema importância para o design paramétrico. Exemplos precoces da sua aplicação podem ser observados em trabalhos como o Barcelona Fish de Frank Gehry ou no Terminal Internacional de Waterloo de Nicholas Grimshaw (Figura 2.8).

Os artefactos decorrentes do recurso a esta ferramenta incorporam uma lógica paramétrica que resulta de um mecanismo algorítmico no qual os diversos parâmetros que definem o modelo estão declarados de forma explícita e mantêm uma relação de dependência entre si. Esta ligação entre parâmetros permite alterar a geometria do modelo digital dinamicamente, produzindo diferentes soluções formais através da variação dos valores dos parâmetros que o definem. No entanto, só por si, os artefactos resultantes de modelos flexíveis não possuem necessariamente propriedades estruturais paramétricas ou comportamentos dinâmicos responsivos. O dinamismo neste caso, limita-se ao modelo digital e ao ambiente virtual.

## UMA QUESTÃO DE PERFORMANCE

As capacidades dinâmicas dos modelos flexíveis digitais emergiu como uma propriedade ideal que viabilizou novas técnicas. A conjugação desta ferramenta digital com o CAE possibilitou o desenvolvimento de estratégias de optimização estrutural assentes numa lógica de *feedback-loop* possibilitando a automação de um processo que, segundo Rivka Oxman (2006, pp. 248-9), anteriormente era manual.

Os artefactos que resultam da implementação desta estratégia incorporando uma lógica paramétrica explícita, assim como propriedades estruturais paramétricas que resultam do recurso a parâmetros que integram dados analíticos. Ainda assim, o dinamismo introduzido pelos modelos flexíveis digitais permanece limitado ao ambiente virtual. No mundo físico os artefactos que estes originam não apresentam necessariamente comportamentos paramétricos dinâmicos.

## IMPRESSÃO 4D E O DINAMISMO NO PLANO MATERIAL

O desenvolvimento da tecnologia de impressão 4D aliada ao progresso paralelo no sector dos materiais inteligentes<sup>219</sup>, permitiu que os comportamentos dinâmicos e responsivos explorados no ambiente virtual puderam ser transpostos para o mundo físico. Uma evolução significativa em relação à tecnologia que está na sua base — a impressão 3D— que embora tenha permitido a materialização dos objectos idealizados em ambiente virtual, essa transição sempre significou a preservação da sua forma no tempo e, por consequência, a perda do dinamismo inerente aos modelos digitais flexíveis.

Os artefactos resultantes destas técnicas — caracterizadas por uma significativa integração tecnológica — além de incorporarem uma lógica paramétrica, podem apresentar comportamentos dinâmicos responsivos e deter propriedades estruturais paramétricas que resultam do uso e controlo meticuloso dos materiais e suas propriedades. Qualidades que fazem destes artefactos mais do que paramétricos pela lógica na sua génese, objectos efectivamente paramétricos *per se*.

### NOTA FINAL

O desenvolvimento de novas técnicas e ferramentas — como a impressão 4D — permitiu que o dinamismo que característico dos modelos flexíveis deixasse de ver a sua aplicação limitada à exploração formal com finalidades meramente estilísticas. A gestão da complexidade e a optimização estrutural surgem como duas aplicações que beneficiaram das capacidades desta ferramenta digital. Os modelos digitais flexíveis demonstraram ser fundamentais para a realização de muitos dos projectos e abordagens de cariz paramétrico de maior complexidade desenvolvidas recentemente — alguns dos quais apresentados nesta dissertação — os quais compravam categoricamente esta afirmação.

Como resultado desta evolução mesmo o conceito de paramétrico foi alterado passando a significar não só um método ou lógica aplicada à criação de artefactos, mas também uma capacidade que os próprios artefactos resultantes deste método podem deter.

Ainda assim, a afirmação do carácter paramétrico de determinado artefacto deve continuar a ser encarada com cautela recordando que o uso de um software paramétrico, técnicas específicas ou determinada linguagem estética, só por si não são elementos suficientes para sustentar essa convicção, principalmente quando sujeita aos critérios apresentados por diferentes autores.

---

<sup>219</sup> Explorados hoje em projectos de investigação como os desenvolvidos por Neri Oxman no Mediated Media Group ou Skylar Tibbits no Self-Assembly LAB

### 3.3 - Diferentes perspectivas contextuais

Apesar do longo caminho percorrido o design paramétrico permanece um tema complexo e cuja definição está longe de ser consensual. Como foi possível observar, opiniões divergentes descrevem esta abordagem de diferentes formas e limitam o seu conceito aplicacional sob distintos critérios. Entre estas foi possível destacar três posições centrais sobre o tema, expressas principalmente nas opiniões de Daniel Davis, Mário Barros e Patrik Schumacher.

#### I – CARÁCTER METODOLÓGICO

Na óptica de Daniel Davis, esta vertente assume um forte carácter metodológico. Para Davis (2013a, pp. 31-2) o design paramétrico resulta da intenção de um designer em declarar explicitamente a ligação entre parâmetros e resultados.

#### II – CARÁCTER INSTRUMENTAL

Esse carácter metodológico do design paramétrico encontra-se igualmente presente na tese de Mário Barros, algo explícito quando este autor descreve esta abordagem como “um género de raciocínio lógico ou metodologia, aplicada de antemão para criar artefactos” (Barros, 2015, p. 72). Ainda assim, na tese de Mário Barros foi possível notar uma predominância do carácter instrumental do design paramétrico. Uma conotação comumente atribuída a esta abordagem resultante da generalização da designação “design paramétrico”, tanto para descrever uma forma de raciocínio, como uma técnica baseada em CAD (ibid).

#### III – CARÁCTER ESTILÍSTICO

Uma posição totalmente distinta sobre o tema é apresentada por Patrik Schumacher (2008) na qual o design paramétrico assume o carácter de um novo estilo ou movimento de época, apelidado meticulosamente pelo arquitecto de **Parametricismo**<sup>220</sup>.

---

<sup>220</sup> Schumacher inclusive fundamentou esta sua proposta através de um manifesto no qual, além de defender o carácter único do Parametricismo, enumera uma série de regras cujos discípulos deste novo estilo devem implementar.

## CRÍTICA COMPARATIVA ENTRE AS TRÊS PERSPECTIVAS

Foi possível observar, porém, que a proposta apresentada por Schumacher além de não reunir consenso é veemente contestada por Davis (2013a) e Mark Foster Gage (2016). Afinal, enquanto metodologia, o design paramétrico, assim como as ferramentas algorítmicas usadas no contexto desta abordagem, não possuem um estilo intrínseco permitindo gerar e exprimir diversas linguagens ou estéticas (Gage, 2016, p. 130). Logo, o design paramétrico não pode ser limitado pelas directrizes estipuladas por Schumacher as quais, como insinua Foster Gage (2016, pp. 130-1), aparentam assumir o carácter de um guia prático para recriar o estilo de autor de Zaha Hadid. Essa imposição assumirá sempre uma conotação dictatorial que, consequentemente, limitará as possibilidades expressivas oferecidas por esta abordagem a uma imagem estereotipada composta por superfícies super-fluidas e que, em último caso, será uma continuação da linguagem estilística da arquitecta iraquiana.

Ainda assim, na proposta avançada por Schumacher (2016d; 2008) existem noções pertinentes que merecem ser referidas. Não obstante, estas não se relacionam com um novo estilo de época, mas com um nítido foco nas capacidades comunicativas do Design presente na proposta de Schumacher. Um foco desde logo perceptível quando o arquitecto apresenta uma visão de um ambiente povoado por artefactos comunicativos que, mediante a incorporação de pistas (*clues*), actua como um sistema de significados cujo propósito é auxiliar a navegação e organização dos utilizadores no espaço. Diante deste cenário apresentado por Schumacher é impossível não fazer um paralelismo com o conceito de *Affordance*<sup>221</sup> — e *signifier* — (Norman, 2013, pp. 10-9) tão íntimo ao Design enquanto disciplina.

Em simultâneo, e contrariamente às posições detidas por Davis (2013a) e Barros (2015) nas quais o design paramétrico assume uma conotação mais metodológica e instrumental, há na proposta de Schumacher uma invocação mais intensa da componente expressiva permitida por esta abordagem. Ainda assim, uma expressão que simultaneamente tem uma função explicita: comunicar. Esta perspectiva apresentada por Schumacher, coloca-nos assim diante de uma dinâmica antagónica na qual dois conceitos opostos aparentam coexistir dentro do design paramétrico. Por um lado, a razão e a lógica, representadas pelo algoritmo e pela matemática e, simultaneamente, a expressão materializada nas formas veemente expressivas que emergem desta abordagem proposta por Schumacher.

---

<sup>221</sup> De uma forma genérica no domínio do Design, *Affordances* são pistas introduzidas nos produtos que visam auxiliar na percepção de como estes devem ser usados. No entanto, de forma a colmatar uma percepção segundo este errada sobre o termo, na reedição do seu livro “The Design of everyday things” Don Norman (2013) adiciona o conceito de *signifiers*, esclarecendo que *Affordances* definem quais as acções possíveis (estas não são propriedades de um objecto mas relações entre o objecto e o utilizador) e *signifiers* são sinais ou pistas que especificam como as pessoas descobrem essas possibilidades.

Independentemente das opiniões, com base na pesquisa conduzida o design paramétrico destacou-se sobretudo por ser uma forma raciocínio ou metodologia que integra uma lógica algorítmica aplicada ao Design. O termo **Design** presente na própria terminologia, evoca precisamente o seu carácter de intenção. Um facto claramente expresso tanto por Davis (2013a, pp. 31-2), quando este autor afirma que “o design paramétrico resulta da intenção de um designer em declarar explicitamente a ligação entre parâmetros e resultados”, como por Barros (2015, p. 72) quando este outro se refere a esta abordagem como “um método empregue de antemão com o intuito de criar um esquema capaz de gerar múltiplas soluções”.

No entanto, também a posição defendida por Davis não está imune à crítica, afinal é impossível não notar que esta assume uma natureza restritiva. Ao excluir desta abordagem todos aqueles que não consigam justificar como os resultados obtidos derivam dos parâmetros por si declarados, Davis não só ignora que nem todos os agentes consideram esse critério relevante para a sua prática como que a complexidade inerente a alguns métodos usados, como é o caso das técnicas de carácter generativo usadas por Mark Fornes (2016), nem sempre permite estabelecer essa relação de forma óbvia.

Por sua vez, Mário Barros apresenta-nos uma visão menos ortodoxa, focando as possibilidades oferecidas pelo design paramétrico principalmente as que emergem da sua integração com os novos meios tecnológicos. Uma conjugação que, como observado, permitiu desenvolver novas técnicas e que de forma incontestável teve um efeito potenciador sobre esta vertente.

Posto isto, a convicção sobre o valor que a colaboração interdisciplinar detém para o design paramétrico sai reforçada, sobretudo quanto considerada a convergência entre esta abordagem e outros campos do conhecimento observadas ao longo desta dissertação e que aparentam alavancar-se mutuamente, culminando em novas aplicações das quais foi possível avançar alguns exemplos.

### **3.4 - O design paramétrico na era da Convergência**

Alcançar o nível de sofisticação patente nos artefactos da era moderna requer a colaboração entre diversas áreas do conhecimento e a integração de tecnologias e *know-how* inerente a cada uma destas. Convergência é o termo que pode designar essa sinergia transdisciplinar na qual diversos campos colaboram na criação de novas aplicações. No caso do design paramétrico, através de dos exemplos apresentados foi possível verificar a sua confluência com diversos campos cujas tecnologias e conceitos foram assimiladas por esta vertente. Numa perspectiva histórica este modo de operar não é novo, podendo ser observado na relação com

a matemática ou a geometria na era clássica ou, mais recentemente, na ligação às ciências da computação, campo do qual surgiram ferramentas que impulsionaram o design paramétrico, mas também de onde esta abordagem ao design absorveu diversas noções.

É, contudo, no presente que esta cooperação transdisciplinar se torna mais óbvia através de sinergias entre campos que se impulsionam mutuamente. Um dos exemplos observados é referentes às tecnologias de fabricação — equipamentos controlados numericamente, CAD-CAM, fabricação aditiva, etc. — adoptadas pelo design paramétrico para materializar os conceitos explorados em ambiente virtual e que contribuíram para potenciar esta abordagem. No entanto, mais do que um benefício unilateral, a exploração destas tecnologias, por vezes levada ao limite ou usada de forma disruptiva, resultou na sua própria evolução. A exploração da tecnologia aditiva no campo das ciências dos materiais mencionada anteriormente assim o comprova. Demonstra igualmente uma confluência entre estes dois campos, cujas potencialidades conjuntas são igualmente exploradas no contexto do design paramétrico, vertente que gradualmente integra conceitos antagónicos à sua génese tecnológica.

A sua convergência com a biomimética destacada nesta dissertação é um desses exemplos. Uma ligação evidenciada através dos conceitos pioneiros explorados em áreas limítrofes no âmbito desta abordagem ao design. Estratégias algorítmicas que tentam replicar mecanismos naturais como selecção, variação, cruzamento e herança como no caso dos algoritmos evolutivos e genéticos — como as referidas por Rivka Oxman (2006, pp. 256-7) ou O'Reilly, Hemberg e Menges (2004) —, ou abordagens que demonstram interesse em desenvolver técnicas inspiradas nos processos de morfogénese e emergência — como as mencionadas por Rivka Oxman (2006, pp. 256-7) ou as exploradas por Hensel, Menges e Weinstock (2004)— comprovam esta ligação íntima entre estes campos ou mesmo a existência de uma abordagem biomimética no âmbito do design paramétrico.

No sentido inverso, surge como óbvio que muitos dos conceitos que a biomimética procura replicar apenas serão atingidos por via do poder do algoritmo e do processador informático. Afinal, com refere Neri Oxman (2015), longe vão os tempos em que o Homem moldou o mundo com recurso a pouco mais que um martelo e um cinzel.

### **3.5 - Design paramétrico e tecnologia: Uma relação de (in)dependência**

O contributo da tecnologia da era digital para o desenvolvimento do design paramétrico, assim como a forma assídua com que ferramentas com uma vincada base tecnológica começaram a integrar a prática projectual, contribuiu para a formulação de uma ideia estereotipada que concede a esta vertente um carácter essencialmente tecnológico e, em certo grau, dependente da tecnologia.

Como foi exposto, constatou-se que muitas destas ferramentas demonstraram-se efectivamente fundamentais para a concretização de diverso projectos desenvolvidos no contexto do design paramétrico. No entanto, a existir tal dependência esta prende-se com as especificidades do projecto em si e não com o género de abordagem segundo a qual este foi idealizado. Exemplos como “Silk Wall” de Philip Yuan (Figuras 1.52-3) comprovam que mesmo num contexto fortemente tecnológico como o actual, tal relação de dependência entre design paramétrico e tecnologia é inexistente. À semelhança de práticas analógicas como as implementadas por Gaudí ou Otto, a ausência de uma integração tecnológica no projecto Yuan não retira ou diminui a essência paramétrica que lhe está subjacente. Esta provém do carácter metodológico do design paramétrico — descrito por Barros (2015) como um género de raciocínio lógico — e não de qualquer ferramenta que possa ser aplicada na sua execução.

### **3.6 - Vantagens e desvantagens da implementação de uma abordagem paramétrica**

Ainda que uma abordagem paramétrica à prática do Design apresente inúmeras vantagens, como foi possível constatar através dos exemplos apresentados nesta dissertação, foi igualmente evidente que esta abordagem não é viável para todas as situações ou problemáticas com as quais o designer se depara no exercício da sua profissão. Tarefas ou projectos que apresentem um reduzido grau de complexidade ou a ausência de uma intenção em produzir variações geométricas do mesmo artefacto e, decorrente desta, não existir a necessidade de que o produto final possibilite uma produção personalizada são exemplos de situações para as quais não se justifica o investimento em termos de tempo e esforço mental necessários ao desenvolvimento de um modelo flexível digital. Ainda assim, é impossível não reconhecer os méritos e vantagens que esta abordagem apresenta para diversos aspectos da prática do design.

A exploração formal ilustrada pelas formas exuberantes de Zaha Hadid, ou a gestão de tarefas de alta complexidade, como as verificadas no centro Pompidou de Metz criado por Shigeru Ban (Figura 1.49) no qual cada uma das componentes e intrincadas intersecções assumem um carácter único, ou ainda a agilização de tarefas pela automação do repetível, como exemplifica o Metropol Parasol de Sevilha (Figura 1.51) com as suas incontáveis intersecções, foram algumas das vantagens que o design paramétrico apresenta e que foram possíveis de perceber ao longo desta investigação. A estas junta-se a capacidade de relegar decisões outrora fulcrais para fases mais tardias de um projecto (*deferral*) como é exemplo o Terminal Internacional de Waterloo de Nicholas Grimshaw avançado por Woodbury (2010)(Figura 2.8).

Não obstante, revelou-se que é sobretudo na convergência com outras disciplinas e tecnologias que o design paramétrico e ferramentas digitais que integram a sua prática, como é o caso dos modelos flexíveis, apresenta uma série de vantagens realmente relevantes. Entre as quais, a produção industrial de artefactos com um nível de personalização sem precedentes, como a cadeira “Go” de Benjamin Hubert (Figura 1.47) concebida através de uma conjugação entre modelos digitais flexíveis, fabricação aditiva e dados biométricos, ou a Ortótese criada pelo Mhox Design (Figura 1.58) que adicionalmente incluiu o recurso a processos generativos. Por sua vez, a optimização dos produtos é outra das vantagens apresentadas como exemplificam o protótipo para motor de foguete desenvolvido pela empresa Hyperganic (Figura 2.17) no qual a integração de inteligência artificial ou a cadeira criada em colaboração entre a Altair e equipe ZHA (Figuras 2.12-4) integrando uma estratégia de *form-finding* estrutural com base em CAE.

Para todos estas a lógica paramétrica e o dinamismo dos modelos digitais flexíveis surgem como um elemento fulcral à sua realização.

### **3.7 - Perspetivas futuras**

Partindo de uma posição de incerteza comum a qualquer forma de especulação sobre cenários futuros, o conteúdo reunido e explorado no decurso desta dissertação indicia que o design paramétrico integrará cada vez mais a prática do design, principalmente na sua vertente mais industrial e, como tal, mais próxima — se não mesmo dependente — à tecnologia. O interesse crescente por esta abordagem ao design, evidenciado pelo número crescente de projectos e pelo surgimento em contexto académico de programas focados no design paramétrico — como é exemplo a Architectural Association School of Architecture (AA) em Londres — são indicadores sólidos dessa perspectiva.

Por sua vez, talvez as exigências apresentadas por um mundo cada vez mais complexo se encarreguem de fazer do design paramétrico uma ferramenta imprescindível para colmatar os desafios inerentes a uma sociedade altamente tecnológica e dinâmica. Com efeito, assumindo como indicadores muitos dos projectos pioneiros referidos, mais do que nunca o Design terá de estabelecer parcerias com outros campos do conhecimento com os quais a convergência resultará certamente em novas e promissoras aplicações. Porventura, esta é uma sinergia que detém um potencial inerente capaz de alterar a forma como pensamos, projectamos, produzimos e interagimos com os objectos, e, como tal, emergirem produtos, arquitecturas ou mesmo “ecossistemas” detentores de novas funcionalidades resultantes de uma total integração tecnológica.

## Bibliografia

- A difference in making. (s.d.). *On-demand 3d-printed chair*. Obtido em 25 de Fevereiro de 2020, de A difference in making: <http://catalogue.a-difference-in-making.com/on-demand-3d-printed-chair-prototype/>
- Abbey, T. (4 de Fevereiro de 2018). *What is topological optimization and why is it useful?* Obtido em 11 de Janeiro de 2021, de PTC: <https://www.ptc.com/en/blogs/cad/what-is-topology-optimization>
- AEC Magazine. (08 de Agosto de 2017). *The role of tech at Studio Libeskind*. Obtido em 14 de Setembro de 2020, de AEC Magazine: <https://www.aecmag.com/technology-mainmenu-35/1401-studio-style-architecture-design-cad>
- Agência (sociologia). (s.d.). Obtido em 6 de Novembro de 2019, de wikipedia: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Ag%C3%Aancia\\_\(sociologia\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Ag%C3%Aancia_(sociologia))
- Al Bahar Towers. (s.d.). *Al Bahar Towers*. Obtido em 28 de Dezembro de 2019, de WikiArquitectura: <https://en.wikiarquitectura.com/building/al-bahar-towers/>
- Alberti, L. B., Bartoli, C., & Leoni, G. (1986). *The Ten Books of Architecture: The 1755 Leoni Edition*. Nova York: Dover Publications.
- Alexander, D. (30 de Março de 2020). *The Science Fiction World of 3D Printed Organs*. Obtido em 27 de Abril de 2020, de Interesting Engineering: <https://interestingengineering.com/the-science-fiction-world-of-3d-printed-organs>
- alexandercreate. (s.d.). Obtido em 10 de Fevereiro de 2020, de alexandercreate: <http://www.alexandercreate.com/#/waterbottle/>
- Algorithms for Procedural Content Generation. (11 de Dezembro de 2019). *Algorithms for Procedural Content Generation*. Obtido em 28 de Junho de 2020, de wikidot: <http://pcg.wikidot.com/category-pcg-algorithms>
- altair. (2018). *Complex and Lightweight Shapes Made Feasible*. Obtido em 25 de Fevereiro de 2020, de altair: [https://www.altair.com/customer-story/zha-3d-printed-chair/Corporate\\_0067\\_02\\_SuccessStory\\_ZHA\\_TopologyOptimized3DPrintedChair\\_v7.pdf](https://www.altair.com/customer-story/zha-3d-printed-chair/Corporate_0067_02_SuccessStory_ZHA_TopologyOptimized3DPrintedChair_v7.pdf)
- Alvarado, R. G., & Muñoz, J. J. (2012). The Control Of Shape: Origins Of Parametric Design In Architecture. *METU Journal of the faculty of architecture*, 29(1), 107-118. doi:10.4305/METU.JFA.2012.1.6
- Amiga. (s.d.). *Amiga*. Obtido em 1 de Junho de 2019, de wikipedia: <https://en.wikipedia.org/wiki/Amiga>
- Anisotropia. (s.d.). *Anisotropia*. Obtido em 10 de Junho de 2019, de wikipedia: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Anisotropia>
- Antikythera mechanism. (s.d.). *Antikythera mechanism*. Obtido em 19 de Maio de 2019, de wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Antikythera\\_mechanism](https://en.wikipedia.org/wiki/Antikythera_mechanism)
- APCI. (10 de Março de 2014). *Claytronics: les Objets Programmables*. Obtido em 15 de Novembro de 2020, de APCI: <http://archive.apci-design.fr/magazine/categorie/observateur/claytronics-les-objets-programmables.html>
- arch20. (s.d.). *Zaha Hadid Architects Celebrates 10th Anniversary of Hungerburgbahn*. Obtido em 2 de Maio de 2019, de ARCH20: <https://www.arch20.com/zaha-hadid-architects-anniversary-hungerburgbahn/>

- Archi-union. (2010). *J-Office & Silk Wall*. Obtido em 28 de Novembro de 2019, de Archi-union: <http://www.archi-union.com/Homes/Projectshow/index/pageid/4/id/47>
- Argyriades, M. (28 de Abril de 2011). *Metropol Parasol // The World's Largest Wooden Structure*. Obtido em 2 de Maio de 2019, de yatzter: <https://www.yatzter.com/Metropol-Parasol-The-World-s-Largest-Wooden-Structure-J-MAYER-H-Architects>
- asknature.org. (27 de Outubro de 2016). *Fibonacci sequence optimizes packing*. Obtido em 16 de Abril de 2019, de Asknature: <https://asknature.org/strategy/fibonacci-sequence-optimizes-packing/#jp-carousel-6011>
- asknature.org. (1 de Outubro de 2016). *Tubercle Technology blades*. Obtido em 24 de Fevereiro de 2020, de asknature.org: <https://asknature.org/idea/tubercle-technology-blades/#jp-carousel-5599>
- asknature.org. (7 de Fevereiro de 2017). *Mirasol display technology*. Obtido em 16 de Abril de 2019, de Asknature: <https://asknature.org/idea/mirasol-display-technology/>
- asknature.org. (2 de 3 de 2017). *Optimal arrangement of solar array mirrors based on Fibonacci spirals*. Obtido em 24 de 11 de 2019, de asknature.org: <https://asknature.org/idea/concentrated-solar-plant/#.XdppIOj7S01>
- Baldwin, J. (2012). Two Perspectives: Bucky, Geodesics and Biomimicry. (N. Hoeller, T. McKeag, & M. Eggermont, Edits.) *Zygote Quarterly*, 2, 36-47.
- Barros, M. (2015). *Mass customisation in the furniture design industry: The case of Thonet Chair*. Lisboa.
- Bechthold, M. (2010). The return of the future: a second go at robotic construction. (R. Oxman, & R. Oxman, Edits.) *Architectural Design: The New Structuralisms*, 80(4), 116-121.
- Behandish, M., & Ilies, H. T. (2017). Haptic Assembly and Prototyping: An Expository Review. *ArXiv*. Obtido de <https://www.semanticscholar.org/paper/Haptic-Assembly-and-Prototyping%3A-An-Expository-Behandish-Ilies/2df99f9a7ac5b51a528d68d4f918349b48710d4e#references>
- Bencini, R. (s.d.). *Facade of Santa Maria Novella - Leon Battista Alberti*. Obtido em 06 de Novembro de 2020, de art prints on demand: <https://www.art-prints-on-demand.com/a/alberti/facade-of-santa-maria-novella.html>
- Benyus, J. M. (1997). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. William Morrow.
- Bernard, F. (26 de Novembro de 2010). *The DASSAULT SYSTEMES Success Story*. Obtido em 26 de Março de 2020, de isicad.net: [http://isicad.net/articles.php?article\\_num=14120](http://isicad.net/articles.php?article_num=14120)
- Bernard, F. (21 de Novembro de 2018). *DASSAULT SYSTEMES. The French success story in the software industry*. Obtido em 29 de Março de 2020, de isicad.net: [http://isicad.net/articles.php?article\\_num=20184](http://isicad.net/articles.php?article_num=20184)
- Bernett, A. (27 de 10 de 2017). *Biomimicry vs. biophilia: A primer*. Obtido em 28 de 09 de 2018, de Greenbiz: <https://www.greenbiz.com/article/biomimicry-vs-biophilia-primer>
- Bézier curve. (s.d.). *Bézier curve*. Obtido em 1 de Junho de 2019, de wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/B%C3%A9zier\\_curve](https://en.wikipedia.org/wiki/B%C3%A9zier_curve)
- Bhooshan, S. (2016). Upgrading Computational Design. (P. Schumacher, Ed.) *Architectural Design: Parametricism 2.0: Rethinking Architecture's agenda for the 21st century*, 86(2), 44-53.
- Bhooshan, S. (2 de Maio de 2017). Discussing Parametric Design with Shajay Bhooshan of Zaha Hadid Architects. (A. Heiskanen, Entrevistador) Obtido em 25 de Fevereiro de 2020, de aec-business: <https://aec-business.com/discussing-parametric-design-shajay-bhooshan-zaha-hadid-architects/>

- Biometria. (s.d.). *Biometria*. Obtido em 5 de Abril de 2020, de wikipedia:  
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Biometria>
- Biomimetics. (s.d.). *Biomimetics*. Obtido em 21 de Fevereiro de 2020, de Wikipedia:  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Biomimetics>
- biomimicards. (s.d.). *Termite mound*. Obtido em 21 de Fevereiro de 2020, de biomimicards:  
<https://biomimicards.com/biomimicry-air/termite-mound/>
- Biomimicry Institute. (2019). *What is biomimicry?* Obtido em 30 de 03 de 2019, de Biomimicry Institute: <https://biomimicry.org/what-is-biomimicry/>
- Biomorphism. (s.d.). *Biomorphism*. Obtido em 21 de Fevereiro de 2020, de Wikipedia:  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Biomorphism>;
- Biomorphism. (s.d.). *Biomorphism*. Obtido em 23 de 11 de 2019, de wikipedia:  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Biomorphism>
- bioneers.org. (s.d.). Obtido em 24 de Fevereiro de 2020, de Bioneers: <https://bioneers.org/flair-fans-mimicking-nature-to-improve-efficiency/>
- Blobject Chair*. (s.d.). Obtido em 13 de Novembro de 2019, de karimrashid:  
[http://www.karimrashid.com/projects#category\\_1/project\\_903](http://www.karimrashid.com/projects#category_1/project_903)
- Block, I. (22 de Dezembro de 2019). *World's largest 3D-printed building completes in Dubai*. Obtido em 25 de Abril de 2020, de dezeen: <https://www.dezeen.com/2019/12/22/apis-cor-worlds-largest-3d-printed-building-dubai/>
- Bollinger, K., Grohmann, M., & Tessmann, O. (2010). Structured becoming: Evolutionary processes in design engineering. (R. Oxman, & R. Oxman, Edits.) *Architectural Design: The New Structuralisms*, 80(4), 34-39.
- Bonsiepe, G. (1992). *Teoria e prática do design industrial: Elementos para um manual crítico*. Centro Portugues de Design.
- Booij, J. (Realizador). (2011). *Branca, something of how they are made* [Filme]. Obtido em 10 de Junho de 2018, de <https://vimeo.com/43785783>
- Boolean. (s.d.). *Boolean*. Obtido em 26 de Março de 2020, de wikipedia.org:  
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Boolean>
- bouroullec design. (s.d.). *Algue*. Obtido em 12 de Fevereiro de 2020, de bouroullec:  
<http://www.bouroullec.com/?p=82>
- Bozdoc, M. (2003). *The History of CAD*. Obtido de MB Resources and information for professional designers: <http://mbinfo.mbdesign.net/CAD-History.htm>
- Brasor, P., & Tsubuku, M. (30 de Setembro de 2014). *How the Shinkansen bullet train made Tokyo into the monster it is today*. Obtido em 8 de Abril de 2020, de The Guardian:  
<https://www.theguardian.com/cities/2014/sep/30/-sp-shinkansen-bullet-train-tokyo-rail-japan-50-years>
- Brunelli, M. (8 de 14 de 2014). *A Quick History of PTC and PTC Creo*. Obtido em 21 de 11 de 2019, de PTC: <https://www.ptc.com/en/cad-software-blog/a-quick-history-of-ptc-and-ptc-creo>
- Bürdek, B. E. (2005). *Design: The History, Theory and Practice of Product Design*. Birkhäuser.
- Bürdek, B. E. (2015). *Design: history, theory and practice of product design* (2ª ed.). Birkhäuser .
- Burry, M. (2016). Antoni Gaudí and Frei Otto: Essential Precursors to the Parametricism Manifesto. (P. Schumacher, Ed.) *Parametricism 2.0: Rethinking Architecture's agenda for the 21st century*, 86(2), 30-35.

- Button, T. (2016). *Biomimicry: A Source for Architectural Innovation in Existing Buildings*. Rochester Institute of Technology.
- Campbell-Dollaghan, K. (3 de Novembro de 2015). *9 Buildings By Frei Otto, the Architect Who Engineered the Future*. Obtido em 11 de Novembro de 2019, de Gizmodo: <https://gizmodo.com/the-best-of-frei-otto-the-architect-who-engineered-the-1690783540>
- Carmo, M. (2013). (M. Carmo, Ed.) *Architectural Design: The Digital Turn in Architecture 1992-2012*.
- Carmo, M. (2016). Parametric notations - The birth of the non-standard. (P. Schumacher, Ed.) *Architectural Design: Parametricism 2.0 - Rethinking architecture's agenda for the 21st century*, 86(2), 24-29.
- Castle, H. (2016). Editorial. (P. Schumacher, Ed.) *Architectural Design: Parametricism 2.0: Rethinking Architecture's agenda for the 21st century*, 86(2), 5.
- Ceschin, F., & Gaziulusoy, I. (2016). Evolution of design for sustainability: From product design to design for system innovations and transitions. *Design Studies*, 47, pp. 118-163. doi:10.1016/j.destud.2016.09.002
- Chilton, J. (2010). Heinz Isler's infinite spectrum form-finding in design. (R. Oxman, & R. Oxman, Edits.) *Architectural Design: The New Structuralisms*, 80(4), 64-71.
- Chiu, S. K. (Produtor), Paglia, M. (Escritor), & Hassel, J. V. (Realizador). (2016). *Frei Otto: Spanning the Future* [Filme]. Obtido de <http://www.freiottofilm.com/>
- Choi, J., Kwon, O.-C., Jo, W., Lee, H. J., & Moon, M.-W. (2015). 4D Printing technology: A review. *3D Printing and additive manufacturing*, 2(4), pp. 159-167.
- Christie's. (s.d.). Obtido em 21 de Fevereiro de 2020, de Christie's: <https://www.christies.com/lotfinder/Lot/franco-campo-b-1926-carlo-graffi-5936918-details.aspx>
- Claypool, M. (12 de Novembro de 2019). *The Digital in Architecture: Then, Now and in the Future*. Obtido em 20 de Setembro de 2020, de space10: <https://space10.com/project/digital-in-architecture/>
- Comando numérico computadorizado. (s.d.). *Comando numérico computadorizado*. Obtido em 6 de Janeiro de 2019, de wikipedia.org: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Comando\\_num%C3%A9rico\\_computadorizado](https://pt.wikipedia.org/wiki/Comando_num%C3%A9rico_computadorizado)
- Computador analógico. (s.d.). *Computador analógico*. Obtido em 19 de Maio de 2019, de wikipedia: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Computador\\_anal%C3%B3gico](https://pt.wikipedia.org/wiki/Computador_anal%C3%B3gico)
- Computer-aided manufacturing. (s.d.). *Computer-aided manufacturing*. Obtido em 6 de Janeiro de 2019, de wikipedia.org: [https://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided\\_manufacturing](https://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_manufacturing)
- computerscience.gcse.guru. (s.d.). *High and Low Level Languages*. Obtido em 25 de Março de 2020, de computerscience.gcse.guru: <https://www.computerscience.gcse.guru/theory/high-low-level-languages>
- Conditional Jumps. (s.d.). *Conditional Jumps*. Obtido em 6 de Junho de 2019, de c-jump: [http://www.c-jump.com/CIS77/ASM/FlowControl/C77\\_0050\\_conditional\\_jumps.htm](http://www.c-jump.com/CIS77/ASM/FlowControl/C77_0050_conditional_jumps.htm)
- Contemporist. (5 de Fevereiro de 2015). *Vaulted Willow by MARC FORNES / THEVERYMANY*. Obtido em 8 de Março de 2020, de Contemporist: <https://www.contemporist.com/vaulted-willow-by-marc-fornes-theverymany/>
- Core Magazines. (31 de Janeiro de 2019). *Karim Rashid set out to change the world of design and brought home a prized collection*. Obtido em 13 de Novembro de 2019, de Core Magazines: <https://www.coremagazines.com/culture/karim-rashid/>

- Coutinho, M. (26 de Junho de 2014). *Impressora 3D já é vendida em lojas brasileiras, mas com preço salgado*. Obtido em 28 de Novembro de 2019, de Tech Tudo: <https://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2013/08/impressora-3d-ja-e-vendida-em-lojas-brasileiras-mas-com-preco-salgado.html>
- Crouch, T. D. (s.d.). *Wright brothers*. Obtido em 3 de Junho de 2019, de Britannica: <https://www.britannica.com/biography/Wright-brothers#ref8026>
- Cruz, M. T. (2006). O artificial ou a era do "design total". Em M. V. Cabral, J. L. Garcia, & H. M. Jerónimo, *Razão, Tempo e Tecnologia. Estudos em Homenagem a Hermínio Martins*. ICS - Imprensa de Ciências Sociais .
- Crystal Palace. (s.d.). *Crystal Palace*. Obtido em 21 de Fevereiro de 2020, de Encyclopaedia Britannica: <https://www.britannica.com/topic/Crystal-Palace-building-London>
- Daniels, P. (11 de Janeiro de 2020). *The Invention of Velcro*. Obtido em 21 de Fevereiro de 2020, de Thought Co: <https://www.thoughtco.com/the-invention-of-velcro-4066111>
- Dassault Systèmes. (s.d.). *History From Digital Mock-up to 3DEXPERIENCE*. Obtido em 28 de Março de 2020, de Dassault Systèmes: <https://www.3ds.com/about-3ds/history/>
- Davis, D. (2013a). *Modelled on software engineering: Flexible parametric models in the practice of architecture*. School of Architecture and Design, College of Design and Social context, RMIT University.
- Davis, D. (6 de Agosto de 2013b). *A history of parametric*. Obtido em 20 de Janeiro de 2020, de daniel davis: <https://www.danieldavis.com/a-history-of-parametric/>
- design milk. (06 de Setembro de 2017). *Friday Five with Maurizio Manzoni*. (C. Williamson, Editor) Obtido em 06 de Novembro de 2020, de design milk: <https://design-milk.com/friday-five-with-maurizio-manzoni/f5-maurizio-manzoni-3-tuscany/>
- Design to Production. (s.d.). *Centre Pompidou Metz*. Obtido em 23 de Dezembro de 2020, de Design to Production: [http://www.d2p.ch/en/projektdetail/centre\\_pompidou\\_metz/](http://www.d2p.ch/en/projektdetail/centre_pompidou_metz/)
- designboom. (04 de Setembro de 2014). *ross lovegrove creates infinitely stackable diatom chair for moroso*. Obtido em 13 de Novembro de 2019, de designboom: <https://www.designboom.com/design/ross-lovegrove-diatom-chair-moroso-04-09-2014/>
- Detail. (s.d.). *Centre Pompidou-Metz*. Obtido em 2 de Maio de 2019, de Detail: <https://inspiration.detail.de/centre-pompidou-metz-100370.html?lang=de>
- Developable surface. (s.d.). *Developable surface*. Obtido de Wikipédia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Developable\\_surface#:~:text=In%20mathematics%2C%20a%20developable%20surface,bent%20without%20stretching%20or%20compression\).](https://en.wikipedia.org/wiki/Developable_surface#:~:text=In%20mathematics%2C%20a%20developable%20surface,bent%20without%20stretching%20or%20compression).)
- Dezzen. (11 de Abril de 2013). *Serac Bench by Zaha Hadid for Lab23*. (A. Frearson, Editor) Obtido em 17 de Março de 2020, de Dezzen: <https://www.dezzen.com/2013/04/11/serac-bench-by-zaha-hadid-for-lab23/>
- directed graph. (s.d.). *directed\_graph*. Obtido em 1 de Junho de 2019, de mathinsight.org: [https://mathinsight.org/definition/directed\\_graph](https://mathinsight.org/definition/directed_graph).
- divisare. (08 de junho de 2010). *MIRALLES TAGLIABUE EMBT SPANISH PAVILION FOR SHANGHAI WORLD EXPO 2010*. Obtido em 27 de Dezembro de 2019, de divisare: <https://divisare.com/projects/134159-miralles-tagliabue-embt-pedro-pegenaute-spanish-pavilion-for-shanghai-world-expo-2010>
- Dorfles, G. (1978). *O design industrial e a sua estética*. (W. Ramos, Trad.) Lisboa: Editorial Presença.

- Dragicevic, P. (15 de Janeiro de 2015). *1889 – Gaudi's Hanging Chain Models*. Obtido em 7 de Abril de 2019, de data physicalization: <http://dataphys.org/list/gaudis-hanging-chain-models/>
- E Ink. (s.d.). *E Ink*. Obtido em 26 de Abril de 2020, de wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/E\\_Ink](https://en.wikipedia.org/wiki/E_Ink)
- Era da informação. (s.d.). *Era da informação*. Obtido em 7 de Maio de 2020, de Wikipedia: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Era\\_da\\_informa%C3%A7%C3%A3o](https://pt.wikipedia.org/wiki/Era_da_informa%C3%A7%C3%A3o)
- Etherington, R. (19 de Abril de 2010). *Branca by Industrial Facility for Mattiazzi*. Obtido em 3 de Maio de 2019, de dezeen: <https://www.dezeen.com/2010/04/19/branca-by-industrial-facility-for-mattiazzi/>
- Etherington, R. (29 de Março de 2011). *Ossob by Ronan & Erwan Bouroullec for Mattiazzi*. Obtido em 10 de Junho de 2018, de dezeen: <https://www.dezeen.com/2011/03/29/osso-by-ronan-erwan-bouroullec-for-mattiazzi/>
- expositions charpentier. (27 de Abril de 2017). *MUTATIONS-CRÉATIONS / ROSS LOVEGROVE*. Obtido em 29 de Dezembro de 2019, de expositions charpentier: <https://expositionscharpentier.wordpress.com/2017/04/27/mutations-creations-ross-lovegrove/>
- FECYT ciencia. (25 de Maio de 2017). *iSí, es la era del Silicio!" por Concepción Aldea [video]*. Obtido em 07 de Maio de 2020, de YouTube: [https://www.youtube.com/watch?v=l6HABPuk5Es&ab\\_channel=FECYTciencia](https://www.youtube.com/watch?v=l6HABPuk5Es&ab_channel=FECYTciencia)
- feedback. (2003-2021). *feedback*. Obtido em 20 de Janeiro de 2021, de Dicionário infopédia da Língua Portuguesa: <https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/feedback>
- Forbes, P. (2006). *The Gecko's Foot* (2ª ed.). Londres: Harper Perennial.
- Fornes, M. (2016). The Art of the Prototypical. (P. Schumacher, Ed.) *Architectural Design: Parametricism 2.0: Rethinking Architecture's agenda for the 21st century*, 86(2), 60-67.
- Forsey, C. (6 de Julho de 2018). *The Definition of Negative and Positive Feedback Loops in 200 Words or Less*. Obtido em 20 de Janeiro de 2021, de HubSpot: <https://blog.hubspot.com/marketing/feedback-loop#:~:text=A%20feedback%20loop%20is%20a,a%20better%20product%20or%20work%20place>.
- Foster, H. (2002). *Design and Crime (And Other Diatribes)*. Verso.
- Francastel, P. (2000). *Arte e Técnica nos Séculos XIX e XX*. (H. D'Ávila, & A. d. Gusmão, Trans.) Lisboa: Livros do Brasil.
- Frazer, J. (2013). The Architectural Relevance of Cyberspace. (M. Carpo, Ed.) *Architectural Design: The Digital Turn in Architecture 1992–2012*, 49-56.
- Frazer, J. (2016). Parametric Computation: History and Future. (P. Schumacher, Ed.) *Architectural Design: Parametricism 2.0: Rethinking Architecture's agenda for the 21st century*, 86(2), 18-23.
- Fuksas, M. (2016). The Future Is Now? Parametric Design and Technology in Design Process. *Oz*, 38. doi:10.4148/2378-5853.1557
- Gage, M. F. (2016). A Hospice for Parametricism. (P. Schumacher, Ed.) *Architectural Design: Parametricism 2.0: Rethinking Architecture's agenda for the 21st century*, 86(2), 128-133.
- Gáspár, O. (27 de Janeiro de 2020). *Form finding for shells*. BUDAPEST UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND ECONOMICS, Department of Mechanics, Materials and Structures, Budapest. Obtido de [http://www.ipar.bme.hu/uploads/shellsprojekt\\_go\\_1819.pdf](http://www.ipar.bme.hu/uploads/shellsprojekt_go_1819.pdf)

- G-code. (s.d.). *G-code*. Obtido em 6 de Janeiro de 2019, de wikipedia: <https://en.wikipedia.org/wiki/G-code>
- gliffy. (21 de Janeiro de 2020). Obtido de gliffy: <https://www.gliffy.com/diagrams>
- Gonchar, J. (16 de Abril de 2012). *The Afterlife of Drawing*. Obtido em 28 de Dezembro de 2019, de architecturalrecord: <https://www.architecturalrecord.com/articles/6202-the-afterlife-of-drawing>
- Gradiente. (s.d.). *Gradiente*. Obtido em 17 de Novembro de 2020, de wikipedia: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Gradiente>
- Gramazio, F., Kohler, M., & Oesterle, S. (2010). Encoding Material. (R. Oxman, & R. Oxman, Edits.) *Architectural Design: The New Structuralisms*, 80(4), 108-115.
- Grieco, L. (31 de Agosto de 2012). *13th international architecture exhibition: arum by zaha hadid*. Obtido em 27 de Janeiro de 2020, de designboom: <https://www.designboom.com/architecture/13th-international-architecture-exhibition-arum-by-zaha-hadid/>
- Groover, M. P., & Zimmers, E. W. (1984). *CAD/CAM: Computer-Aided Design and Manufacturing*. Pearson, Prentice Hall.
- Guggenheim Bilbao. (s.d.). *ARCHITECTURE EFFECTS*. Obtido em 4 de Fevereiro de 2020, de Guggenheim Bilbao: <https://www.guggenheim-bilbao.eus/en/exhibitions/architecture-effects>
- Guggenheim Bilbao. (s.d.). *THE BUILDING*. Obtido em 4 de Fevereiro de 2020, de Guggenheim Bilbao: <https://www.guggenheim-bilbao.eus/en/the-building/the-construction>
- Gule, N., Begum, N., & Klumperman, B. (3 de Novembro de 2015). Advances in Biofouling Mitigation- A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 46. doi:10.1080/10643389.2015.1114444
- Hahn, J. (30 de Março de 2020). *Hyperganic uses AI to design 3D-printed rocket engine*. Obtido em 15 de Abril de 2020, de dezeen: <https://www.dezeen.com/2020/03/30/hyperganic-ai-rocket-engine-3d-printed/>
- Hamou, N. (26 de Novembro de 2015). *The keyboard and mouse are dead. Long live touch interactions*. Obtido em 7 de Abril de 2019, de Medium: <https://medium.com/autodesk-tlv/the-keyboard-and-mouse-are-dead-long-live-touch-interactions-abob2eb6a2f5>
- Harboun, M. (2010). *Living Kitchen*. Obtido em 14 de Maio de 2020, de Michaël Harboun: <https://michaelharboun.com/livingkitchen.html>
- Harman, J. (2014). *The shark's paintbrush*. White Cloud Press.
- Heidari, A., Sahebzadeh, S., Sadeghfar, M., & Taghvaei, B. (15 de 02 de 2018). PARAMETRIC ARCHITECTURE IN IT'S SECOND PHASE OF EVOLUTION. 9(1). Obtido de [https://www.researchgate.net/publication/318113001\\_PARAMETRIC\\_ARCHITECTURE\\_IN\\_IT'S\\_SECOND\\_PHASE\\_OF\\_EVOLUTION](https://www.researchgate.net/publication/318113001_PARAMETRIC_ARCHITECTURE_IN_IT'S_SECOND_PHASE_OF_EVOLUTION)
- Hensel, M. (2004). Finding Exotic Form: An Evolution of Form Finding as a Design Method. (M. Hensel, A. Menges, & M. Weinstock, Edits.) *Architectural Design: Emergence: Morphogenetic Design Strategies*, 74(3), 27-33.
- Hensel, M., Menges, A., & Weinstock, M. (2004). Emergence in architecture. (M. Hensel, A. Menges, & M. Weinstock, Edits.) *Architectural Design: Emergence: Morphogenetic Design Strategies*, 74(3), 7-10.
- Hensel, M., Menges, A., & Weinstock, M. (2004). Emergence: Morphogenetic Design Strategies. *Architectural Design: Emergence: Morphogenetic Design Strategies*, 74(3), 128.

- Hensel, M., Menges, A., & Weinstock, M. (2004(b)). Frei Otto in conversation with the Emergence and Design Group. (M. Hensel, A. Menges, & M. Weinstock, Edits.) *Architectural Design: Emergence: Morphogenetic Design Strategies*, 74(3), 19-25.
- High- and low-level. (s.d.). *High- and low-level*. Obtido em 25 de Março de 2020, de wikipedia.org: [https://en.wikipedia.org/wiki/High-\\_and\\_low-level/wiki/High-\\_and\\_low-level](https://en.wikipedia.org/wiki/High-_and_low-level/wiki/High-_and_low-level)
- Holismo. (s.d.). *Holismo*. Obtido em 1 de Junho de 2019, de wikipedia: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Holismo>
- holística. (2008-2013). Obtido em 31 de Março de 2019, de priberam dicionario: <https://dicionario.priberam.org/hol%C3%ADstica>
- Holland, C. (8 de Junho de 2019). *At home with Victor Horta, the master of art nouveau*. Obtido em 21 de Fevereiro de 2020, de Apollo Magazine: <https://www.apollo-magazine.com/victor-horta-brussels/>
- Houaiss, A. (2003). *Dicionário Houaiss da língua portuguesa* (Vol. 1). (T. e. Debates, Ed.) Lisboa.
- Hudson, D. (19 de Setembro de 2012). *Aedas: al-bahr towers in abu dhabi*. Obtido em 28 de Dezembro de 2019, de designboom: (<https://www.designboom.com/architecture/aedas-al-bahar-towers/>)
- Hustwit, G. (Realizador). (2009). *Objectified* [Filme]. Obtido de <https://www.documentaryarea.tv/player.php?title=Objectified>
- ideas.ted.com. (13 de Fevereiro de 2015). *A ghost heart?* Obtido em 27 de Abril de 2020, de ideas.ted.com: <https://ideas.ted.com/a-ghost-heart/>
- Inheritance (object-oriented programming). (s.d.). *Inheritance (object-oriented programming)*. Obtido em 12 de Julho de 2020, de Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Inheritance\\_\(object-oriented\\_programming\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Inheritance_(object-oriented_programming))
- iteration. (s.d.). *iteration*. Obtido em 14 de Dezembro de 2020, de In Merriam-Webster.com dictionary: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/iteration>
- Jacques Derrida. (s.d.). *Jacques Derrida*. Obtido em 14 de Setembro de 2020, de wikipedia.org: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Jacques\\_Derrida](https://pt.wikipedia.org/wiki/Jacques_Derrida)
- Jo Angell Design. (s.d.). Obtido em 16 de Abril de 2019, de Flickr: <https://www.flickr.com/photos/joangell/5033654686/in/photostream/>
- Jolles, J. (12 de Dezembro de 2018). *Amazing tree root pattern on city street*. Obtido em 3 de Junho de 2019, de Mudfooted: <http://mudfooted.com/nature/>
- Jouin, P. (2019). *TAMU*. Obtido em 24 de Março de 2021, de Patrick Jouin: <http://www.patrickjouin.com/en/projects/1498-tamu.html>
- jyhem. (12 de Agosto de 2013). Obtido em 27 de Janeiro de 2020, de Flickr: <https://www.flickr.com/photos/jyhem/11514335886>
- karimrashid.com. (s.d.). Obtido em 31 de Março de 2020, de karimrashid: <http://www.karimrashid.com/>
- Kendall, J. (11 de Outubro de 2015). Obtido em 21 de Janeiro de 2020, de Dribbble: <https://dribbble.com/shots/2286298-Recipe-Card>
- Kroto, H. W., & Walton, D. R. (13 de Março de 2019). *Fullerene*. Obtido em 10 de Março de 2021, de britannica: <https://www.britannica.com/science/fullerene>

- Langdon, D. (2014). *AD Classics: Montreal Biosphere / Buckminster Fuller*. Obtido em 3 de Junho de 2019, de Archdaily: <https://www.archdaily.com/572135/ad-classics-montreal-biosphere-buckminster-fuller>
- Layer Design. (2016). *Made-to-Measure*. Obtido em 3 de Maio de 2019, de Layer Design: <https://layerdesign.com/project/go-3/#top-page>
- Lesko, J. (2004). *Design industrial: Materiais e processos de fabricação*. Edgard Blücher.
- Leslie, T. (2013). Carpenter's parametrics: economics, efficiency & form in Nervi's concrete designs. *Journal of the international association for shell and spatial structures*, 54, pp. 107-115.
- Light pen. (s.d.). *Light pen*. Obtido em 1 de Junho de 2019, de wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Light\\_pen](https://en.wikipedia.org/wiki/Light_pen)
- Lindsay, C. (22 de Outubro de 2020). *Biomimicry enables architects to make "positive impact" on the environment says Michael Pawlyn*. Obtido em 15 de Novembro de 2020, de dezeen: <https://www.dezeen.com/2020/10/22/michael-pawlyn-exploration-architecture-dassault-systemes-video/>
- Llabres, E., & Rico, E. (2016). Relational Urban Models: Parameters, Values and Tacit Forms of Algorithms. (P. Schumacher, Ed.) *Architectural Design: Parametricism 2.0: Rethinking Architecture's agenda for the 21st century*, 86(2), 84-91.
- Lorenz, C. (1991). *A dimensão do design*. (M. C. Faria, & M. R. Aranha, Trans.) Centro Portugues De Design.
- Louth, H. D. (20 de Dezembro de 2017). *Lecture: Design Through Making, Design as a Research Practice*. Obtido em 25 de Fevereiro de 2020, de Henry David Louth: [http://www.henrydavidlouth.com/lecture\\_designthroughmaking/](http://www.henrydavidlouth.com/lecture_designthroughmaking/)
- Lovegrove, R. (Fevereiro de 2005). Organic design inspired by nature. Obtido em 10 de Fevereiro de 2020, de [https://www.ted.com/talks/ross\\_lovegrove\\_organic\\_design\\_inspired\\_by\\_nature](https://www.ted.com/talks/ross_lovegrove_organic_design_inspired_by_nature)
- Lovegrove, R. (2016). Super-Natural - Parametricism in product design. (P. Schumacher, Ed.) *Architectural Design: Parametricism 2.0: Rethinking Architecture's agenda for the 21st century*, 86(2), 100-107.
- Lucchi, M. D. (13 de Julho de 2018). *Ross Lovegrove, Corolised Chair*. Obtido em 22 de Fevereiro de 2020, de Domus: <https://www.domusweb.it/en/design/2018/07/13/ross-lovegrove-corolised-chair.html>
- Maldonado, T. (2006). *Design Industrial*. Lisboa: Edições 70.
- Marco, M. (7 de Agosto de 2010). *Biomorfismo*. Obtido em 23 de 11 de 2019, de teknoing: <https://www.teknoing.com/wikitecnica/progettazione-architetonica/biomorfismo/>
- Martínez Calzón, J., & Castañón Jiménez, C. (2010). Weaving Architecture: Structuring the Spanish Pavilion, Expo 2010, Shanghai. (R. Oxman, & R. Oxman, Edits.) *Architectural Design: The New Structuralisms*, 80(4), 52-59.
- Mashambanhaka, F. (28 de Novembro de 2018). *What Is 3D Bioprinting? – Simply Explained*. Obtido em 29 de Novembro de 2020, de All3DP: <https://all3dp.com/2/what-is-3d-bioprinting-simply-explained/#:~:text=Bioprinting%20is%20an%20additive%20manufacturing,layer%2Dby%2Dlayer%20manner.>
- McKeag, T. (2012a). Auspicious Forms: Designing the Sanyo Shinkansen 500-Series Bullet Train. (N. Hoeller, T. McKeag, & M. Eggermont, Edits.) *Zygote Quarterly*, 2, 10-35.

- McKeag, T. (2012b). Return of the Swamp Thing: the Wyss Institute Finds a New Inspiration for a Slicker World. (N. Hoeller, T. McKeag, & M. Eggermont, Edits.) *Zygote Quarterly*, 3, 10-27.
- McKeag, T. (2013a). Requiem for a Butterfly: Mirasol's Market Meltdown. (M. Eggermont, N. Hoeller, & T. McKeag, Edits.) *Zygote Quarterly*, 5, 10-29.
- McKeag, T. (2013b). What a Drag! You Mean Those Bumps Didn't Make Me Swim Faster? (M. Eggermont, N. Hoeller, & T. McKeag, Edits.) *Zygote Quarterly*, 8, 8-25.
- Mediated Matter Group, MIT Media Lab. (s.d.). *Silk Pavilion*. Obtido em 3 de Junho de 2019, de Mediated Matter Group: <https://mediatedmattergroup.com/silk-pavilion>
- Menges, A. (2004). Morpho-Ecologies: Approaching complex environments. (M. Hensel, A. Menges, & M. Weinstock, Edits.) *Architectural Design: Emergence: Morphogenetic Design Strategies*, 74(3), 81-95.
- Menges, A. (2016). Computational Material Culture. (P. Schumacher, Ed.) *Architectural Design: Parametricism 2.0: Rethinking Architecture's agenda for the 21st century*, 86(2), 76-83.
- Metaballs. (s.d.). *Metaballs*. Obtido em 29 de Março de 2020, de wikipedia: <https://en.wikipedia.org/wiki/Metaballs>
- Mhox design. (2014). *generative orthoses*. Obtido em 3 de Março de 2020, de Mhox design: [http://mhoxdesign.com/generative\\_orthoses-en.html](http://mhoxdesign.com/generative_orthoses-en.html)
- MIT Media Lab. (2013). *Anthozoa: Cape & Skirt*. Obtido em 29 de Abril de 2020, de MIT Media Lab: <https://neri.media.mit.edu/projects/details/anthozoa.html>
- MIT Media Lab, Tangible Media Group. (2015). *bioLogic*. Obtido em 8 de Março de 2020, de Tangible Media Group: <https://tangible.media.mit.edu/project/biologic/>
- Montréal - Biosphère. (16 de August de 2017). *Montréal - Biosphère*. Obtido em 3 de Março de 2020, de wikimedia commons: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Montr%C3%A9al\\_-\\_Biosph%C3%A8re\\_20170816-01.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Montr%C3%A9al_-_Biosph%C3%A8re_20170816-01.jpg)
- Morfogénese. (s.d.). *Morfogénese*. Obtido em 28 de Dezembro de 2019, de Priberam Dicionario : <https://www.dicionario.priberam.org/morfogénese>
- Morpho (género). (s.d.). *Morpho (género)*. Obtido em 16 de Abril de 2019, de Wikipedia: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Morpho\\_\(g%C3%A9nero\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Morpho_(g%C3%A9nero))
- Mumford, L. (2001). *Arte e Technica*. Lisboa: Edições 70.
- NBBJ. (s.d.). *A City*. Obtido em 25 de Março de 2020, de NBBJ: <http://www.nbbj.com/work/hangzhou-stadium/>
- Nendo. (Abril de 2008). *diamond chair*. Obtido em 3 de Maio de 2019, de Nendo: <http://www.nendo.jp/en/works/diamond-chair-2/>
- Neri Oxman / Mit Media Lab. (2008-10). *Beast*. Obtido em 24 de Fevereiro de 2020, de Neri Oxman / Mit Media Lab: <https://web.media.mit.edu/~neri/site/projects/beast/beast.html>
- Neri Oxman / MIT Media Lab. (2014). *Gemini*. Obtido em 13 de Janeiro de 2021, de Neri Oxman: <https://neri.media.mit.edu/projects/details/gemini.html>
- Newson, M. (4 de Março de 2008). Marc Newson: Urban Spaceman [video]. *Imagine*. (A. Yentob, Entrevistador) Obtido em 2019 de 11 de 21, de [https://www.youtube.com/watch?v=uoS71sBKESI&feature=emb\\_logo&ab\\_channel=chopstix84](https://www.youtube.com/watch?v=uoS71sBKESI&feature=emb_logo&ab_channel=chopstix84)

- Newson, M. (s.d.). *Carbon fiber chair*. Obtido em 13 de Novembro de 2019, de Marc Newson: <http://marc-newson.com/carbon-fiber-chair>
- Newson, M. (s.d.). *Lockheed Lounge*. Obtido em 13 de Novembro de 2019, de Marc Newson: <http://marc-newson.com/lockheed-lounge>
- Newson, M. (s.d.). *Orgone Chair*. Obtido em 21 de Fevereiro de 2020, de Marc Newson: <http://marc-newson.com/orgone-chair/>
- Noorden, L. T. (28 de 02 de 2015). 3D scanning will be used to create "unique fitted clothing". (B. Hobson, Entrevistador) Dezeen. Obtido em 30 de 07 de 2019, de Dezeen: <https://www.dezeen.com/2015/02/28/movie-3d-scanning-fashion-unique-fitted-clothes-leonie-tenthof-van-noorden/>
- Norman, D. (2013). *The design of everyday things* (Revised ed.). Nova York , Estados Unidos: Basic Books.
- Oeggerli, M. (s.d.). *Butterfly Eggs*. Obtido em 16 de Abril de 2019, de Insteading: <https://insteading.com/blog/butterfly-eggs/>
- O'Reilly, U.-M., Hemberg, M., & Menges, A. (2004). Evolutionary Computation and Artificial Life in Architecture: Exploring the Potential of Generative and Genetic Algorithms as Operative Design Tools. (A. M. Michael Hensel, Ed.) *Architectural Design: Emergence: Morphogenetic Design Strategies*, 74(3), pp. 49-53.
- Ornithoptère. (s.d.). *Ornithoptère*. Obtido em 24 de Fevereiro de 2020, de wikipedia.org: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Ornithoptère>
- Ott, H. C. (18 de Dezembro de 2017). Replacement Parts: Organs on Demand [video]. *Moving Upstream*. (J. Bellini, Entrevistador) Wall Street Journal. Obtido em 31 de Julho de 2019, de <https://www.wsj.com/video/series/moving-upstream/replacement-parts-organs-on-demand-moving-upstream/2ECC7FC8-9670-4C21-AAC7-8098C4173EF7>
- Oxman, N. (2010). Structuring materiality: Design fabrication of heterogeneous materials. (R. Oxman, & R. Oxman, Edits.) *Architectural Design: The New Structuralisms*, 80(4), 78-85.
- Oxman, N. (2015). *Design at the intersection of technology and biology*. Obtido em 02 de 06 de 2019, de TED: [https://www.ted.com/talks/neri\\_oxman\\_design\\_at\\_the\\_intersection\\_of\\_technology\\_and\\_biology#t-214228](https://www.ted.com/talks/neri_oxman_design_at_the_intersection_of_technology_and_biology#t-214228)
- Oxman, R. (2006). Theory and design in the first digital age. *Design studies*, 27(3), pp. 229-265.
- Oxman, R., & Oxman, R. (2010). Introduction. (R. Oxman, & R. Oxman, Edits.) *Architectural Design: The New Structuralisms*, 80(4), 14-23.
- Pantógrafos. (s.d.). *PANTÓGRAFOS*. Obtido em 3 de Abril de 2019, de priberam dicionario: <https://dicionario.priberam.org/PANT%C3%93GRAFOS>
- Patricia Urquiola. (s.d.). *Antibodi*. Obtido em 12 de Fevereiro de 2020, de Patricia Urquiola: <http://www.patriciaurquiola.com/design/antibodi/>
- Pawlyn, M. (2016). *Biomimicry in Architecture* (2ª ed.). RIBA Publishing.
- Periodização da história. (s.d.). *Periodização da história*. Obtido em 07 de Maio de 2020, de Wikipédia: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Periodiza%C3%A7%C3%A3o\\_da\\_hist%C3%B3ria](https://pt.wikipedia.org/wiki/Periodiza%C3%A7%C3%A3o_da_hist%C3%B3ria)
- Phillips, S. (16 de Março de 2010). Parametric Design: A Brief History. *arcCA Digest*, 24-8. Obtido de [https://www.academia.edu/11166705/Parametric\\_Design\\_A\\_Brief\\_History](https://www.academia.edu/11166705/Parametric_Design_A_Brief_History)
- Pottmann, H. (2010). Architectural Geometry as Design Knowledge. (R. Oxman, & R. Oxman, Edits.) *Architectural Design: The New Structuralisms*, 80(4), 72-77.

- Projeto genoma humano. (s.d.). *Projeto genoma humano*. Obtido em 28 de Dezembro de 2019, de Wikipédia: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Projeto\\_Genoma\\_Humano](https://pt.wikipedia.org/wiki/Projeto_Genoma_Humano)
- Publication Office of the European Union. (Janeiro de 2016). *A reforma da UE sobre a protecção de dados e os medadados*. doi:10.2838/402225
- Rashid, K. (s.d.). *Infinity chair*. Obtido em 13 de Novembro de 2019, de karimrashid: [http://www.karimrashid.com/projects#category\\_1/project\\_807](http://www.karimrashid.com/projects#category_1/project_807)
- Recursion. (s.d.). *Recursion*. Obtido em 14 de Dezembro de 2020, de Merriam-Webster dictionary: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/recursion>
- rerap.org. (s.d.). *RepRap*. Obtido em 2 de Novembro de 2020, de rerap: <https://rerap.org/wiki/RepRap>
- researchgate. (2014). *Are Genetic Algorithms GA and Evolutionary Algorithms EA the same or different*. Obtido em 25 de Fevereiro de 2020, de researchgate: ([https://www.researchgate.net/post/Are\\_Genetic\\_Algorithms\\_GA\\_and\\_Evolutionary\\_Algorithms\\_EA\\_the\\_same\\_or\\_different](https://www.researchgate.net/post/Are_Genetic_Algorithms_GA_and_Evolutionary_Algorithms_EA_the_same_or_different))
- Ried, C. (s.d.). Obtido em 21 de Janeiro de 2020, de Unsplash: <https://unsplash.com/photos/ieic5Tq8Ymk>
- Rifkin, J. (2016). *A sociedade do custo marginal zero* (1ª ed.). (S. M. Felício, Trad.) Lisboa: Bertrand Editora.
- Riley, J. (s.d.). *Production: Flow Production Method (GCSE)*. Obtido em 14 de Dezembro de 2020, de tutor2u: <https://www.tutor2u.net/business/reference/production-flow-production-method>
- Robert McNeel & Associates. (2019). Obtido em 01 de 06 de 2019, de <https://www.rhino3d.com/nurbs>
- Ron Arad. (2001). *Not made by hand, not made in China*. Obtido em 10 de Fevereiro de 2020, de Ron Arad: <http://www.ronarad.co.uk/exhibitions/not-made-by-hand-not-made-in-china/>
- Ronan & Erwan Bouroullec. ( 2011). *Oso chair* . Obtido em 10 de Junho de 2019, de Ronan & Erwan Bouroullec Design: <http://www.bouroullec.com>
- Ross Lovegrove. (s.d.). *Colgat 2D*. Obtido em 29 de Dezembro de 2019, de Ross Lovegrove: [https://www.rosslovegrove.com/custom\\_type/1172/?category=limited%20edition%202d](https://www.rosslovegrove.com/custom_type/1172/?category=limited%20edition%202d)
- Ross Lovegrove. (s.d.). *ty nant*. Obtido em 10 de Fevereiro de 2020, de Ross Lovegrove: [http://www.rosslovegrove.com/custom\\_type/ty-nant/?category=product](http://www.rosslovegrove.com/custom_type/ty-nant/?category=product)
- Rouse, M. (Fevereiro de 2020). *Internet of Things - IoT*. Obtido em 2021 de Janeiro de 11, de IoT Agenda: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>
- Royal Academy. (s.d.). *Silver model of Waterloo International Terminal*. Obtido em 22 de Fevereiro de 2020, de Royal Academy: <https://www.royalacademy.org.uk.org.uk/art-artists/work-of-art/silver-model-of-waterloo-international-terminal>
- Rybczynski, W. (11 de Julho de 2013). *Parametric Design: What's Gotten Lost Amid the Algorithms*. Obtido em 14 de Setembro de 2020, de July 11, 2013: [https://www.architectmagazine.com/design/parametric-design-whats-gotten-lost-amid-the-algorithms\\_o](https://www.architectmagazine.com/design/parametric-design-whats-gotten-lost-amid-the-algorithms_o)
- Sato, O. (21 de 03 de 2019). Japanese designer Oki Sato on his playful approach to design [video]. (R. Biedul, Entrevistador) Obtido em 06 de 12 de 2019, de [https://www.youtube.com/watch?v=c3TPbj2\\_Xjg](https://www.youtube.com/watch?v=c3TPbj2_Xjg)
- Scheurer, F. (2010). Materialising Complexity. (R. Oxman, & R. Oxman, Edits.) *Architectural Design: The New Structuralims*, 80(4), 86-93.

- Schumacher, P. (2008). *Parametricism as Style - Parametricist Manifesto*. Obtido em 27 de 11 de 2019, de <https://www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism%20as%20Style.htm>
- Schumacher, P. (2016a). Introdução: Parametricism 2.0: Gearing Up to Impact the Global Built Environment. (P. Schumacher, Ed.) *Architectural Design: Parametricism 2.0: Rethinking Architecture's agenda for the 21st century*, 86(2), 8-17.
- Schumacher, P. (2016b). About the Guest Editor. (P. Schumacher, Ed.) *Architectural Design: Parametricism 2.0: Rethinking Architecture's agenda for the 21st century*, 86(2), 6-7.
- Schumacher, P. (2016c). Hegemonic Parametricism Delivers a Market-Based Urban Order. (P. Schumacher, Ed.) *Architectural Design: Parametricism 2.0: Rethinking Architecture's agenda for the 21st century*, 86(2), 114-123.
- Schumacher, P. (2016d). Advancing social functionality via agent-based parametric semiology. (P. Schumacher, Ed.) *Architectural Design: Parametricism 2.0: Rethinking Architecture's agenda for the 21st century*, 86(2), 108-13.
- Schumacher, P. (2018). *Design as Second Nature*. Obtido em 27 de Dezembro de 2019, de <https://www.patrikschumacher.com/>:  
<https://www.patrikschumacher.com/Texts/Design%20as%20Second%20Nature.html>
- Section of Termite mound. (4 de Janeiro de 2018). *Section of Termite mound*. Obtido em 21 de Fevereiro de 2020, de commons wikimedia:  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Section\\_of\\_Termite\\_mound.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Section_of_Termite_mound.jpg)
- Self-Assembly Lab / MIT. (s.d.). *4D Printing*. Obtido em 28 de Dezembro de 2019, de Self-Assembly Lab: <https://selfassemblylab.mit.edu/4d-printing/>
- Sharklet Technologies, Inc. (s.d.). *What Is Biomimicry?* Obtido em 16 de Abril de 2019, de Sharklet Technologies: <https://www.sharklet.com/our-technology/what-is-biomimicry/>
- Shinya Yoshioka, Osaka University. (s.d.). *Scientific Image - Blue Morpho Butterfly Wing Microribs*. Obtido em 16 de Abril de 2019, de NISE - National Informal STEM Education Network: <https://www.nisenet.org/catalog/scientific-image-blue-morpho-butterfly-wing-microribs>
- Sieveking Verlag. (s.d.). *Ross Lovegrove, Convergence* . Obtido em 22 de Fevereiro de 2020, de Sieveking Verlag: <https://sieveking-verlag.de/produkt/ross-lovegrove/>
- Simon James. (s.d.). *branca chair*. Obtido em 3 de Maio de 2019, de Simon James: <https://simonjames.co.nz/mattiazzi/branca-chair>
- Spears, T. (23 de Maio de 2018). *BMW & MIT self-assembly lab envision car interiors with 3D-printed inflatables*. Obtido em 28 de Dezembro de 2019, de designboom: <https://www.designboom.com/technology/bmw-mit-self-assembly-lab-inflatable-car-interiors-05-23-2018/>
- Spyropoulos, T. (2016). Behavioral Complexity: Constructing frameworks for human-machine ecologies. (P. Schumacher, Ed.) *Architectural Design: Parametricism 2.0: Rethinking Architecture's agenda for the 21st century*, 86(2), 36-43.
- Stouhi, D. (11 de Agosto de 2020). *What is Deconstructivism?* Obtido em 14 de Setembro de 2020, de archdaily: <https://www.archdaily.com/899645/what-is-deconstructivism>
- Stuart-Smith, R. (2016). Behavioural Production: Autonomous Swarm-Constructed Architecture. (P. Schumacher, Ed.) *Architectural Design: Parametricism 2.0: Rethinking Architecture's agenda for the 21st century*, 86(2), 54-59.
- tecnosfera. (s.d.). *technosphere*. Obtido em 12 de Maio de 2020, de lexico.com: <https://www.lexico.com/definition/technosphere>

- Tedeschi, A. (2014). *AAD Algorithms-Aided Design: Parametric Strategies using Grasshopper*. Le Penseur.
- Tedeschi, A. (s.d.). *ILABO – ROSS LOVEGROVE for UNITED NUDE*. Obtido em 25 de Março de 2020, de Arturo Tedeschi: [http://www.arturotedeschi.com/wordpress/?page\\_id=6981](http://www.arturotedeschi.com/wordpress/?page_id=6981)
- The Architecture Foundation. (27 de Fevereiro de 2014). *Designing with Nature: Designing with Parameters – What's Next?* Obtido em 16 de Novembro de 2020, de The Architecture Foundation: <https://www.architecturefoundation.org.uk/programme/2014/exploration-architecture-designing-with-nature/designing-with-parameters-whats-next>
- The Method Case. (13 de Fevereiro de 2017). *Ty Nant water bottle designed by Ross Lovegrove*. Obtido em 10 de Fevereiro de 2020, de The Method Case: <https://www.themethodcase.com/ty-nant-plastic-water-bottle-ross-lovegrove/>
- The Rain Vortex. (s.d.). *The Rain Vortex*. Obtido em 22 de Fevereiro de 2020, de Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/The\\_Rain\\_Vortex](https://en.wikipedia.org/wiki/The_Rain_Vortex)
- Thompson, R. (2007). *Manufacturing Processes for Design Professionals*. Thames & Hudson.
- Tibbits, S., McKnelly, C., Olguin, C., Dikovsky, D., & Hirsch, S. (2014). 4D Printing and universal transformation. *ACADIA 14: Design Agency [Proceedings of the 34th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture]*, pp. 539-548.
- Turner, J. S., & Soar, R. C. (2008). Beyond biomimicry: What termites can tell us about realizing the living building. *1st International Conference on Industrialized, Intelligent Construction*. Loughborough University, Leicester, Reino Unido.
- twentytwentyone. (29 de Novembro de 2012). *The making of a Branca chair*. Obtido em 3 de Maio de 2019, de twentytwentyone: <http://twentytwentyone.com/news/uncategorized/branca-chair#more-333>
- Viati Navone, A. (2012). The Architect Luigi Moretti. From Rationalism to Informalism. *Kwartalnik Architektury i Urbanistyki*, T. 57(2), pp. 3-41. Obtido de <https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BSW1-0099-0001>
- Vincent, J. F. (2009). Biomimetics - a review. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part H Journal of Engineering in Medicine*, 223(8), 919-39. doi:10.1243/09544119JEIM561
- Vincent, J. F. (2014). Biomimetics in architectural design. *Intelligent Buildings International*, pp. 1-12. doi:10.1080/17508975.2014.911716
- Vincent, J. F., Bogatyreva, O. A., & Bogatyrev, N. R. (2006). Biomimetics: its practice and theory. (R. Society, Ed.) *J. R. Soc. Interface*, 3(9), pp. 471-482. doi:10.1098/rsif.2006.0127
- Vitória-régia. (s.d.). *Vitória-régia*. Obtido em 14 de Novembro de 2020, de Wikipédia: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Vit%C3%B3ria-r%C3%A9gia>
- Wahl, D. C. (2006). Bionics Vs. Biomimicry: From Control Of Nature To Sustainable Participation In Nature. (W. I. C.A. Brebbia, Ed.) *Design and Nature III*, 87, pp. 289-298. doi:10.2495/DN060281
- Waters, J. K. (2003). *Blobitecture - Waveform architecture and digital design*. Rockport publishers, inc.
- Weinand, Y., & Hudert, M. (2010). Timberfabric: applying textile principles on a building scale. *Architectural Design: The New Structuralisms*, 80(4), 102-107.
- Weinstock, M. (2004). Morphogenesis and the mathematics of emergence. (M. Hensel, A. Menges, & M. Weinstock, Edits.) *Architectural Design: Emergence: Morphogenic design strategies*, 74(3), 11-17.

- Weisberg, D. E. (2008). *The Engineering Design Revolution: The People, Companies and Computer Systems That Changed Forever the Practice of Engineering*. Obtido em 14 de Março de 2021, de <http://cadhistory.net/>
- Weiss, S. I., & Amir, A. R. (5 de Novembro de 2020). *Boeing Company*. Obtido em 14 de Março de 2021, de Encyclopedia Britannica: <https://www.britannica.com/topic/Boeing-Company>
- Wembley Innovation. (s.d.). *Waterloo Station Upgrade*. Obtido em 22 de Fevereiro de 2020, de Wembley Innovation: <https://www.wembleyinnovation.co.uk/project/waterloo-station-upgrade/>
- Weston, R. (27 de Janeiro de 2012). *A different approach to learning from nature*. Obtido em 3 de Junho de 2019, de Architectural Review: <https://www.architectural-review.com/essays/reviews/a-different-approach-to-learning-from-nature/8625697.article>
- Whitehead, H. (2010). Prefácio. Em R. Woodbury, *Elements of parametric design* (p. 1). Routledge.
- Wikiarquitectura. (s.d.). *Guggenheim Bilbao*. Obtido em 4 de Fevereiro de 2020, de Wikiarquitectura: <https://pt.wikiarquitectura.com/constru%C3%A7%C3%A3o/guggenheim-bilbao/#>
- Wikibooks. (24 de Março de 2020). *Programar em C++/Estruturas de repetição*. Obtido de Wikibooks: [https://pt.wikibooks.org/wiki/Programar\\_em\\_C%2B%2B/Estruturas\\_de\\_repeti%C3%A7%C3%A3o](https://pt.wikibooks.org/wiki/Programar_em_C%2B%2B/Estruturas_de_repeti%C3%A7%C3%A3o)
- Woodbury, R. (2010). *Elements of parametric design*. Routledge.
- Wyss Institute. (s.d.). *4D Printing of Shapeshifting Devices*. Obtido em 29 de Novembro de 2020, de Wyss Institute: <https://wyss.harvard.edu/technology/4d-printing/>
- Young and Brilliant. (s.d.). Obtido em 29 de Março de 2020, de Young and brilliant: <https://youngandbrilliant.net/post/106481277>
- Yuan, P. (2016). Parametric Regionalism. (P. Schumacher, Ed.) *Architectural Design: Parametricism 2.0: Rethinking Architecture's agenda for the 21st century*, 86(2), 92-99.
- Zaha Hadid Architects. (s.d.). *Abu Dhabi Performing Arts Centre*. Obtido em 03 de Novembro de 2020, de Zaha Hadid Architects: <https://www.zaha-hadid.com/architecture/abu-dhabi-performing-arts-centre/>
- ZHA-code-education. (6 de Agosto de 2017). Obtido em 25 de Fevereiro de 2020, de ZHA-code-education: <https://www.facebook.com/zhcode/photos/a.137449219727705/871548129651140/?type=3&theater>
- zorrobot.de. (s.d.). Obtido em 21 de Fevereiro de 2020, de zorrobot: <https://www.zorrobot.de/fr/assises/eero-saarinen-chair-tulip-chairs-knoll-international?img=eero-saarinen-chair-tulip-chair-knoll-international-4.jpg>

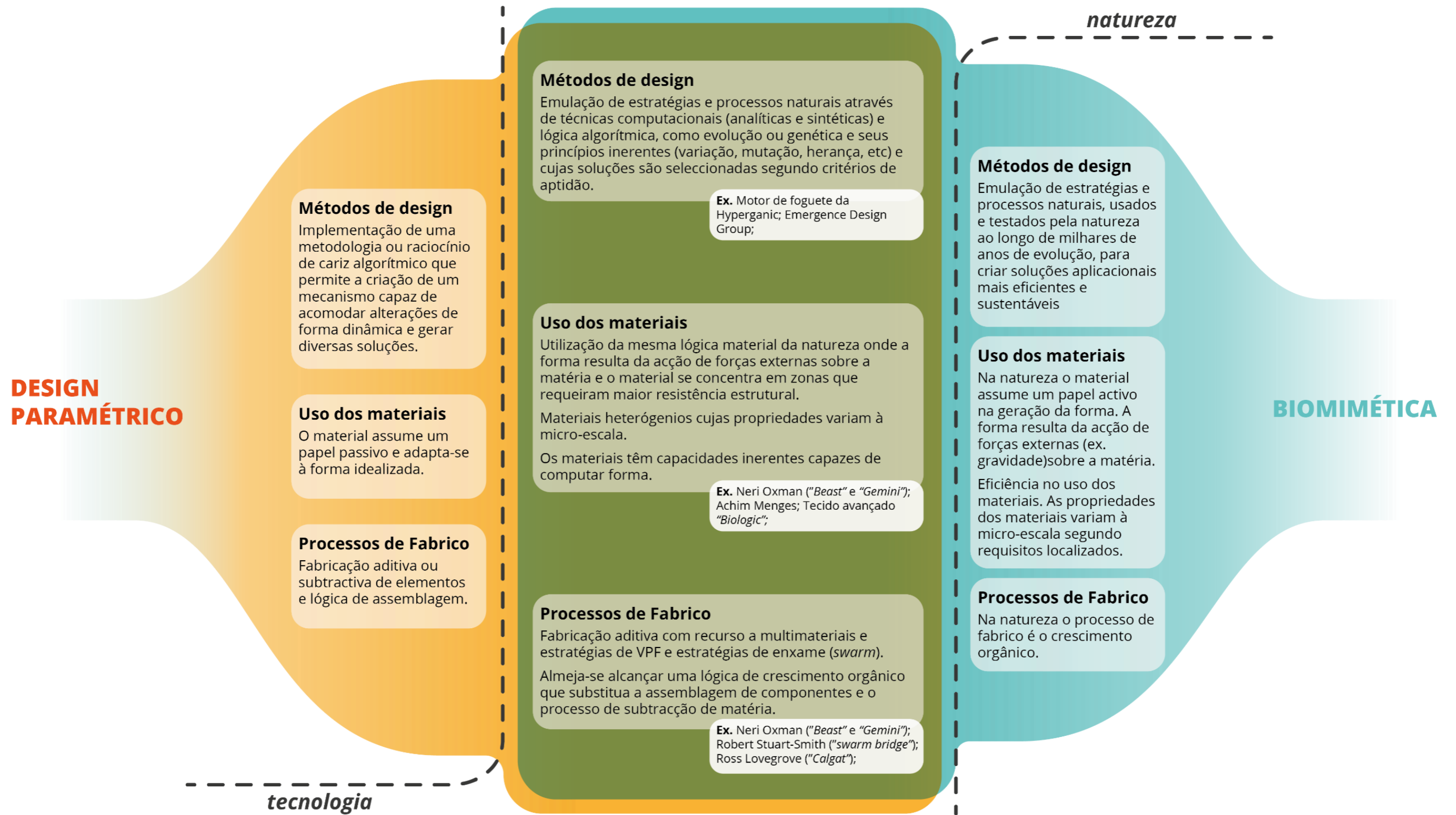


## **Apêndice**



**Apêndice 1.**








Figura 2.24 – Intersecção ou convergência entre design paramétrico e biomimética no contexto dos projectos de investigação apresentados focando os seus métodos, uso de materiais e processos de fabrico.





**Apêndice 2.**

Tabela 3.1 – Diferentes formas de implementação de estratégias paramétricas ao longo da história e a influência da tecnologia na criação de objectos paramétricos, suas propriedades e capacidades.

Abordagem	Parametrismo analógico			Parametrismo digital			
	REGRAS, RÁCIOS E MÓDULOS	ESTRATÉGIAS EMPÍRICAS DE FORM-FINDING	CONSCIÊNCIA E INTENÇÃO	EXPLORAÇÃO DO SOFTWARE	MODELOS DIGITAIS FLEXÍVEIS	INSTRUMENTALIZAÇÃO DE DADOS ANALÍTICOS	IMPRESSÃO 4D
<b>Descrição</b>	Implementação de um mecanismo lógico baseado em regras permitindo criar composições cujas proporções são interdependentes e possibilitando assim derivar variações geométricas e composicionais a partir da mesma ferramenta algorítmica pela modificação dos parâmetros usados para definir o modelo	Recurso a modelos suspensos e estratégias de <i>form-finding</i> instrumentalizando a força da gravidade e da capacidade de auto-organização dos materiais enquanto forças ou parâmetros geradores de forma	Aplicação de parâmetros especificamente definidos (como a quantidade de betão ou ângulos de visão) para condicionar e estabelecer o resultado das estruturas projectadas	Exploração para fins criativos de novos recursos disponibilizados pelo software para gerar forma com recurso por exemplo a forças virtuais	Recurso a mecanismos algorítmicos digitais nos quais os diversos parâmetros que definem o modelo estão declarados explicitamente mantendo uma relação de dependência entre si permitindo alterar a geometria do modelo digital dinamicamente, produzindo diferentes soluções formais	Recurso a software de análise (CAE) permitindo instrumentalizar dados performativos usados para fins de optimização estrutural em estratégias de feedback-loop e evolutivas	Programação de comportamentos almejados nos produtos através de um controlo meticuloso da deposição dos materiais ou da combinação de materiais com propriedades distintas através de estratégias com VPF
<b>Exemplos de autores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Leon Battista Alberti;</li> <li>Vitrúvius;</li> <li>Pier Luigi Nervi;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gaudí;</li> <li>Frei Otto;</li> <li>Heinz Isler;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Luigi Moretti;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Greg Lynn;</li> <li>Karim Rashid;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Frank Gehry;</li> <li>Nicholas Grimshaw;</li> </ul>		
<b>Exemplos de artefactos</b>	Arquitetura clássica 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sagrada família (Gaudí);</li> <li>Pavilhão da Sicília (Isler);</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stadium N (Moretti)</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Embryological House</i> (Lynn);</li> <li>Cadeira "Blobject" (Rashid);</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cadeira de rodas "Go" (Layer);</li> <li>Terminal internacional de Waterloo (Grimshaw)</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Protótipo para motor de foguete da Hyperganic;</li> <li>Cadeira criada pelo ZHA, Stratasys e Altair</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Liquid printed pneumatics</i>" (BMW e MIT)</li> <li>Estruturas auto-assembláveis (Self-Assembly Lab)</li> </ul> 
<b>Propriedades estruturais paramétricas</b>		Resultantes da auto-organização dos materiais sobre a força da gravidade				Resultantes de uma utilização e controlo estratégico dos materiais com base em dados performativos	Resultantes de uma utilização e controlo estratégico dos materiais para programar comportamentos almejados
<b>Comportamentos dinâmicos paramétricos</b>							Em resposta a estímulos previamente programados como pressão ou humidade

 Não / Não se aplica

