U.PORTO

MESTRE

DESIGN IDUSTRIAL

Impressão Tridimensional Oportunidades no Design Industrial

Marta Joana Barros

M

2014

O JÚRI

PRESIDENTE

Doutor Rui Jorge Leal Ferreira Mendonça da Fonseca

PROFESSOR AUXILIAR DA FACULDADE DE BELAS ARTES DA UNIVERSIDADE DO PORTO

ORIENTADOR

Doutor Fernando Jorge Lino Alves

PROFESSOR ASSOCIADO DA FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

ARGUENTE

Doutor Filipe José Palhares Chaves

PROFESSOR AUXILIAR DA FACULDADE DE ENGENHARIA E TECNOLOGIAS DA UNIVERSIDADE LUSÍADA

16

12.11.2014

U.PORTO
FACULDADE DE BELAS ARTES
UNIVERSIDADE DO PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Impressão Tridimensional
Oportunidades no Design Industrial

Tese submetida à Faculdade de Engenharia e Faculdade
de Belas Artes da Universidade do Porto para a obtenção
do Grau Mestre em Design Industrial e Produto

Autor: **Marta Joana Barros**
Tema: **Impressão Tridimensional,**
Oportunidades no Design Industrial
Orientador: **Professor Doutor Fernando Jorge Lino**
Porto, setembro de 2014

"Ninguém escapa ao sonho de voar, de ultrapassar os limites do espaço onde nasceu, de ver novos lugares e novas gentes.
Mas saber ver em cada coisa, em cada pessoa, aquele algo que a define como especial, um objecto singular, um amigo – é fundamental.
Navegar é preciso, reconhecer o valor das coisas e das pessoas, é mais preciso ainda."

Antoine de Saint-Exupéry in O Principezinho

Agradecimentos

No final desta fase é com grande alegria, satisfação e alívio que agradeço a todas as pessoas que contribuíram para a realização desta dissertação.

Ao Professor Doutor Jorge Lino Alves, pela orientação, disponibilidade, apoio nos pareceres emitidos e nos esclarecimentos efetuados com base nos notáveis conhecimentos que detém nesta área e pelo conhecimento que me transmitiu ao longo desta jornada na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Agradeço também toda a exigência e rigor que concretizou a sua orientação, permitindo assim elevar a qualidade final desta dissertação.

Agradeço ao meus colegas e amigos de mestrado, João Carvalho, Margarida Caldas e Sílvia Figueiredo, pelo apoio e companheirismo prestado ao longo deste nosso percurso.

Às minhas amigas Ana, Diva, Isabel, Marta, Matilde, Raquel e Renata por todo o apoio, motivação e compreensão que deram, principalmente na reta final.

À minha família, em especial à minha madrinha e aos meus avós por compreenderem as minhas ausências e por estarem sempre disponíveis para me ajudar no possível e impossível.

Por último, e tendo consciência de que sem eles não estaria a submeter-me a uma das etapas mais exigentes do meu quarto de século, dedico esta dissertação aos meus pais, à minha tia Beatriz e ao meu namorado. Sem eles não seria metade do ser em que me tornei, e por eles acordo todos os dias com o desejo de me superar e me tornar uma melhor pessoa quer a nível pessoal, quer a nível profissional. Obrigada por estarem incondicionalmente presentes na minha vida.

Em memória de

Maria do Rosário Vaz Saleiro e Silva

Resumo

O fabrico aditivo tem merecido especial atenção e os muitos estudos existentes consideram-no como uma tecnologia do futuro, graças ao seu enorme potencial que, no campo da medicina, da aeronáutica, do design industrial e da indústria automóvel terá muito para dar.

A pouca divulgação respeitante à impressão tridimensional na área alimentar e os problemas ligados à incompatibilidade de materiais, faz com que esta área do fabrico aditivo esteja num período que requer maior implementação e exploração das suas potencialidades.

Para isso impõe-se ultrapassar várias etapas, partindo do estudo de vários materiais, com características e condicionalismos especiais até à criação de um modelo comestível.

Há a necessidade de optar pelo processo de impressão tridimensional que melhor se ajuste aos materiais a utilizar, considerando a finalidade dos mesmos.

Nesta dissertação é apresentado um estudo sobre a aplicação da pasta de açúcar à impressão tridimensional. Nesse sentido, realizaram-se diferentes testes para perceber o comportamento deste material durante a impressão manual, com o objetivo de se tirarem conclusões para a criação de uma impressora destinada apenas à impressão de pasta de açúcar.

Na área alimentar persistem algumas características particulares, merecedoras de atenção no tocante ao controlo dos valores nutricionais, ao rigor dimensional e à aplicação de cores e texturas. Encarados todos estes fatores, a tecnologia resultante oferecerá uma redução de tempo durante a intervenção manual do utilizador, sobretudo na decoração de bolos (Cake Design) otimizando, assim, a produção e introduzindo significativas inovações a nível estético.

Palavras-Chave: Fabrico aditivo, Impressão tridimensional, Área alimentar, pasta de açúcar

Abstract

Additive manufacturing has received special attention over the years, and many existing studies consider it as a future technology, thanks to its huge potential in the fileds of medicine, aeronautics, automotive industry and industrial design, which are yet to show what they can give.

The low divulgation of 3D printing applied to food, and the problems connected to materials incompatibility, put this additive manufacturing area in a period that requires a larger implementation and exploration of its capabilities.

The process of overcoming such limitations imposes several steps, strating from the study of various materials, with special characteristics and constraints, to the creation of an edible model.

There is the need to opt for the 3D printing process that best coordinates with materials to use, while considering the purpose of the materials.

In this dissertation, the author presents a study about the applications of sugar paste to 3D printing. In this way, a set of different tests was performed in order to understand the behaviour of this material during manual printing, aiming to provide conclusions to be used in the development of a 3D printer destined only to sugar paste printing.

In the food area, there are still some special characteristics worthy of attention as to control the nutritional value, the dimensional accuracy and the application of colors and textures. Facing all these factors, the resulting technology will provide a reduction of time during manual user intervention, especially in decorating cakes (Cake Design), thus optimizing the production and introducing significant innovations on the aesthetic level.

Keywords: Additive manufacturing, 3D printing, food area, sugar paste

Índice

	Pág.
Agradecimentos	v
Resumo	ix
Abstract	xi
Índice	xiii
Lista de figuras	xv
Lista de gráficos	xxiii
Lista de Tabelas	xxiii
Acrónimos	xxv
Glossário	xxvii
Objetivos da tese	1
1. Introdução	3
2. Fabrico aditivo	7
2.1 Contextualização histórica	9
2.2 Relação entre o design industrial e o fabrico aditivo	20
3. Impressão tridimensional	31
3.1 Impressão 3D de pós aglutinantes	34
3.2 Impressão 3D de filamentos poliméricos	36
3.2.1 Materiais	42
3.3 Aplicação de impressão tridimensional no design industrial	45
3.3.1 Centro de Arte Contemporânea Z33	46
3.3.2 MGX	49
3.3.3 Ashuach Assa	51
3.3.4 Michael Éden	54
3.3.5 Emerging Objects	56
3.3.6 Dirk Vander Kooij	61

3.4 Oportunidades 68

3.4.1 Casos de Estudo 70

3.5 Conclusão 73

4. Impressão tridimensional na área alimentar 75

4.1 Protótipos formais alimentares 85

4.2 Exemplos de aplicação de impressão 3D na área alimentar 87

4.2.1 ChefJet 89

4.2.2 Foodini 91

4.2.3 Insects au gratin 94

4.2.4 Choc Creator V1 97

4.2.5 RichRap 100

4.3 Observações 102

5. Componente prática 105

5.1 Metodologia 106

5.2 Resultados experimentais 108

5.2.1 Testes de temperatura 109

5.2.2 Testes de sustentabilidade 114

5.2.3 Testes de forma 117

5.3 Análise de resultados 125

6. Conclusão 133

7. Propostas futuras 137

Referências bibliográficas 139

Bibliografia 143

Webgrafia 145

Referências de figuras 147

Anexos 155

Lista de figuras

Pág.

2. Fabrico Aditivo

2.1 Chuck Hull com a primeira peça criada por fabrico aditivo 7

2.2 Processo de transformação de um modelo virtual em um modelo físico 11

2.3 Patente do método de Blater, 1880 11

2.4 Patente do método de Matsubara de camadas de resina 1972 12

2.5 Patente do método de Ciraud 1972 12

2.6 Patente do método de Hebert 1982 13

2.7 Protótipo de uma torneira realizado por técnicas de fabrico aditivo 16

2.8 Implantes dentários impressos tridimensionalmente 16

2.9 Maquete de arquitetura à escala impressa tridimensionalmente 16

2.10 Filabot máquina que transforma peças impressas em filamentos 17

2.11 Impressora Cube em funcionamento 19

2.12 Produção industrial em grande escala 20

2.13 Apresentação do produto e seu desenvolvimento 21

2.14 Pauzinhos chineses (objeto comum na alimentação oriental) 22

2.15 Talheres (objeto comum na alimentação ocidental 22

2.16 Primeiros protótipos formais já com grande rigor dimensional Peça obtida pelo processo LOM 23

2.17 Concept de um leitor de MP3 criado pelo designer Nuno Teixeira 23

2.18 Objetos impressos tridimensionalmente para venda 24

2.19 Pequena produção de objetos impressos tridimensionalmente 25

2.20 Senhor Pequito na sua roda 26

2.21 Dona Joaquina a pedrar o barro 26

2.22 Exemplo de uma impressora doméstica RepRap 26

2.23 Objetos de design excelente ou invisível 27

2.24 Exemplo de funcionamento da base de dados do GrabCad 27

2.25 Objeto de culto Juicer, criado por Philippe Starck 29

2.26 Espremedor de citrinos impresso tridimensionalmente focado na função 29

2.27 Exemplo de uma peça (esquilo) impresso em vários materiais (barro, aglomerado de madeira, nylon, PET, etc.) 30

3. Impressão tridimensional

3.1 Primeira impressora tridimensional 31

3.2 Object Impressora de grande qualidade atualmente no mercado 31

3.3 Peças impressas tridimensionalmente prontas para consumo ou venda 32

3.4 Alusão aos objetos prontos para consumo após a impressão 33

3.5 Objeto impresso tridimensional mente por pós aglutinantes 34

3.6 Esquema do método de impressão de pós aglutinantes 35

3.7 Objeto a ser impresso por extrusão filamenta 36

3.8 Método de impressão por extrusão filamentar 37

3.9 Objeto com efeito escada pronunciado 38

3.10 Peça impressa com diferentes espessuras das camadas 38

3.11 Peça com deformação 39

3.12 Cabeça extrusora com ventoinha 39

3.13 | 3.14 Exemplos de suportes na impressão tridimensional 40

3.15 Remoção de suportes quebráveis 41

3.16 Diferença entre um objeto com e som suporte 41

3.17 Conjunto de Legos 42

3.18 Pequena produção de peças em ABS impressas 43

3.19 Molde dentário impresso em ABS-i 43

3.20 Mobiliário urbano em PLA 44

3.21 Gama de cores disponíveis para impressão em PLA 44

3.22 Peças desenvolvidas no Centro de Arte Z33 46

3.23 Mostra 1% Água 47

3.24 Instalação "A máquina" 47

3.25 Utilizador a interagir com a aplicação "Eletronique L'artisan" 47
3.26 Peças desenvolvidas na exposição 47
3.27 Impressora tridimensional de pasta cerâmica desenvolvida pelo Centro de Arte Z33 47
3.28 Detalhe da cabeça de impressão 48
3.29 Banco One_Shot criado por Patrick Join 49
3.30 Candeeiro Damned de Luc Merix 50
3.31 Detalhe do candeeiro 50
3.32 Candeeiro Lily vencedor de um Red Dot Design Award 2005, desenhado por Janne Kyttanen 50
3.33 Bon Bon Lignt Candeeiro 51
3.34 Candeeiro OMI desenvolvido para a MGX 52
3.35 Exposição realizada no Tank Museum em Londres 52
3.36 Cadeira Osteon 53
3.37 Candeeiro ,AI 53
3.38 PrtInd Vase 54
3.39 The wedgwoodnt Tureen 54
3.40 The Maelstrom VI 54
3.41 A Rebours 55
3.42 The Vinculum 55
3.43 The Memosyne 55
3.44 Instalação SatYgloo 56
3.45 Pormenor interior do SaltYgloo 56
3.46 Exemplo de impressão com cimento polimerizado 57
3.47 Exemplo de impressão com madeira 57
3.48 Exemplo de impressão chocolate 57
3.49 Exemplo de impressão com restos de papel 58
3.50 Aparador Soap Cabinet 59
3.51 Detalhe do Soap Cabinet 59
3.52 Satellite Lignt 60
3.53 Linha Flow, cadeira 60
3.54 Linha Flow, mesa 60

3.55 Rocking Chair, in MoMa 60

3.56 Chubby Chair in London Design Museum 60

3.57 Aparelho clear aligner 61

3.58 Prótese de membro inferior, projeto concetual 62

3.59 Impressão de um rim de rato com material biológico 62

3.60 Biquíni funcional impresso tridimensionalmente 63

3.61 Vestido tecnológico, desenvolvido através da tecnologia de SLS pela estilista Fátima Lopes 63

3.62 Vestido impresso tridimensional mente utilizado pela artista Dita Von Teese 64

3.63 Vestido da coleção de 2014 de Catherine Wales 64

3.64 Imagem das nano treliças cerâmicas 65

3.65 Impressão de um par de sapatilhas com várias cores 66

3.66 Amostra de cores disponíveis para impressão 66

3.67 Óculos impressos na Connex 3 66

3.68 Capacete impresso na Connex 3 66

3.69 Demonstração da transformação dos materiais inteligentes 67

3.70 Fotometria e impressão tridimensional à escala 67

3.71 Bolo decorado com escultura de açúcar impresso tridimensionalmente 68

3.72 Cornucópia e suas diferentes aplicações 68

3.73 Impressora Prusa i3 70

3.74 Alterações realizadas na impressora para melhorar o seu desempenho 70

3.75 | 3.76 Projeto da impressora desenvolvida por Ricardo Greenfield e Francisco Teixeira 71

3.77 Processo de digitalização 71

3.78 Helton com a sua miniatura 71

3.79 Impressora open source desenvolvida pela Hello3DPrinting World 72

3.80 "Artesanato tecnológico" peças desenvolvidas na Pip Eco Spot Braga 72

4. Impressão tridimensional na área alimentar

4.1 Exemplo de bolos decorados (cake design) 75

4.2 Exposição de escultura de manteiga 76

4.3 Biscoitos impressos tridimensionalmente 76

4.4 Dinossauros de espinafres impressos numa impressora tridimensional alimentar 78

4.5 Escultura de açúcar impressa tridimensionalmente 80

4.6 Cornucópia impressora desenvolvida por Marcelo Coelho ainda em fase experimental 82

4.7 Funcionamento da técnica de FLM 82

4.8 Esquema de funcionamento da aplicação de fusão controlada 84

4.9 Esquema de funcionamento da aplicação de deposição controlada – FLM 84

4.10 Esquema de funcionamento da aplicação de corte controlado por laminação 84

4.11 Exemplo de reaproveitamento de cubos de açúcar 85

4.12 Auxílio de suporte comestível na construção de uma esfera em nylon 86

4.13 Moldes de PLA obtidos através da impressão tridimensional, para produção de moldes de bombons 86

4.14 Escultura de açúcar criadas na ChefJet 88

4.15 Impressora ChefJet 89

4.16 Impressora ChefJet Pro 89

4.17 Escultura de açúcar obtida na ChefJet Pro 89

4.18 Mostruário cubos de açúcar com o logótipo da 3D Systems 90

4.19 Impressora Foodini 91

4.20 Foodini em funcionamento 92

4.21 Alimentos obtidos na Foodini 92

4.22 Reservatório das pastas 92

4.23 | 4.24 Apresentação de diferentes pratos criados na Foodini 93

4.25 Vários tipos de esculturas de chocolate criadas na Foodini 93

4.26 Evolução da apresentação da comida derivada de insetos pela projeto Ento 94

4.27 Impressora RepRap desenvolvida na LSBU com o objetivo de imprimir pastas de insetos 95
4.28 Escultura de pasta de insetos 95
4.29 Imagem explicativa do projeto Insects au gratin 96
4.30 Impressora Choc Creator V1 97
4.31 Choc Creator V1 em funcionamento 97
4.32 Bombom impresso na Choc Creator V1 98
4.33 Choc Creator V1 em funcionamento 98
4.34 Choc Creator V1 a extrudir material numa base especial (prato) 98
4.35 Pormenor da extrusora de pastas desenvolvido por Richard 101
4.36 Componentes da extrusora 101
4.37 Pormenor da cabeça de saída de material 101
4.38 Boneco de neve em pasta de açúcar impresso na RichRap 101
4.39 Pormenor do boneco de neve 101
4.40 Extrusora com boca de saída cilíndrica 103
4.41 Extrusora com boca de saída cónica 103
4.42 Diferentes tipos de extrusoras para diferentes tipos de pastas 103
4.43 Exemplo de uma extrusora com boca de saída cónica 104
4.44 Exemplo de uma extrusora com boca de saída cilíndrica 104

5. **Componente prática**

5.1 | 5.2 Diferença entre um Hambúrguer no pão impresso tridimensionalmente e um hambúrguer no pão 105
5.3 Diagrama dos testes práticos realizados com pasta de açúcar 107
5.4 Materiais utilizados nos testes 108
5.5 Imagens dos testes a uma temperatura de extrusão de 42 °C 110
5.6 Imagens dos testes a uma temperatura de extrusão de 47 °C 110
5.7 Imagens dos testes a uma temperatura de extrusão de 52 °C 111
5.8 Imagens dos testes a uma temperatura de extrusão de 57 °C 111
5.9 Imagem dos testes a uma temperatura de extrusão de 62 °C 111
5.10 Pasta de açúcar após ter atingido o ponto de caramelo e ser exposta à temperatura ambiente 112

5.11 Pasta de açúcar extrudida a 62 °C. Verificou-se o aparecimento de bolhas de ar, e todas os testes cederam com o peso 113
5.12 Resultados da impressão à temperatura de 52 °C (superior) e 57 °C (inferior) 113
5.13 Impressão de pasta de açúcar a 55°C com diferentes espessuras 115
5.14 Impressão de pasta de açúcar a 60°C com diferentes espessuras 115
5.15 Resultados da impressão à temperatura de 55°C (superior) e 60°C (inferior) 116
5.16 Resultados da impressão à temperatura de 55°C (esquerda) e 60°C (direita) com espessura de parede constante 116
5.17 | 5.18 Desenho tridimensional do prisma com base de estrela pentagonal 117
5.19 Vértices pouco acentuados 118
5.20 Vazios existentes na área de impressão 118
5.21 Arestas verticais não perpendiculares às arestas da base 118
5.22 | 5.23 Desenho tridimensional do prisma com base de estrela pentagonal 118
5.24 Retração de material 119
5.25 Espessura pouco controlada 119
5.26 Contração de material nos ângulos convexos 119
5.27 Imagem do prisma 120
5.28 | 5.29 Desenho tridimensional do prisma com base de estrela pentagonal e topo de prisma pentagonal 120
5.30 Imagem do prisma depois de impresso 121
5.31 Pormenor da homogeneização das camadas provocando indefinição formal 121
5.32 | 5.33 Verificação da existência de uma face suspensa 122
5.34 | 5.35 Desenho tridimensional do paralelepípedo oco com uma das faces inclinadas 45° 122
5.36 Face inclinada do prisma 123
5.37 Pormenor da impressão 123
5.38 Forma final do prisma 123

5.39 Contração do material devido ao peso da face inclinada 124

5.40 | 5.41 Experiencias de impressão 124

5.42 Impressora tridimensional de extrusão cerâmica 128

5.43 Arquitetura possível de uma futura impressora tridimensional de extrusão filamentar de pasta de açúcar 129

5.44 Desenho de uma extrusora com a boca de saída de material cilíndrica 130

5.45 Esquema de desenho de uma extrusora com a boca de saída cónica 130

5.46 Esquema de funcionamento da peça de encaixe na seringa para saída de material de uma boca cilíndrica com diâmetro menor que 2,1mm 131

5.47 Esquema de funcionamento da peça de encaixe na seringa para saída de material de uma boca cónica com diâmetro menor que 2,1mm 131

Lista de Gráficos

Pág.

Gráfico 2.1 Evolução do fabrico aditivo nos últimos 10 anos; in wholeres report 2013 — 15

Gráfico 2.2 Finalidade dos objetos criados tridimensionalmente; in wholeres report 2013 — 18

Lista de Tabelas

Pág.

Tabela 2.1 Tabela das listas da patentes relacionadas com o fabrico aditivo entre 1979 e 1992; http://www.wtec.org/loyola/rp/t03_01.gif — 13

Acrónimos

3DP – impressão tridimensional

ABS – Acrilonitrilo butadieno estireno

ASTM – American Society for Testing and Materials; Sociedade Americana para Materiais e Testes

CAD – desenho assistido por computador

CAM - Maquinagem assistida por computador

CNC – Controlo Numérico Computorizado

FA - Fabrico Aditivo

FDM – Deposição controlada de material

FLM - Deposição de material alimentar

LOM – Laminação de Objetos

PLA – Ácido poliláctico

SLA – Estereolitografia

SLS – Sinterização seletiva a laser

STL – Standard Tessellation Language

Glossário

CAD (Desenho assistido por computador, Computer-aided design)

Permite a modelação de peças tal qual elas são, ou seja, a três dimensões, e ainda a sua montagem para formar conjuntos funcionais, permitindo além de uma visualização mais real e intuitiva, a verificação de movimentos relativos a cálculo de interferência de volumes. *Protoclick*

CAM (Maquinagem assistida por computador, Computer-aided manufacturing)

Este sistema é integrado no sistema básico de modelação e permite, utilizando as formas geradas através de desenho assistido por computador, criar programas de maquinagem para máquinas de controlo numérico computadorizado CNC, automatizando completamente o processo de produção. *Protoclick*

Extrusão filamentar

O termo extrusão filamentar é um termo generalizado de impressão tridimensional, que constrói objetos camada a camada ao extrudir um material semilíquido, como por exemplo termoplásticos, através de uma boca de extrusão. É comum associarmos este termo como FDM (deposição controlada de material), embora este processo tenha sido patenteado pela Stratarsys. Outros termos podem ser aplicados para se referir a extrusão de material tais como: deposição de material fundido (FFM fused filament modelling), fabrico por deposição de material (FFF fused filament fabrication) e impressão por jatos de tintas plásticas. *3D printing; The next industrial revolution*

Fab@home

Fab@home é uma impressora tridimensional open source, que utiliza uma ou mais seringas para construir objetos, através da sua extrusão. Os materiais que esta impressora acolhe são: resinas epoxídicas, silicone, queijo, plasticina, barro e gesso cartonado. Este projeto foi criado em 2006 por Hod Lipson e Evan

Malore, no Laboratório de Síntese Computacional na Universidade de Cornell. *3D printing; The next industrial revolution*

Fabrico aditivo

O Comitê Internacional ASTM F42 nas tecnologias de adição define o fabrico aditivo como um processo de unir camadas sucessivas de materiais para criar objetos a partir de um modelo 3D. Este processo baseia-se na adição de muitas camadas finas de material para construir um objeto. A impressão tridimensional é um processo de fabrico aditivo.*3D printing; The next industrial revolution*

FDM (Deposição controlada de material, Fused deposition modeling)

Adição por extrusão de plásticos, é um processo aditivo que cria objetos através da deposição de um termoplástico aquecido pela cabeça de extrusão, controlado por um computador. FDM foi criado pela Stratasys, que patenteou o termo e a tecnologia. O processo de impressão tridimensional de baixo custo, tem como principio o FDM. *3D printing; The next industrial revolution*

Filamento

O filamento é o material tipicamente utilizado na impressão tridimensional de extrusão filamentar. Os filamentos tratam-se normalmente de termoplásticos (ABS e PLA) que são inseridos numa cabeça de impressão, em estado sólido e, em seguida, aquecida durante e extrusão a partir de um pequeno bocal. 3D printing; The next industrial revolution

Impressão de jatos ligantes (Binder Jetting)

Este processo funciona por pulverização de um ligante líquido sobre um leito de pó, solidificando-a em uma secção transversal. Depois de cada secção transversal terminada, um depósito de rolos automatizados deposita uma nova camada de pó adicional pulverizada pelo ligante na área a solidificar. A impressão de jato ligantes é uma das melhores opções para a impressão 3D, pois utiliza jatos de tinta coloridos tornando as camadas menos percetíveis, ocultando assim os seus erros. *https://thre3d.com/how-it-works/binder-jetting*

Impressão tridimensional

Tecnologia em que um objeto é modelado num computador, e posteriormente criado através da sucessiva adição de finas camadas de material. É um processo de fabrico aditivo, em que são usados jatos de material ligante para unir as camadas e assim construir o modelo, ou recorre a deposição de filamentos de materiais pré aquecidos por uma boca de extrusão. Existe uma grande variedade de materiais associados a este processo. *3D printing; The next industrial revolution*

LOM (Laminação de objetos, Laminated object manufacturing)

No processo LOM, os modelos são fabricados colando sucessivamente folhas de papel, nas quais são cortados, por um feixe laser, os contornos exteriores correspondentes dos cortes locais dos componentes. O equipamento desenrola um rolo de papel impregnado com cola termoplástica na sua superfície inferior. Seguidamente, um rolo pré-aquecido comprime a lâmina de papel sobre a camada anterior dando-se então a colagem estre as duas camadas. Após a colagem o feixe laser, controlado por um sistema eletromecânico de por espelhos efetua o corte do contorno da peça. Todo o papel que não faz parte do componente é cortado em quadrados para facilitar a futura remoção da peça do interior do bloco. *Protoclick*

Jatos de materiais (Material jetting)

Termo genérico para tecnologias de impressão tridimensional que utiliza um liquido fotopolimerizável saído de uma cabeça de impressão. Após a camada de material ter sido impressa, rapidamente passa ao seu estado sólido, graças a uma luz UV que é aplicada antes da colocação de uma nova camada de material. *3D printing; The next industrial revolution*

Modelo conceptual

Trata-se de uma representação física de um produto final que se assemelha à sua forma final, mas com falhas, quer na funcionalidade, quer na escolha de materiais do objeto. Modelos conceptuais são criados pelos designers para permitirem uma boa comunicação entre a sua ideia e o utilizador final. Cada vez mais se utiliza a impressão tridimensional para a criação de modelos concetuais. *3D printing; The next industrial revolution*

Prototipagem rápida

O termo prototipagem rápida refere-se a qualquer tecnologia usada para criar protótipos de forma rápida obtidos através de equipamentos controlados por computador. Inicialmente o fabrico aditivo era referido como prototipagem rápida, uma vez que a única aplicação desta tecnologia era a criação de forma rápida de protótipos formais. *3D printing; The next industrial revolution*

Protótipo funcional

É uma representação final do produto desenvolvido ao longo de todo o processo criativo quer a nível formal, quer a nível funcional. Os materiais aplicados a um protótipo funcional, não necessitam de ser os materiais finais aplicados no objeto, por exemplo duas peças que se encaixam podem ser criadas primeiramente com um polímero para testar encaixes e só depois de validados os testes é que se parte para o material final a utilizar. *3D printing; The next industrial revolution*

RepRap

RepRap é um diminutivo de "replicatin rapid prototaypers", replicação rápida de protótipos. Trata-se de impressoras open source, de extrusão termoplástica, capazes de imprimir os seus próprios componentes. Uma panóplia de impressoras RepRap's e seus manuais de construção encontram-se disponíveis para qualquer utilizador em reprap.org. *3D printing; The next industrial revolution*

SLA (Estereolitografia, stereolithography)

Processo de fabrico aditivo em que o objeto é construído por fotopolimerização de uma resina epóxi liquida, usando um feixe laser de raios ultravioleta, que provoca na resina uma reação fotoquímica. Esta reação de polimerização da resina ocorre nas zonas onde o feixe incide. Este processo é de grande precisão, e constrói o modelo varrendo em cada camada o equivalente à superfície de corte local da peça. No final o modelo de construção fica emerso em resina líquida que escorre com grande facilidade, deixando apenas a geometria do modelo. Este processo precisa obrigatoriamente de suportes e de uma pós cura por parte da resina. *Protoclick*

SLS (Sinterização seletiva a laser, Selective laser sintering)

É um processo de fabrico aditivo em que utiliza pós que são fundidos e em que um feixe laser descreve uma geometria transversal camada apôs camada, criando assim um objeto. *3D printing; The next industrial revolution*

Smart Objects

Investigadores do MIT estão a trabalhar na chamada tecnologia de impressão 4D, que pretende trazer o processo à macro escala, permitindo que materiais impressos tridimensionalmente possam ser programados para se auto-assemblar em formas e estruturas predefinidas. Imagine-se comprar uma mobília empacotada, trazê-la para casa e apreciar um café enquanto observa a mobília a montar-se sozinha. *http://www.gizmag.com/4d-printing-self-assembly/27734/*

.STL (Standard Tessellation Language)

Em todos os processos de fabrico aditivo recorre-se a um modelo CAD tridimensional que, por sua vez é convertido num ficheiro .STL, no qual todas as superfícies do modelo são convertidas em triângulos. O ficheiro .stl ao ser introduzido no equipamento de fabrico aditivo é convertido num ficheiro .SLI (do inglês slice, fatia) através do software da máquina, que divide o modelo nas várias camadas de construção. *Protoclik*

Objetivos da tese

O trabalho desta tese recorreu a atividades de investigação com o objetivo de demonstrar que a impressão tridimensional é, no momento atual, um instrumento determinante no desenvolvimento de novos produtos.

Aprofundar-se-á a utilização desta tecnologia na área alimentar, no que diz respeito à validação da utilização da pasta de açúcar na impressão tridimensional para a criação de modelos de decoração na pastelaria, com a possibilidade de ser associada a qualquer impressora open source.

Foi lembrado o percurso do fabrico aditivo para apresentar o que atualmente se cria nesta área, valorizando sempre a importância do recurso ao design.

O design industrial é usualmente entendido como uma atividade que se ocupa da conceção de produtos para o fabrico industrial. Esta definição, apesar de ser amplamente difundida, não consegue traduzir a natureza desta profissão de maneira satisfatória (Antas, 2007).

Foram realizados vários testes formais e funcionais para, futuramente, realçar a importância do desenvolvimento de uma cabeça extrusora exclusivamente para a impressão de pasta de açúcar.

Ao longo do trabalho foi estudada a relação entre o design industrial e a impressão tridimensional. O objetivo é dar a compreender como a impressão tridimensional pode cooperar no campo alimentar, percebendo o funcionamento da impressão tridimensional aplicada à área alimentar, com base em projetos já existentes no mercado.

Tentar-se-á demonstrar que o design é uma disciplina que procura ir ao encontro das necessidades do utilizador, recolhendo-as previamente no mercado, e que na área industrial se revela concretamente nos resultados obtidos (estéticos ou não) como consequência da resposta a essas necessidades. Pensando nos hipotéticos gostos pessoais, variáveis e diferenciados, o design associado à impressão tridimensional é facilmente sujeito a adaptações e mutações, de forma a servir melhor o mercado.

Serão ainda expostos casos de estudo de aplicações da impressão tridimensional no desenvolvimento de produtos funcionais e de produtos alimentares, procurando apresentar as múltiplas vantagens da mesma.

Pretende-se que este trabalho contribua para um esclarecimento e demonstração das potencialidades da impressão tridimensional na área alimentar, bem como nas novas oportunidades que vão surgindo com o avançar das tecnologias. Realça-se a preocupação estética do design, que vai dar mais qualidade ao produto e simultaneamente mostrar a necessidade de equipas multidisciplinares, como engenheiros, designers, arquitetos e aficionados que, trabalhando num objetivo comum, pretendem o desenvolvimento e inovação de novos produtos.

1

Introdução

A introdução da tecnologia de impressão tridimensional na área alimentar é relativamente recente e está sujeita a percorrer uma série de etapas.

Os avanços tecnológicos, aliados a novas técnicas informáticas e à curiosidade das pessoas, possibilitam o aproveitamento de novas aplicações quer no design industrial, quer na área alimentar.

A impressão tridimensional proporciona um alargamento de liberdade no processo de produção aos designers, comparado com as limitações dos processos tradicionais de produção. Alguns designers afirmam que o termo DFM (design for manufacturing, design aplicado ao processo de fabrico) se transforma em MFD (manufacturing for design, fabrico aplicado ao design) (Beamen, 2013).

O desenvolvimento de novos produtos funcionais e prontos para consumo, exige uma pesquisa das necessidades do mercado e estimula até a introdução de outros, capazes de criarem impacto. Com a possibilidade de criar novos produtos, é necessário escolher então os materiais que melhor se adaptam ao fim a que se destinam, associados às técnicas de fabrico aditivo. A impressão tridimensional tem vivido uma grande evolução tendo em conta que se trata de uma tecnologia de fácil acesso e intuitiva no seu funcionamento.

Tratando-se de uma área ainda pouco explorada, mas com grande potencial, a impressão tridimensional, na área alimentar, tem vindo a ser cada vez mais utilizada.

Apresenta grandes vantagens, quer para quem produz, quer para quem usufrui da tecnologia. Permite a criação de objetos à medida do consumidor e de acordo com as suas preferências, gostos e necessidades, de uma forma rápida e precisa, optimizando o trabalho do seu criador.

Existem, no entanto, dificuldades ligadas ao tratamento de matérias primas e às duvidas sobre as rigorosas normas de segurança alimentar, acrescidas ainda pelo inconveniente de terem de ser consumidas imediatamente ou pela desvantagem de apresentarem um prazo curto de validade.

Tratando-se de alimentos triturados, os valores nutricionais não sofrem alterações, não dispensando uma preparação num curto espaço de tempo, a fim de evitar a perda de sabor e frescura.

A utilização de modelos comestíveis permite a realização de testes formais em objetos, podendo estes ser reutilizados ou até ingeridos. Tal significa que a percentagem de erros ocorridos aquando da impressão do objeto funcional seja menor, assim como o tempo necessário para a execução dos mesmos.

O conceito de alimentos personalizados assenta na produção de bens alimentares, conforme as necessidades individuais do consumidor. O desenvolvimento emergente das impressoras capazes de utilizar alimentos como matéria prima, é uma mais valia para a comercialização de alimentos personalizados. Trata-se de máquinas que constroem alimentos sólidos através da combinação exata e deposição de ingredientes selecionados, camada por camada, em alimentos com formas desejadas, sabores, texturas e valor nutricional (Sandra Kim, 2012).

Nesta fase será explicado quais as temperaturas e dimensões aconselháveis, necessárias à criação de modelos em pasta de açúcar conveniente à aplicação do material, de forma eficaz.

Foram consideradas várias empresas e designers que se destacaram na impressão de produtos para consumo e na impressão tridimensional aplicada à área alimentar. Abordaram-se também os diferentes processos de impressão tridimensional e os materiais mais utilizados, assim como as novas oportunidades que têm vindo a revolucionar o mercado de consumo.

Analisou-se um grupo de impressoras tridimensionais de extrusão filamentar, as suas características e posição no mercado, no sentido de melhor compreender a utilidade das mesmas e as vantagens que oferecem aos utilizadores.

O desenvolvimento de novas formas e a facilidade de personalizar objetos surge como uma tendência, com consequências económicas sobre a forma de como vamos criar e construir produtos no futuro, assim como de quem os projeta e onde são produzidos.

Com esta dissertação pretende-se apontar a importância da tecnologia de fabrico aditivo no design e desenvolvimento de novos produtos, a importância da impressão tridimensional na área alimentar e conhecer, ainda, as vantagens que dela colhemos.

2

Fabrico Aditivo

Chuck Hull, foi a primeira pessoa a nível mundial, a imprimir a três dimensões, um pequeno copo de plástico preto rudimentar, a 3 de Março de 1983 às 20:30 (fig. 2.1). O momento ficou registado pois fez um telefonema à sua esposa Antionette pedindo-lhe que viesse ter ao laboratório.

2.1



2.1
Chuck Hull com a primeira peça criada por fabrico aditivo [RF 2.1]

A Chuck Hull deve-se o fabrico aditivo, tal como o conhecemos hoje em dia. Este engenheiro americano, de 44 anos, na altura, trabalhava numa empresa como designer industrial. Partes das suas noites e fins de semana, durante doze meses, eram passados num laboratório, um pequeno espaço cedido e situado nas traseiras da empresa onde trabalhava.

Queria testar o fabrico aditivo porque os protótipos de que precisava demoravam meses a estar prontos, e quando os recebia, normalmente ainda tinha de alterar os desenhos para novos testes. As suas tentativas, de inicio, eram frustrantes. Tudo o que imprimia não tinha consistência, mais se parecia com esparguete.

A partir do momento da impressão do seu copo preto é que Chuck Hull teve a perceção da importância da sua descoberta e do que ela representava para o mundo, que a partir daquele momento nunca mais iria ser o mesmo.

A primeira patente é do ano 1986, ano em que fundou a 3D Systems, ainda hoje considerada uma das maiores empresas na área do fabrico aditivo.

No entanto, não foi fácil de inicio conseguir investidores para o seu projeto. Em 1983 inicia o seu trabalho de construção e, posteriormente, quando deseja fazer demonstração das impressoras, torna-se quase impossível o transporte porque eram excessivamente pesadas. Resolve então gravar os primeiros projetos, em cassetes. O seu projeto foi comprado pela General Motors e a Mercedes.

A titulo de curiosidade, este engenheiro tem mais de 100 patentes, 90 nos Estados Unidos da América, 20 na Europa e clientes em todo o mundo.

Venceu, em 2014, o European Award Inventor, em Berlim. A sua mulher Antoinette ainda hoje traz consigo o pequeno copo de plástico preto. Hull desenvolveu o processo que hoje chamamos de estereolitografia. *In Sábado, Julho 2014, nº 535, pág 88*

No presente capítulo será explicada a história do fabrico aditivo, o antes e o depois da invenção de Hull, e a relação deste processo de fabrico com o design industrial, uma das disciplinas essenciais de aplicação desta tecnologia.

2.1

Contextualização histórica

O fabrico aditivo surgiu por imperativo da concorrência com a oferta de preços mais atrativos e ainda com uma enorme variedade de produtos. Houve necessidade de reconsiderar a competitividade tendo em conta as novas técnicas e ferramentas computacionais, para assegurar a qualidade dos produtos e a sua aceitação no mercado.

Nesta linha de preocupação industrial, os produtos não aparecem no mercado sem anteriormente se inventariar através de estudos as necessidades dos consumidores e a possibilidade de se estender aos mercados com maior expansão de vendas e conquistar outros.

A prototipagem rápida, hoje entendida por fabrico aditivo, era a denominação do passado e os objetos podiam ser fabricados num espaço de tempo mais curto em relação a outros processos de fabrico tradicionais. A prototipagem era um processo lento, de preço elevado e não permitia fazer muitas cópias de um único item (Bradshaw, 2010).

A primeira patente de fabrico aditivo foi registada em 1968 graças a Swainson, (1977) e correspondia a um novo processo baseado na adição de sucessivas camadas. Este processo não exigia moldes nem ferramentas e a intervenção do operador era reduzida pelo facto de empregar informações geométricas da peça criada num programa CAD.

Todas as informações produzidas no computador são enviadas para a máquina que executa a tarefa, sem a presença de um operador. Com este processo de fabrico obteve-se uma produção rápida (objetivo principal), mas as peças não ofereciam a qualidade pretendida, de forma a proporcionar resistência mecânica e precisão.

Com o fabrico aditivo deu-se um passo importante nas tecnologias de produção, sendo que em 2013 se celebrou o vigésimo quinto aniversário da sua utilização.

O protótipo de um produto ou componente é um valioso auxiliar no processo de desenvolvimento e facilita ainda a análise da sua funcionalidade e forma.

Já nos primeiros tempos da antiguidade até ao presente se aplicava este processo, que foi evoluindo e que deu o boom nos anos 80, com o aparecimento de modelos virtuais, e consequentemente a divulgação dos sistemas CAD tridimensionais e atualmente com protótipos rápidos.

Esta tecnologia de CAD proporciona o fabrico de componentes e recolhe informações diretas acerca do modelo produzido de forma rápida, flexível e automática.

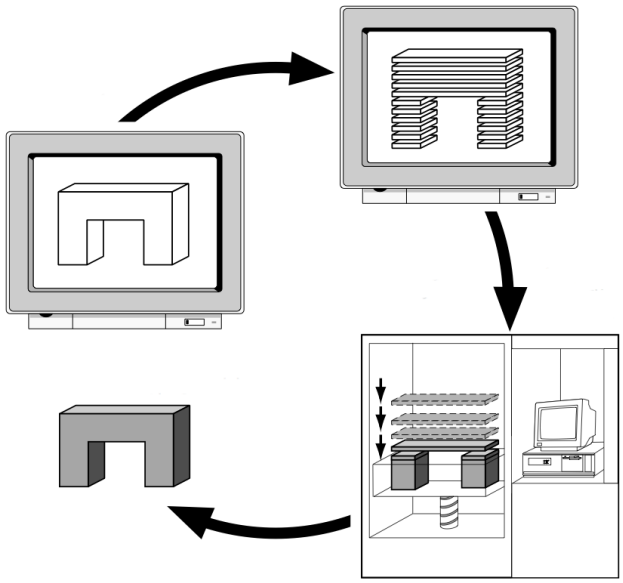
O processo começa com o modelo 3D da peça através do CAD sendo fatiado eletronicamente dando origem a curvas de nível 2D que vão indicar, em cada camada, a existência ou não de material a ser adicionado. Essas camadas serão realizadas ordenadamente, resultando daí a peça desejada, através do empilhamento e aderência das mesmas camadas (fig. 2.2).

O fabrico aditivo baseia-se nos processos tradicionais de fabrico como a metalurgia do pó, extrusão, soldadura, brasagem e corte. Tecnologias mais recentes vieram completar o fabrico aditivo por camadas como os controlos de movimento de alta precisão, novos materiais, sistemas de impressão a jato de tinta, tecnologia a laser e outros.

O fabrico aditivo foi inicialmente direcionado para o universo da indústria automóvel e aeronáutica, mas desde então tem sido utilizado nas mais diversas áreas industriais (Lino, 2002).

A construção de objetos por meio de camadas já vem das civilizações antigas com a sobreposição de blocos, como as pirâmides do Egito.

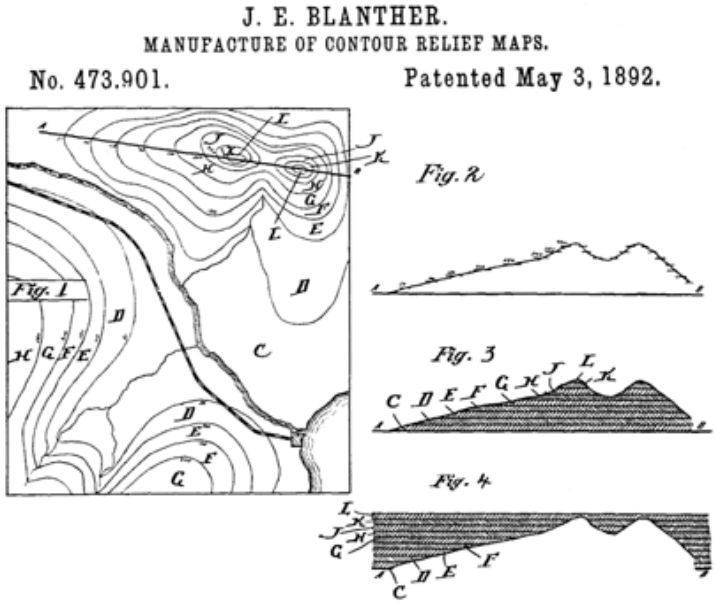
2.2



2.2
Processo de transformação de um modelo virtual em um modelo físico
[RF 2.2]

As tecnologias de hoje de FA têm como base áreas essenciais como a topografia e a foto-escultura (Beaman, 1997). Na área da topografia a aplicação do método por meio de camadas deve-se a Blanther por volta de 1880 (fig. 2.3). Este processo foi usado no fabrico de moldes para mapas topográficos permitindo a reprodução de modelos tridimensionais (Blanther, 1892).

2.3


J. E. BLANTHER.
MANUFACTURE OF CONTOUR RELIEF MAPS.
No. 473.901. Patented May 3, 1892.
Fig. 1
Fig. 2
Fig. 3
Fig. 4

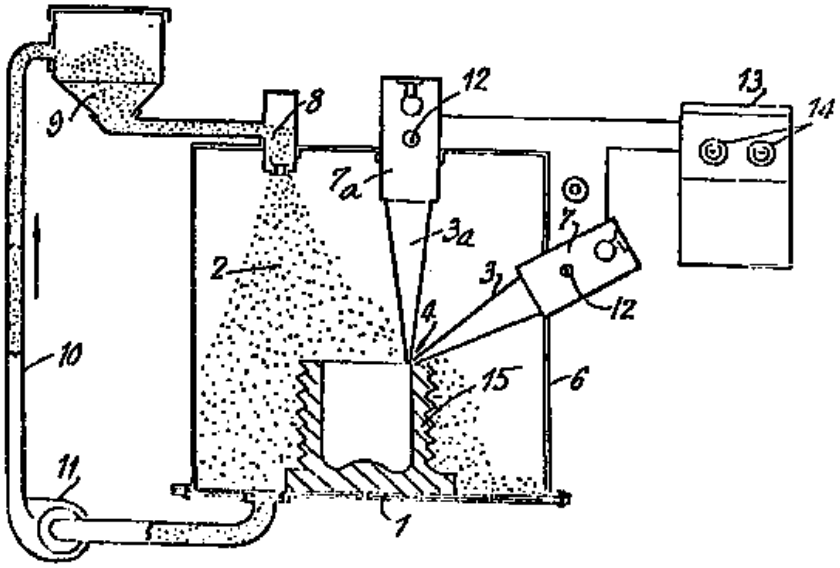
2.3
Patente do método de Blanther, 1880
[RF 2.3]

O método de Blanther foi aperfeiçoado nos anos posteriores pela aplicação de outros materiais, como o papel cartão por Parera em 1940 e mais tarde com placas transparentes por Zang em 1964 e em 1973 por Gaskin (Beamen, 1997).

Em 1972 Matsubara da Mitsubishi motors apresentou um método de construção baseado no emprego de uma resina fotopolímerizavel (fig. 2.4). A resina aplicada era coberta de partículas refratárias (com pó de areia ou grafite) e curada através da emissão de uma fonte de luz coerente produzida por uma lâmpada de vapor de mercúrio e projetada seletivamente de forma a endurecer uma determinada zona (Matsubara, 1974). Com este método, as finas camadas, eram sobrepostas ordenadamente para construir o modelo primitivo.

Esta técnica seria de grande utilidade no fabrico de objetos complexos que com os métodos tradicionais se tornavam difíceis de produzir (Dimatteo, 1974).

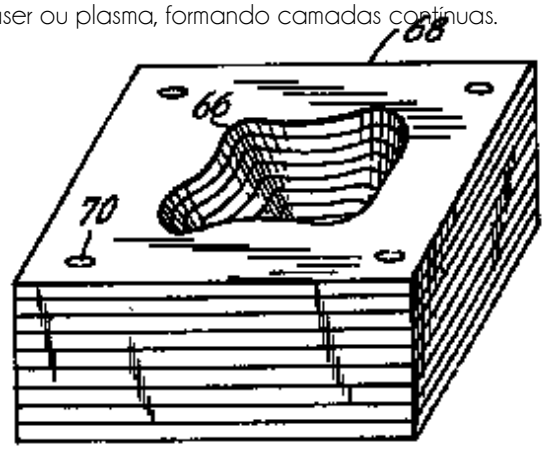
2.4



2.4
Patente do método de Matsubara de camadas de resina 1972
[RF 2.4]

Ciraud em (1972) propôs a utilização de pós de diversos materiais suscetíveis de serem fundidos quando submetidos à exposição de feixes laser ou plasma (fig. 2.5). As partículas eram aplicadas numa matriz por gravidade, ação magnética ou electroestática e depois fundidas pela ação de um ou mais feixes laser ou plasma, formando camadas contínuas.

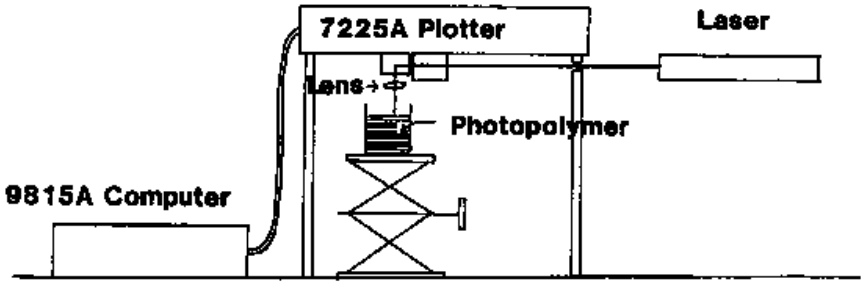
2.5



2.5
Patente do método de Ciraud 1972
[RF 2.4]

No campo da fotopolímerização, em 1982 Herbert da empresa 3M, apresentou um sistema que utilizava um feixe de laser ultravioleta (UV) e polimerizava uma camada através de um sistema de prismas numa plotter X-Y (fig. 2.6). Neste processo havia um computador para comandar os movimentos do feixe de laser no plano X-Y, e no final da polimerização da camada, esta era rebaixada cerca de 1mm e só então se adicionava nova quantidade de líquido fotopolímerizavel para obter a próxima camada e assim sucessivamente (Volpato, 2007).

2.6



2.6
Patente do método de Herbert (1982) [RF 2.6]

Os trabalhos de pesquisas, técnicas e processos desenvolvidos no campo da foto-escultura e na topografia ou ainda no desenvolvimento do produtos deram origem às atuais técnicas da FA. Estas técnicas só acabaram por ser utilizadas comercialmente depois do aparecimento da estereolitografia (SLA) pela empresa americana 3D Systems, em 1987 (tab. 2.1).

NAME	TITLE	FILED	COUNTRY
Housholder	Molding process	December 1979	U.S.
Murutani	Optical molding method	May 1984	Japan
Masters	Computer automated manufacturing process and system	July 1984	U.S.
André et al.	Apparatus for making a model of an industrial part	July 1984	France
Hull	Apparatus for making three-dimensional objects by stereolithography	August 1984	U.S.
Pomerantz et al.	Three-dimensional mapping and modelling apparatus	June 1986	Israel
Feygin	Apparatus and method for forming an integral object from laminations	June 1986	U.S.
Deckard	Method and apparatus for producing parts by selective sintering	October 1986	U.S.
Fudim	Method and apparatus for producing three-dimensional objects by photosolidification; radiating an uncured photopolymer	February 1987	U.S.
Arcella et al.	Casting shapes	March 1987	U.S.
Crump	Apparatus and method for creating three-dimensional objects	October 1989	U.S.
Helinski	Method and means for constructing three-dimensional articles by particle deposition	November 1989	U.S.
Marcus	Gas phase selective beam deposition: three-dimensional, computer-controlled	December 1989	U.S.
Sachs et al.	Three-dimensional printing	December 1989	U.S.
Levent et al.	Method and apparatus for fabricating three-dimensional articles by thermal spray deposition	December 1990	U.S.
Penn	System, method, and process for making three-dimensional objects	June 1992	U.S.

2.1
Tabela das Patentes entre 1979 e 1992 de fabrico aditivo

O processo de fabrico aditivo, comparado especialmente com o controle numérico computorizado, apresenta vantagens como:

- A complexidade geométrica da peça não oferece dificuldade para o processo de FA; o que não acontece com os outros processos.
- Não exige dispositivos ou ferramentas especiais para a fixação. Geralmente as peças são fixas na plataforma de construção por suportes criados pela própria tecnologia.
- Normalmente não exige a troca de ferramentas de trabalho porque apenas se mantém um único meio de processamento do material a utilizar durante o processo – quer seja laser, deposição de material fundido, jato de tinta ou corte de faca.
- O objeto é criado numa única etapa do processo e apenas é necessário um equipamento no período da construção da peça.

Há uma infinidade de materiais que podem ser utilizados nestes processos, pelo facto do fabrico ser feito por adição, mas no entanto há limitações:

- A precisão e o acabamento superficial são de qualidade inferior aos das peças obtidas por maquinagem. Como a peça é construída pela adição de camadas planas, a sua superfície apresenta um serrilhado pelo efeito escada, nas áreas inclinadas e curvas. Este efeito causa um desvio da geometria da peça modelada no CAD que é próprio do processo de FA.
- O custo envolvido limita o número de objetos que podem ser produzidos, uma vez que fica mais vantajoso recorrer às técnicas de fabrico tradicionais para produção em série.
- Podem surgir, alguns problemas tais como distorções, empenos e variações dimensionais devido à natureza térmico química de alguns processos, o que a tecnologia de fabrico aditivo procura reduzir.

Inicialmente os protótipos provenientes de técnicas de fabrico aditivo não eram considerados com rigor, precisão dimensional e desempenho. Eram pouco aplicados e a sua utilização limitava-se principalmente aos estágios iniciais do processo de desenvolvimento do produto e não a testes formais. Com as novas exigências de mercado e de design investiu-se na melhoria da

qualidade, precisão e aumento do número de materiais disponíveis para a criação de protótipos. A necessidade de usar protótipos para testes funcionais no processo de desenvolvimento do produto fez com que se procurassem formas de minimizar as deficiências tecnológicas. Impunha-se o alargamento da produção com o mesmo material da peça final e também pelo mesmo processo de fabrico.

A aplicação do FA no projeto foi destinada primeiro à análise e planeamento e depois para etapas de manufatura e ferramentas.

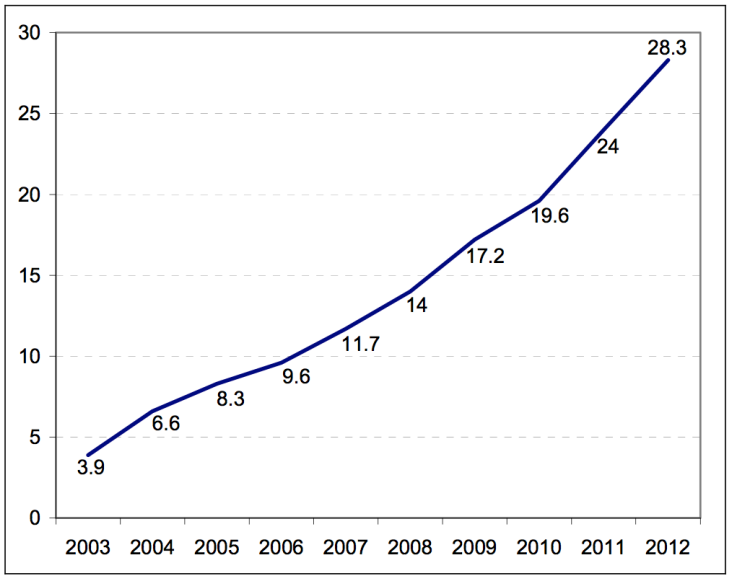
Os processos tradicionais com base em desenhos técnicos 2D são considerados ultrapassados e substituídos por sistemas capazes de gerar modelos tridimensionais sólidos (fig. 2.7). A apresentação com imagens fotográficas realistas e animações de computador permite mudar a atitude dos clientes e, por vezes, evitar o fabrico de protótipos caros (Lino et al., 2002).

A evolução do fabrico aditivo nos últimos 10 anos tem sido exponencial, sendo que o comércio e produção associadas a esta tecnologia cresceu 25% no intervalo de 2003 e 2012 (Wholers, 2013).

Entre 2010 e 2011, o volume das vendas e produção mundial de serviços relativamente ao fabrico aditivo teve um crescimento de 58,4%, passando de 187 milhões de euros para 297 milhões de euros, (gráfico 2.1). Espera-se que o crescimento, nos próximos anos, venha a aumentar ainda mais (Wholers, 2013).

2.1

2.1
Gráfico da evolução das vendas associados ao fabrico aditivo entre 2003 e 2013 in Wholers reoprt 2013



2.7



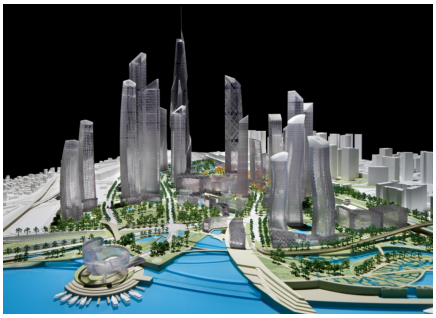
2.7
Protótipo de uma torneira realizado por técnicas de fabrico aditivo
[RF 2.7]

Presentemente a tendência vai no sentido do uso de protótipos na engenharia de manufatura como a indústria aeroespacial, automóvel, bioengenharia (medicina e odontologia), de produtos elétricos, eletrónicos e ainda no setor da joalharia, artes e arquitetura (fig. 2.8 e fig 2.9).

2.8 2.9



2.8
Implantes dentários impressos tridimensionalmente
[RF 2.8]



2.9
Edifícios de uma M maquete de arquitetura à escala impressa tridimensionalmente
[RF 2.9]

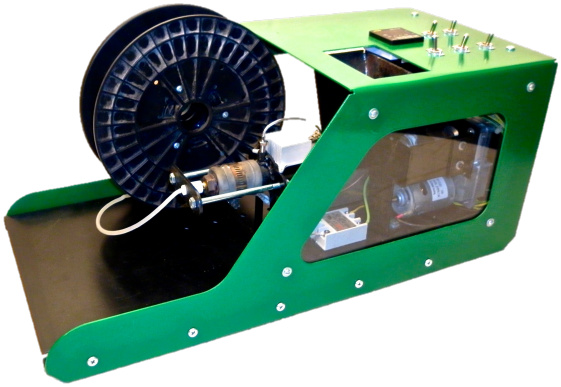
Do ponto de vista económico da produção, oferece flexibilidade ilimitada ao design. Sem considerar os custos com ferramentas, apresenta várias vantagens:

- Ao contrário dos processos de maquinagem que geram desperdício, as tecnologias de fabrico aditivo utilizam apenas o material necessário. Além disto, os custos de reciclagem e rejeição são evitados.
- Gera objetos de vários tamanhos e formas a partir de um conjunto de material, e não de um vasto stock de moldes, como nos processos convencionais (injeção), o que reduz o custo.

- Como a forma impressa é similar à final reduz-se o tempo de acabamento e a assemblagem de componentes.
- A produção é orientada pela informação digital diminuindo a possibilidade de erro humano.

Do ponto de vista ecológico, o fabrico aditivo já permite a utilização de materiais recicláveis. Um bom exemplo disso é a Filamaker ou a Filabot (fig. 2.10), que são máquinas que destroem as peças impressas que não são utilizadas e as transformam em filamentos.

2.10



2.10
Filabot
máquina que transforma peças impressas em filamentos
[RF 2.10]

O fabrico aditivo não é apenas utilizado para a prototipagem rápida no desenvolvimento do produto, mas é cada vez mais utilizado para o fabrico rápido, ou seja, elaboração de produtos ou componentes de produtos finais, prontos para o mercado (Beachler, 2010).

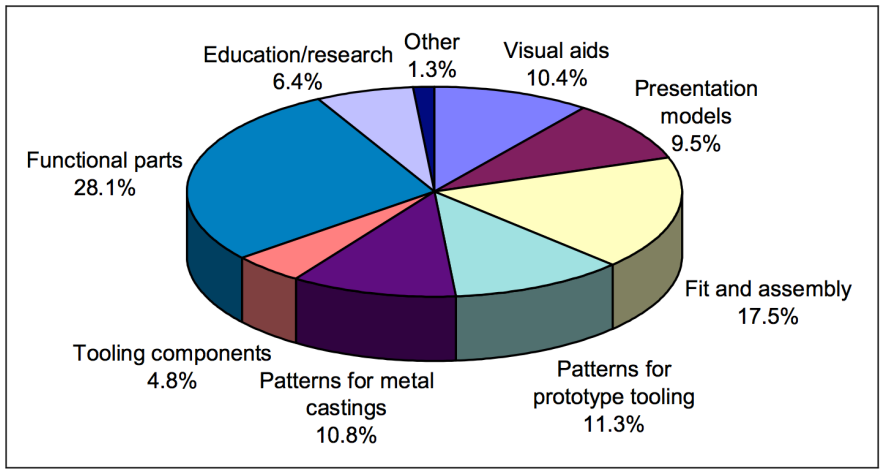
Com um computador pessoal e em particular com impressoras de alta qualidade e de baixo custo, seremos capazes de criar objetos simples de uso comum (Bradshaw, 2010).

Atualmente, as empresas e organizações utilizam o fabrico aditivo, numa vasta gama de aplicações. No relatório anual do progresso do Fabrico Aditivo, elaborado por Wohlers (2013), foi realizado um inquérito às empresas especializadas em fabrico aditivo, perguntando-lhes qual a finalidade dos objetos produzidos. As respostas foram as seguintes.

- Protótipos formais (nas áreas da engenharia, design e medicina);
- Apresentação de maquetes(na área da arquitetura);
- Criação de peças de substituição (componentes de eletrodomésticos, mobiliário, etc.);

- Desenvolvimento de texturas para modelos de silicone;
- Desenvolvimento de texturas para fundição metálica;
- Ferramentas e seus componentes (desenvolvidos só para fabrico aditivo);
- Componentes funcionais (produção em série, produção rápida, e testes funcionais);
- Educação e investigação;

Na resposta ao inquérito concluiu-se que as empresas dedicam-se sobretudo à produção de componentes funcionais e em grande escala, seguindo-se as peças de substituição (gráfico 2.2).



2.2
Gráfico das aplicações da impressão tridimensional em 2012
In Wohlers Report 2013

Na Europa em 2013, existiam dezasseis companhias especializadas na produção de equipamentos de fabrico aditivo. Essas companhias destacam-se pela exploração do fabrico aditivo de componentes metálicos. As principais empresas são: Arcam (Suécia), Concept Laser (Almanhã), EOS (Alemanhã), Irepa Laser (França). São empresas a produzirem mais peças metálicas do que o resto do mundo incluindo os Estados Unidos (Wohlers, 2013).

Neste momento uma impressora bidimensional, é considerada um parceiro próximo de uso diário quer no ambiente profissional quer no ambiente pessoal (Xing Liu et al., 2010). Podemos concluir que num futuro próximo e com o avançar das tecnologias, a impressão tridimensional também terá um papel fulcral no nosso dia a dia, podendo até mudar paradigmas dos processos de fabrico (fig. 2.11).

Estamos numa era em que se acredita no fabrico aditivo, nomeadamente na impressão tridimensional, como uma força imparável a impulsionar uma nova revolução industrial (Koten, 2013).

A sua expansão depende acima de tudo do conhecimento adquirido através da investigação e desenvolvimento das indústrias.

2.11



2.11
Impressora Cube em funcionamento [RF 2.11]

2.2

Relação entre o design industrial e o fabrico aditivo

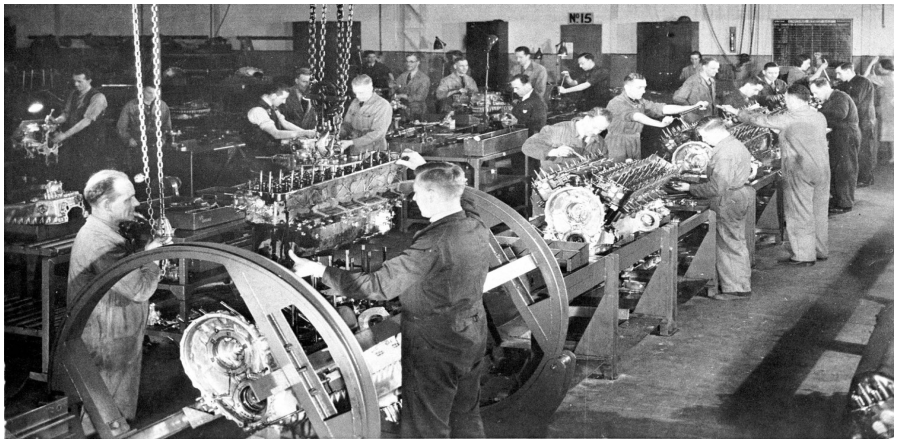
O conceito de design industrial traz normalmente associado objetos para fabrico industrial, obtidos por máquinas e em grandes quantidades.

Este conceito rodeia-se de dúvidas por ainda não se fazer a diferença da atividade do designer industrial e o papel de engenheiro.

Distinguir ou determinar o ato projetivo de cada um não é fácil. Acontece muitas vezes um engenheiro desempenhar a atividade do designer industrial e vice-versa.

Numa fase inicial, a economia de uma empresa assentava numa produção de larga escala (fig. 2.12), tendo como objetivo a redução de custos, através da uniformização dos produtos, diminuição dos desperdícios e simplificação de montagem. Presentemente a produção torna-se mais diferenciada e contínua, isto é, a cada máquina cabe um tipo de produção sem influenciar a rentabilidade e permitindo alcançar o mesmo objetivo no campo económico.

2.12



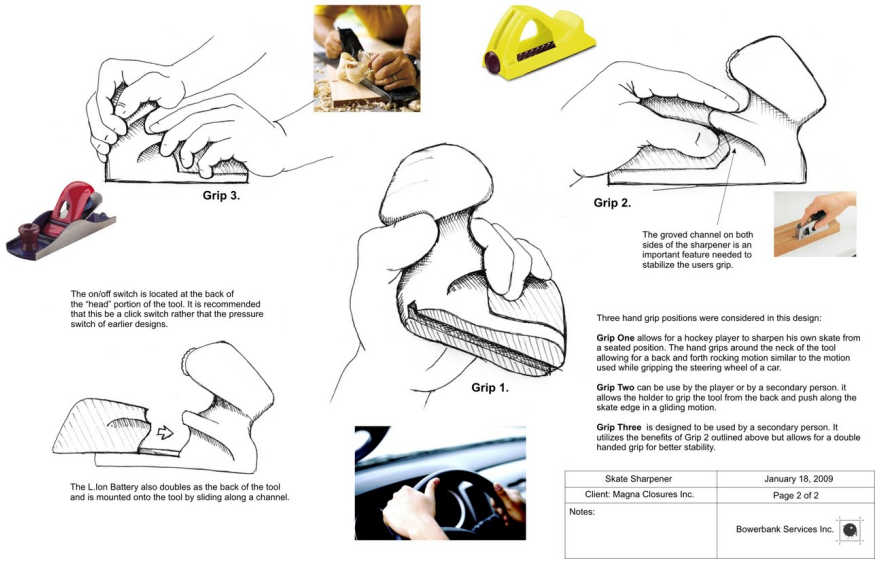
2.12 Produção industrial em grande escala [RF 2.12]

Definir design industrial é complexo e por isso a definição apresentada fundamentou-se no processo de laboração e no destaque à configuração do produto. Assim, ao designer industrial cabe ocupar-se da estética e

usabilidade do produto, no processo de fabrico e não nos componentes técnicos como a mecânica e a electrónica associada ao produto (fig. 2.13).

2.13

2.13 Apresentação do produto e seu desenvolvimento [RF 2.13]



O design industrial tinha como objetivo projetar a forma e função do produto (I.C.S.I.D., 1961). O design industrial anteriormente era considerado uma atividade projetiva com a intenção extra de deixar uma marca estética nos produtos. Explica-se porque para além da funcionalidade e usabilidade de um produto este deve conter um significado afetivo, de gozo e cuja posse resulte em harmonia e se identifique com o utilizador.

O produto do design industrial encerra um conjunto de análises de prioridades colhidas num determinado espaço físico e social e não de uma atividade autónoma, fria e desligada da realidade social a que se destina.

A opção de um projeto resulta dum somatório de fatores económicos, produtivos, funcionais e simbólicos válidos para um determinado grupo de consumidores.

Há fatores que não têm o mesmo peso e influência, comparados com outras sociedades (fig. 2.14, fig. 2.15). As características das sociedades são variadas e definem as suas preferências através dos produtos consumidos.

Com a revolução industrial no século XIX e o desenvolvimento da economia capitalista, surge uma produção de objetos de média e elevada complexidade. O design industrial, como atividade projetiva, participa

ativamente na produção e consumo, contribuindo para a socialização com a aceitação de novas formas produtivas apresentadas no mercado.

2.14 | 2.15





2.14
Pauzinhos chineses (objeto comum na alimentação oriental)
[RF 2.14]

2.15
Talheres (objeto comum na alimentação ocidental)
[RF 2.15]

O design industrial não se integra apenas no processo laboral. O projeto e a execução representam dois atos diferentes mas que se admite, futuramente, uma aproximação e desse encontro resulte a participação criativa dos trabalhadores.

O design industrial continuará a sua ação no apuramento das necessidades e produtos, de forma a que a sua produção satisfaça o consumo pela sua funcionalidade e pelo significado afetivo.

O designer é considerado como um profissional comum, ao serviço da indústria.

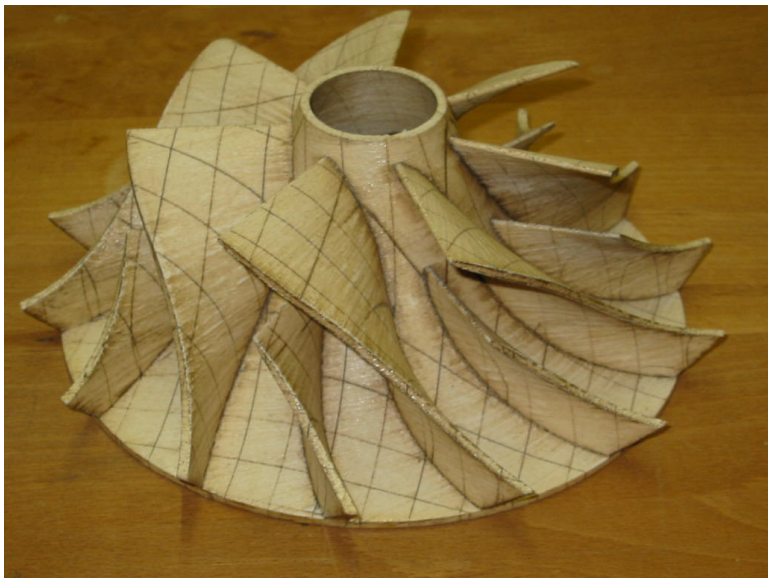
O design industrial não pode ser analisado isoladamente visto que resulta de uma relação de vários intervenientes, com diversas ideias, partilhadas e coordenadas, resultante do trabalho de grupo.

O conceito do "modern design" baseia-se na tentativa de promover uma relação entre a arte e a técnica no intuito de apagar o preconceito existente. Na realidade a influência de fatores não tem sido devidamente analisada, isto é, não se tem privilegiado a dependência das ideias e das inovações e a relação do desenvolvimento produtivo com as relações sociais da produção.

Na criação de produtos, há a considerar várias situações como aspetos de ordem socioeconómica, ideal estético, inovação tecnológica e o utilizador. O desenho industrial é dirigido para a sociedade condicionada pelo gosto, necessidade e poder económico mas isso não deve ser condição cega ao ato criativo.

A prototipagem rápida foi uma das primeiras aplicações de tecnologias de fabrico aditivo e continua a ser uma das ferramentas mais poderosas para o desenvolvimento do produto (fig. 2.16). Como as propriedades dos materiais e o acabamento superficial e precisão dimensional melhoraram, os modelos têm sido cada vez mais utilizados para a criação de protótipos funcionais, para o ajuste e teste de montagem (Wohlers, 2013).

2.16



2.16
Primeiros protótipos formais já com grande rigor dimensional
Peça obtida pelo processo LOM
[RF 2.16]

Um projeto concetual representa algo de muito inovador, ele não só irá mudar o velho mundo de produção (fig. 2.17), mas também construir um outro mundo com novos produtos. O desenvolvimento das tecnologias de impressão tridimensional provoca mudanças inesperadas estabelecendo um novo mundo (Xing Liu et al., 2010).

2.17



2.17
Concept de um leitor de MP3 criado pelo designer Nuno Teixeira
[RF 2.17]

Atualmente os designers procuram explorar o potencial da tecnologia de fabrico aditivo, que todos os dias vai evoluindo e apresentando novas áreas a desbravar e novos caminhos a percorrer (Antas, 2007).

Do ponto de vista de um designer, o FA representa tanto de oportunidades como de desafios: oferece maior liberdade no desenho através da possibilidade de produzir formas que seriam impensáveis ou excessivamente caras, como formas orgânicas, ocas e estruturas internamente complicadas. Esta liberdade geométrica pode ser desenvolvida no sentido de criar produtos esteticamente atraentes e distintos, com uma melhor ergonomia e desempenho funcional reforçado (fig. 2.18). Como exemplos destes tipos de produtos há os de consumo, das industrias aeroespaciais e os da engenharia biomédica.

2.18



2.18
Objetos impressos tridimensionalmente para venda [RF 2.18]

O fabrico aditivo apresenta alguns desafios notáveis para os designers. Há a necessidade de aprender e compreender as limitações exclusivas deste processo tal como a espessura mínima aconselhável da parede, tolerâncias conseguidas e orientação de construção ideal.

Outro desafio ainda mais importante traduz-se na necessidade de um novo nível de design criativo, a fim de aproveitar todas as potencialidades do fabrico aditivo. Os designers precisam de se libertar de muitas regras de produção que foram recebendo e interiorizando.

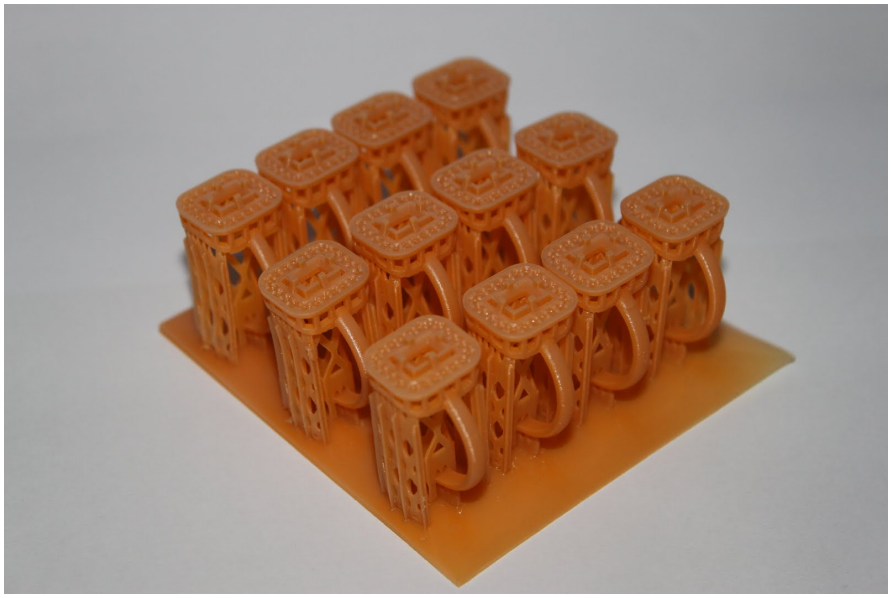
Ao longo de décadas, nas Faculdades e Universidades mundiais, os alunos de projeto eram educados para desenhar, pensando na montagem, processos de fabrico e muitas vezes a projetar para um único material. Mudar o projeto e o fabrico de modelos (mudar o paradigma) é o desafio de agora; a intenção é libertar as mentes, soltá-las para encontrar outras possibilidades do design. Atualmente os designers vivem num mundo onde a componente ferramental nem sempre é necessária.

Com o avançar das tecnologias, estamos perante um boom na área dos processos aditivos, desde a facilidade de acesso até à base de dados de peças a executar. O design industrial está cada vez mais presente, no nosso dia a dia, através da permanente convivência com os objetos.

A impressão tridimensional ganha agora uma nova aplicação. Na década de 90 era usada apenas para testes formais e geração de moldes, agora é aplicada no desenvolvimento de produtos prontos para consumo.

Esta nova aplicação é uma mais valia para pequenas empresas ou entidades individuais entrarem no mercado, pois não têm grandes riscos e não exige um grande investimento. A produção em baixa escala e a liberdade geométrica são aspetos diferenciadores do mercado, e há a possibilidade de adaptar um artefacto ao seu consumidor final (fig. 2.19), fugindo de um mercado caracterizado pela massificação de objetos (Wohlers, 2013).

2.19

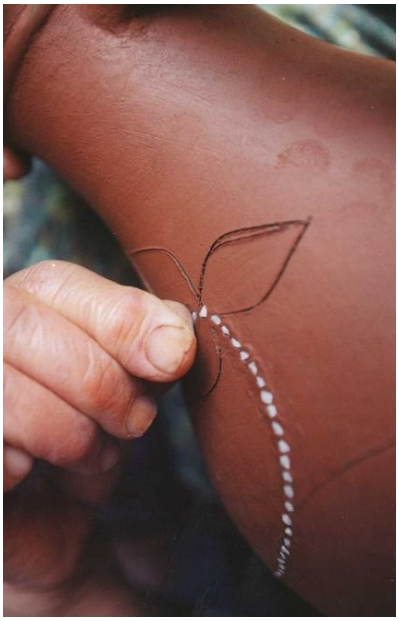


2.19
Pequena produção de objetos impressos tridimensionalmente [RF 2.19]

Antes da revolução industrial os bens eram produzidos por artesãos locais e pequenos produtores, limitados pelos recursos existentes, materiais e processos. Estes artesãos criavam e desenvolviam os seus produtos e vendiam-nos a pequenos comerciantes, ou no seu local de trabalho (fig. 2.20, fig. 2.21). Nestas condições o consumidor tinha um contacto direto e customizado com o produtor, não havendo assim intermediários (Patrick Simpson, 2013).

2.20 | 2.21

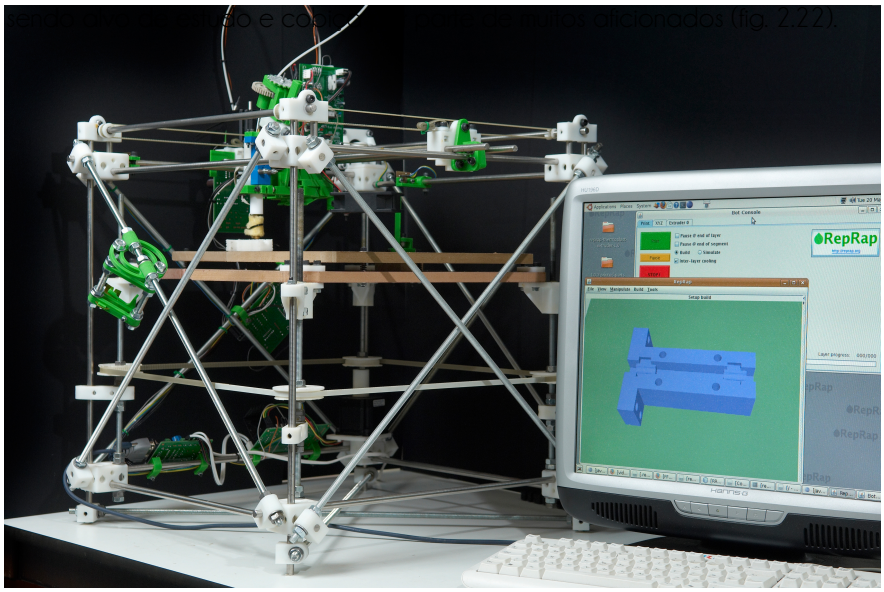




2.20
Senhor Pequito na sua roda
[RF 2.20]

2.21
Dona Joaquina a pedrar a olaria
[RF 2.21]

Com o avançar das tecnologias de impressão tridimensional e com o aparecimento de impressoras como RepRap (impressora open source que tem pelo menos 50% dos componentes impressos) sendo que o objetivo desta impressora, criada por Adrian Bowyer, é poder imprimir, num futuro próximo todos os seus componentes, aumentando significativamente a sua produção,



2.22

2.22
Exemplo de uma impressora doméstica RepRap
[RF 2.22]

Com um maior número de aplicações possíveis para materiais

passíveis de serem impressos, em conjunto com o aparecimento de FabLab's e projetos open-source, surge uma nova revolução industrial, uma vez que

estamos perante uma mudança nos processos de fabrico. Impõe-se, então, a criação de metodologias aplicadas ao fabrico aditivo para que não se perca o controlo da produção, à semelhança daquilo que aconteceu durante a revolução industrial.

O design excelente é invisível (fig. 2.23). Isto significa que os produtos funcionam tão bem que nos esquecemos deles, que passado algum tempo de utilização são dados como adquiridos (Antas, 2007).

2.23

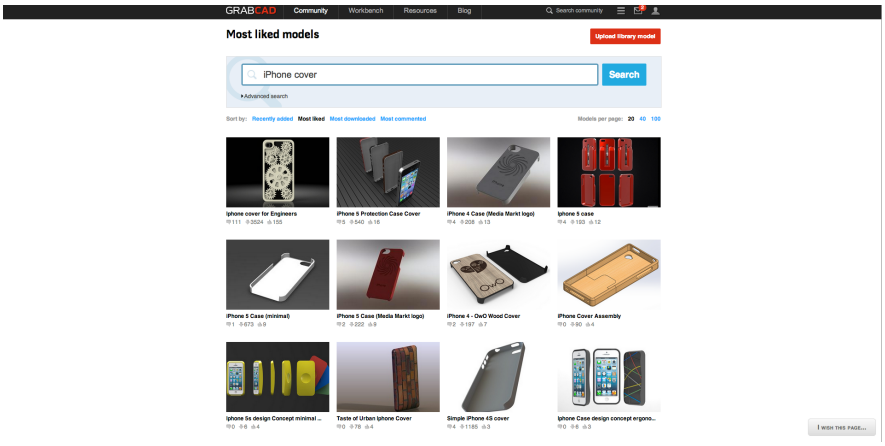


2.23
Objetos de design excelente ou invisível
[RF 2.23]

Ao acordar de manhã, por exemplo, o simples ato de procurar acessórios a combinar com a indumentária e não possuir o pretendido, será possível obtê-lo num futuro próximo através de fabrico aditivo.

A existência de bases de dados tridimensionais são ótimos instrumentos de ajuda porque não exigem que uma pessoa saiba modelar. Basta-lhe apenas descarregar os ficheiros dessas mesmas bases como o 3DContents, o GrabCad, ou o Thingyverse.com (fig. 2.24). Estas bases de dados foram criadas para ajudar os proprietários de impressoras tridimensionais, a descarregarem e até partilharem livremente os seus projetos.

2.24



2.24
Base de dados de capas de iPhone 4 no site GrabCad.com
[RF 2.24]

No setor industrial a fabrico aditivo vem sendo usada há algumas décadas. Trata-se de um processo de fabrico aditivo, onde o objeto tridimensional é criado através da adição de várias camadas sobrepostas de material criando assim um objeto físico tridimensional, (Kurt e Colegrove, 2012).

A reprodução de objetos tridimensionais ou até mesmo o comércio das peças pode corresponder a uma violação da lei dos direitos de autor. Com a facilidade de descarregar ficheiros tridimensionais da internet, perdemos a cada descarga a identidade do criador do próprio objeto. Ao contrário do que já existe nos livros, CD´s e filmes, leis dos direitos de autor e de reprodução, a impressão tridimensional ainda não está legalmente protegida (Massis, 2013).

Presentemente vive-se uma nova revolução industrial e com a ajuda da internet, das bibliotecas open source, qualquer pessoa no conforto do seu lar pode obter um produto físico num curto espaço de tempo, (Bowyer, 2010). Se precisamos de algum dado relativo à impressão tridimensional, basta ir à internet e fazer um download, à semelhança do que já acontece com filmes, músicas, livros, etc.

Há ainda a possibilidade de reciclar as peças caso não satisfaçam o consumidor. Esse desenvolvimento tecnológico leva a crer que o futuro será cada vez mais facilitado e haverá mais respostas para corresponder aos anseios e necessidades físicas das pessoas e melhorar a qualidade de vida e, ainda, proporcionar e despertar sentimento de estima e de emoção.

Há cada vez mais designers industriais a apostarem em técnicas de fabrico aditivo para a criação de peças de autor. O que dantes servia para a ajuda no processo de desenvolvimento de produto, no teste de forma, publicidade e moldes para produção industrial, agora é utilizado como desenvolvimento de peças de autor.

Projetos que não chegavam a ser concretizados devido às dificuldades e riscos, hoje podem ser fabricados a um custo relativamente baixo e com menor risco. Um projeto pode evoluir com as mudanças das tendências do mercado, o que significa que a qualidade, o estilo, ou a função do mesmo pode mudar mais facilmente sem acarretar custos significativos e dispêndio de mais tempo (Wohlers, 2013).

Em muitos casos seria injusto apelidarmos estas peças apenas como objetos de design, mas sim considerá-las como obras de arte, pelo cunho pessoal do autor, das suas emoções e pensamentos contidos na sua criação. Pondo de lado o contexto, experiência, funcionalidade e usabilidade, a peça pode resultar de um conceito e visão artísticos e tornar-se num objeto culto por parte do utilizador. Essa peça transpõe as balizas da sua materialidade e adquire uma personalidade ou individualidade que a liberta do limite material e a reveste de um simbolismo muito especial para o criador e consumidor (fig. 2.25).

No entanto, há cada vez uma maior preocupação, por parte de designers de produto e industriais em coordenar a forma e a função dos objetos, imprimindo assim um cunho diferente do "normal", convertendo-os em símbolos de culto, embora apresentem características funcionais, porque foram geralmente criados com esse objetivo (fig. 2.26).

2.25 2.26





2.25
Objeto de culto Juicer, criado por Philippe Starck
[RF 2.25]

2.26
Espremedor de citrinos impresso tridimensionalmente focado na função
[RF 2.26]

O ser humano tem de aproveitar e explorar ao máximo tudo aquilo que a tecnologia encerra e pode ser explorado, o FA é uma peça chave a ter em conta. Sem limites formais tudo pode ser criado, ou seja, os processos de fabrico tradicionais que até agora poderiam ser um entrave à criação pertencem ao passado, com a eliminação de barreiras.

O fabrico aditivo tem vindo a tornar-se cada vez mais importante não só pela sua vasta gama de materiais, cores e processos, mas porque representa um diferencial de valor acrescentado muito significativo em relação à competividade.

Opta-se por utilizar esta técnica no auxilio de aplicações da fundição, guias de perfuração, de corte, e outros tipos de ferramentas. Surgem todos os dias,

aplicações inovadoras no fabrico de componentes de objetos e produtos finais. Os desafios de produção que envolvem objetos tridimensionais são eficientes, rápidos e em muitos casos com um custo menor graças às tecnologias de adição (Wohlers, 2013).

As peças empenadas, peças de pouca resistência e monocromáticas do passado deram lugar às resistentes, coloridas, texturadas e combinadas com diferentes materiais (barro, nylon, madeira, chocolate, PET) (fig. 2.27).

2.27



2.27
Exemplo de uma peça (esquilo) impresso em vários materiais (barro, aglomerado de madeira, nylon, PET, etc.)
[RF 2.27]

Com a evolução tecnológica, a criação de peças de uso diário através do fabrico aditivo é uma realidade cada vez mais presente.

Se uma imagem vale mais que mil palavras, então, certamente, um modelo físico vale mais que mil imagens. Os modelos podem ajudar a esclarecer as ambiguidades dos desenhos e as especificações de engenharia de projeto e atenuar os excedentes do projeto em termos de prazos e custos (Wholers, 2013).

Como o grande objetivo de produção está no alargamento do mercado, o design vai aliar à funcionalidade e usabilidade do objeto uma marca irreverente no intuito de torná-lo especial, um corpo vivo, capaz de despertar emoções e criar um estado de alma muito especial e até inesperado.

3

Impressão tridimensional

A impressão tridimensional tem dois processos de aplicação distintos: a impressão tridimensional de filamentos, apoiada no processo de fabrico aditivo de FDM (Barnatt, 2013) e a impressão tridimensional de pós aglutinantes, baseada no processo de fabrico aditivo de pós da Z Corporation.

A maior parte das pessoas tem uma opinião formada acerca da impressão 3D. Há as que vivem com muito entusiasmo a possibilidade de fabricar qualquer objeto e em qualquer lugar, também outras duvidam do impacto que a impressão 3D pode causar na indústria.

A impressão tridimensional, a partir de 2001, alcançou um nível elevado, como sendo um processo competitivo relativo ao custo, velocidade e vendas de equipamento rivalizando com outras máquinas de fabrico aditivo (Wohlers, 2005).

Nos últimos vinte anos assistiu-se a uma crescente evolução das técnicas de fabrico aditivo, destacando-se a impressão tridimensional (fig. 3.1), que no passado, servia de apoio ao desenvolvimento de novos produtos e no presente ocupa um lugar de destaque com um mercado manifestamente sólido e em expansão (fig. 3.2).

3.1 | 3.2





3.1
Primeira impressora tridimensional
[RF 3.1]

3.2
Object Impressora de grande qualidade atualmente no mercado
[RF 3.2]

O processo de impressão tridimensional foi patenteado em 1989 no MIT (US 5121329 A) e serve-se dos scanners tridimensionais e jatos de material para a criação de novos artefactos, produzidos com a adição de camadas de material (ou pós com um ligante ou filamentos).

O termo impressão 3D é utilizado, pela maioria das pessoas, para referir qualquer tecnologia que crie um objeto sólido a partir de dados computorizados, através da construção por adição de muitas camadas finas. No entanto, alguns engenheiros e puristas do hardware argumentam que a impressão 3D se refere apenas a dispositivos que fabriquem objetos utilizando a tecnologia de pós e jatos ligantes para criar objetos tridimensionais (Barnatt, 2013).

A velocidade de produção e o baixo custo das impressoras tridimensionais contribuem para uma produção em grande escala de modelos ao longo do desenvolvimento do produto. Os designers dispõem, assim, de uma ferramenta de ajuda no fabrico de novos objetos, criando amostras físicas que oferecem a oportunidade de avaliar qualquer produto, se acharem conveniente (fig. 3.3).

3.3



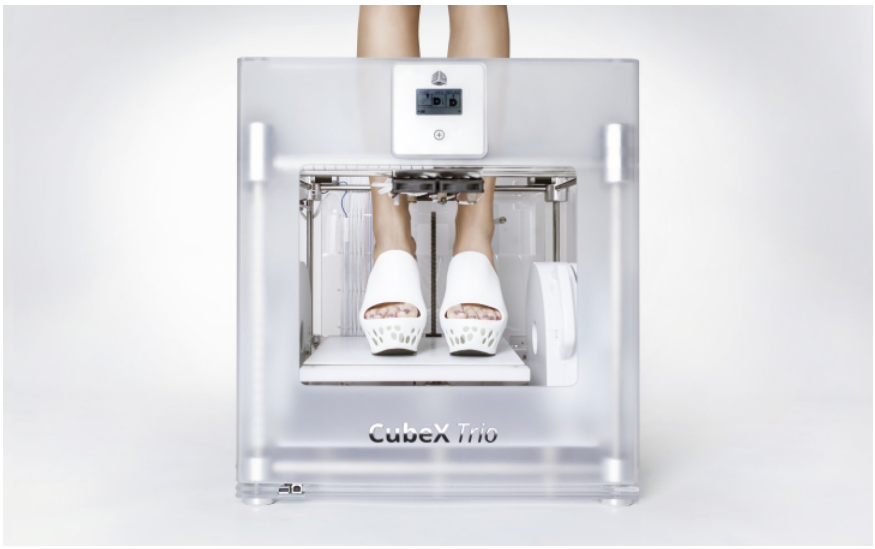
3.3
Peças impressas tridimensional mente prontas para consumo ou venda
[RF 3.3]

São assinaladas algumas deficiências nas impressoras tridimensionais, como a limitação de funcionalidade e a escassa resistência do material. Requer um pós-processamento para a limpeza e infiltração dos materiais a fim de melhorar a resistência das peças. Nas aplicações menos exigentes o acabamento é mais superficial, não tão apurado.

A tecnologia de impressão tridimensional reduz custos e aumenta a velocidade de produção com bastante precisão. Futuramente, esta tendência fará com que as empresas explorem o processo de produção de

peças para imprimir diretamente a partir do modelo de protótipo para a produção industrial (fig. 3.4).

3.4



3.4
Alusão aos objetos prontos para consumo após a impressão [RF 3.4]

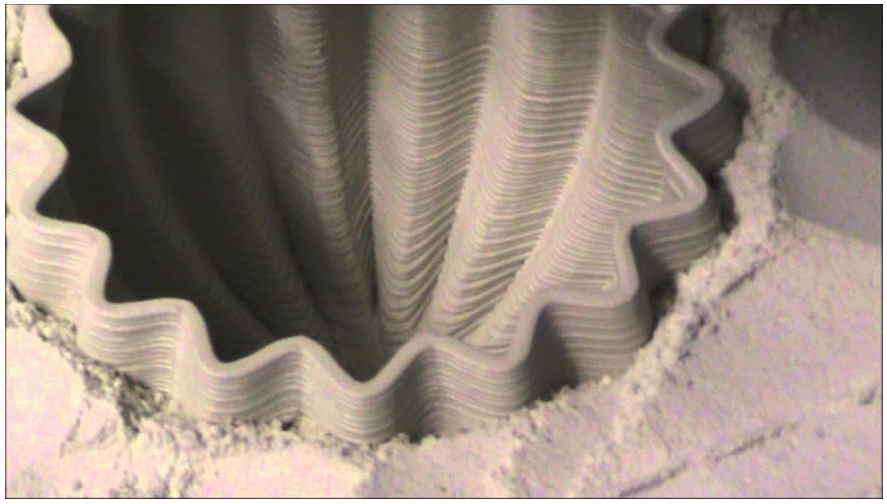
O aparecimento de uma arma de plástico em Maio de 2013, impressa tridimensionalmente, tornou-se assunto do momento uma vez que é indetetável em sistemas de segurança. O ficheiro desta peça encontrava-se disponível a qualquer pessoa que o quisesse descarregar e que dispusesse de uma impressora apta a produzir uma arma só para si. A impressão tridimensional não se limita às armas de fogo; trata-se de uma ferramenta essencial para o dia a dia.

3.1

Impressão 3D de pós aglutinantes

Esta tecnologia de impressão tridimensional apenas empregava material em forma de pó. Neste processo, o material é associado a uma substância aglutinante depositada por impressão tipo jato de tinta (similar às impressoras 2D). De seguida um rolo espalha e nivela o material e a cabeça de impressão deposita essa substância aglutinante segundo a geometria da camada de corte. O processo não exige estrutura de suporte, visto que o material ao redor da peça não processado age como suporte natural (fig. 3.5). Podem ser fabricadas juntamente várias peças. Não há limite quanto a materiais a utilizar, sendo o usual cerâmica, polímero, gesso ou compósitos à base de amido. Cada tipo de pó exige um aglutinante específico.

3.5



3.5
Objeto impresso tridimensional mente por pós aglutinantes [RF 3.5]

As peças produzidas segundo este processo necessitam de uma fase de pós-processamento, a fim de aumentar a resistência e melhor acabamento.

O processo de impressão tridimensional de pós aglutinantes é baseado no processo de SLS. Neste caso qualquer material pode ser transformado em pó e ser utilizado nesta tecnologia. Quando se pretende uma revisão rápida do projeto, a peça pode ser deixada verde, ou seja sem pós-processamento. Estamos perante uma peça excessivamente frágil. Para se obter uma peça mais resistente é necessário impregnar cera no material. Ainda é possível aumentar a resistência se infiltrar nas peças resinas epoxídicas. Para que um

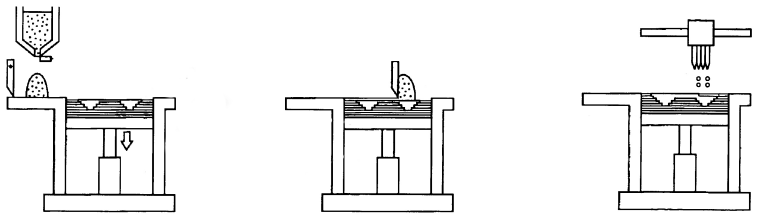
protótipo fique mais flexível, semelhante à borracha, então utiliza-se um infiltrante à base de uretano (Volpato, 2007).

Este processo evita o uso de laser sendo a sua tecnologia das mais rápidas, até hoje. Não necessita de suporte e não há perda de material porque o pó solto pode ser reutilizado e oferece a vantagem de produzir peças coloridas e texturadas.

Conforme o princípio deste processo, os materiais são reduzidos a pó e colocados no reservatório, depois é espalhado e nivelado com um rolo sobre a superfície da base onde se encontra a peça em impressão. Este sistema recua para a posição inicial. A cabeça de jato de tinta imprime um líquido aglutinante fotopolimérico sobre as partículas do pó, descrevendo a geometria da camada. Após a cura do ligante, a plataforma desce no eixo zz com a altura da espessura da camada e o sistema de espalhar continua o deslocamento depositando mais uma camada e recuando depois para a posição primitiva. Este ciclo é repetido até a finalização da peça. Terminado o processo, a base que contém a peça sobe e esta, ainda verde, é retirada do "bolo" formado (fig. 3.6).

Este processo para além de não recorrer ao laser é bastante rápido e tem a vantagem de produzir peças de grande volumetria podendo atingir os 500 x 500 x 200 (mm), como a Objet500 Connex3 da Stratasys.

3.6



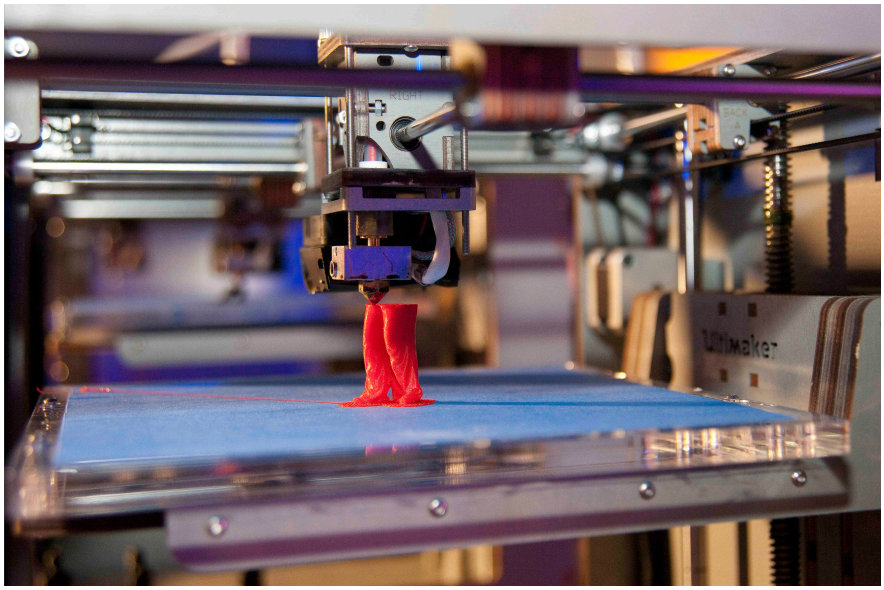
3.6
Esquema do método de impressão de pós aglutinantes [RF 3.6]

3.2

Impressão 3D por extrusão filamentar

Atualmente a maioria das impressoras 3D cria objetos com a extrusão de um material semilíquido através de uma cabeça de impressão (fig. 3.7). Este processo está preparado para aceitar vários materiais. Os materiais mais utilizados são os termoplásticos, nomeadamente o ABS e o PLA.

3.7



3.7
Objeto a ser impresso por extrusão filamentar
[RF 3.7]

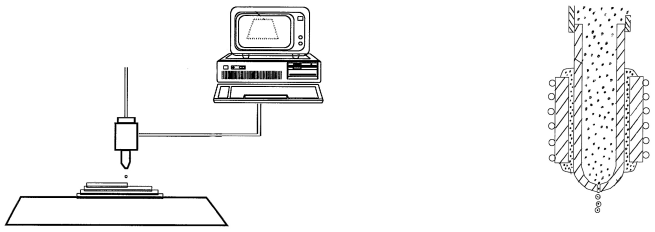
Quanto mais se aprende sobre a impressão 3D, mais se confirma que é uma indústria em constante movimento, onde abundam muitos e diferentes termos que geralmente têm o mesmo significado.

Compreende-se facilmente que a tecnologia devia apenas ser denominada como "extrusão termoplástica". Foi em junho de 2012 que a ASTM International determinou que o nome padrão e genérico para este tipo de tecnologias de impressão 3D deveria ser extrusão filamentar

Uma bobina de material alimenta lentamente uma cabeça de impressão aquecida, esta funde o filamento que depois é extrudido. O filamento derretido é depositado diretamente numa superfície horizontal, plana e maciça, chamada plataforma de construção. Aqui o filamento adere e arrefece rapidamente com a cabeça de impressão a mover-se no espaço 2D, de forma a poder traçar a primeira camada a ser impressa.

Quando a primeira camada de um objeto é traçada, a plataforma de construção baixa ligeiramente e a próxima camada de termoplástico é depositada em cima da anterior. Este processo é repetido o número de vezes necessário até o objeto ficar completamente impresso (fig. 3.8). Na realidade o processo assemelha-se à construção de um objeto, utilizando uma pistola de cola quente controlada por um computador.

3.8



3.8
Método de impressão por extrusão filamentar
[RF 3.8]

Algumas impressoras de extrusão termoplástica obtêm esse movimento com o deslocar da cabeça de impressão num eixo xx e yy. Também outras impressoras, em alternativa, deslizam a cabeça de impressão no eixo zz enquanto que a base se movimenta no eixo xx ou yy.

As impressoras 3D de filamentos poliméricos de variados modelos já se encontram disponíveis no mercado (ver anexo I).

Atualmente é possível adquirir uma impressora tridimensional por extrusão termoplástica para uso domestico entre 500€ e 5000€ Para fins industriais mais complexos e sofisticados os preços mínimos rondarão os 7500€.

Uma impressora 2D tem uma área de impressão máxima, e o mesmo acontece com as impressoras 3D que possuem um volume de construção que determina o maior objeto possível de ser impresso.

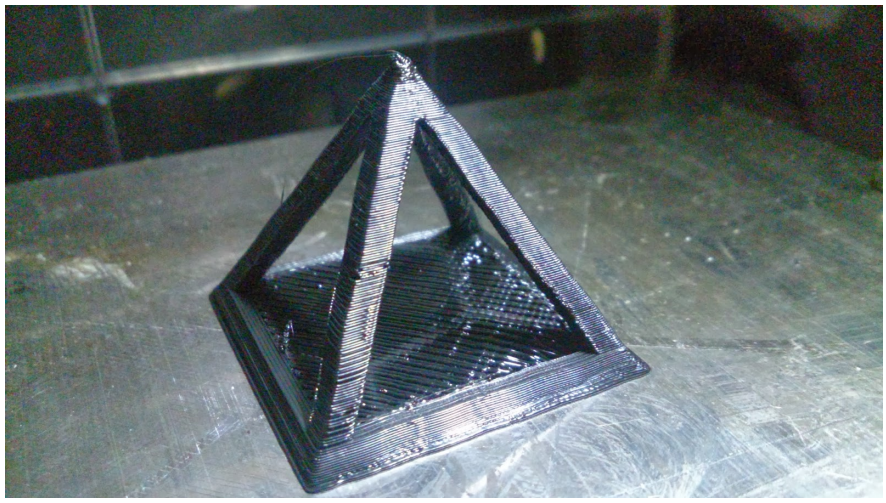
Nas impressoras domésticas, por extrusão termoplástica, o volume de impressão começa normalmente nos 125x125x125 mm. Quanto maior for a área de impressão, maior poderá ser o objeto criado, assim como é possível o fabrico em maior quantidade de objetos de pequena dimensão.

A extrusão termoplástica é uma tecnologia de impressão extraordinária, por permitir a produção de peças de pequena e média dimensão, de forma simples com aplicação de material já utilizado e testado. Embora tudo isto pareça bom demais não anula as limitações existentes e que devem merecer a nossa atenção.

Se compararmos com outros métodos de fabrico aditivo, os objetos produzidos por extrusão termoplástica podem ter um efeito escada significativo. Quer dizer que, ao analisar cuidadosamente um objeto impresso tridimensionalmente conseguimos identificar as camadas. Isto pode ser especialmente visível em superfícies curvilíneas ou inclinadas (fig. 3.9).

Uma pirâmide produzida por extrusão termoplástica pode parecer imperfeita quando comparada com uma pirâmide produzida por técnicas de fabrico manual.

3.9



3.9
Objeto com efeito escada pronunciado
[RF 3.9]

O facto de um objeto resultar da extrusão termoplástica e parecer ser feito em degraus, ou não, depende da resolução e precisão da impressora que o criou. As impressoras para fins industriais são capazes de extrudir objetos poliméricos em camadas de 0,1mm; ao compararmos com impressoras de uso doméstico normalmente é possível obter uma espessura de camada mínima entre 0,2 a 0,5mm (fig. 3.10). É do senso comum que o olho humano não consegue distinguir degraus com menos de 0,1mm e, quando se julga ter alcançado esse nível de detalhe, a superfície parece ser levemente rugosa.

3.10



3.10
Peça impressa com diferentes espessuras das camadas
[RF 3.10]

Embora uma impressora 3D por extrusão termoplástica consiga produzir objetos com camadas extremamente finas, há ocasiões em que o utilizador pode optar por construir objetos com camadas mais espessas para poupar

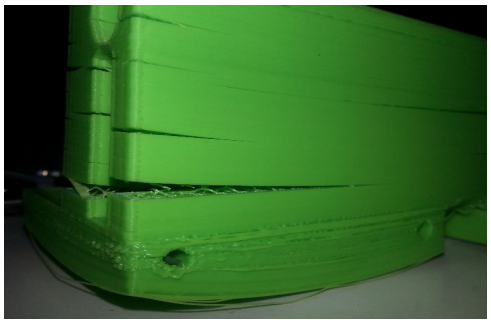
tempo na produção. No entanto o objeto impresso tridimensionalmente, com camadas de 0,3mm de espessura apresentar-se-à mais rugoso do que o impresso com camadas de 0,15 mm mas também gastará metade do tempo na impressão.

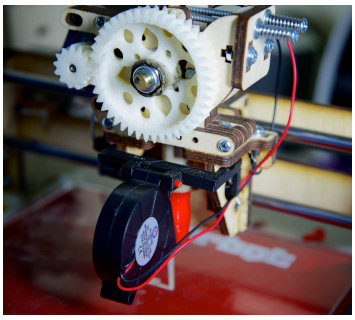
A evidente existência de camadas nos objetos impressos, pode causar deformações e contrações no período da impressão. O facto pode acontecer durante o arrefecimento do objeto impresso. Com a intenção de prevenir esse problema, a maioria das impressoras por extrusão termoplástica são dotadas de uma plataforma de impressão aquecida que vai evitar que as camadas inferiores de um objeto arrefeçam mais depressa do que as superiores.

Para reduzir ainda mais as possíveis deformações, algumas impressoras estão munidas de áreas de impressão fechadas e, desta forma, evitam-se as correntes de ar, permitindo um controlo mais eficaz. Os fabricantes de impressoras de alta gama, como a FDM da Stratasys confirmam que atualmente a deformação e a contração dos objetos já não são problemas significativos (fig. 3.11).

Para tentar lidar com estes problemas, algumas impressoras tridimensionais de uso doméstico são dotadas de pequenas ventoinhas (fig. 3.12). Estas são fixas na cabeça de impressão, que apontam para baixo a fim de aumentar a velocidade de arrefecimento das camadas acabadas de imprimir. Considera-se ser possível reduzir as deformações e o contrações se os objetos forem impressos mais lentamente e prestada atenção à altura inicial da cabeça de impressão.

3.11 | 3.12





3.11
Peça com deformação
[RF 3.11]

3.12
Cabeça extrusora com ventoinha
[RF 3.12]

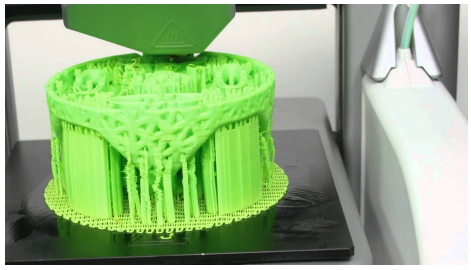
A deformação pode ser controlada através de design do objeto independentemente do tipo de impressora. Quanto mais oco for um objeto menos sujeito fica à deformação. Os itens impressos tridimensionalmente

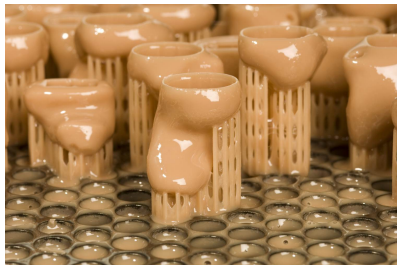
podem ser ocos ou sólidos. Ao tornar o interior de um objeto menos compacto, fica reduzida a hipótese de exercer força para o exterior e de se deformar durante o arrefecimento.

A impressão de objetos ocos exige menos tempo e menos filamento havendo assim, uma redução de custos.

Existe outro problema patente na impressão tridimensional, quando a base da peça tem um volume inferior à parte restante, necessitando então de se recorrer a suportes (fig. 3.13). Quase todas as impressoras por extrusão termoplástica têm estruturas de suportes que são removidas após a impressão ficar completa (fig. 3.14).

3.13 | 3.14
Exemplos de suportes na impressão tridimensional
[RF 3.13]
[RF 3.14]





As estruturas de suporte podem ser criadas por duas maneiras diferentes. Há impressoras, mais baratas que expelem uma malha fina de suportes quebráveis servindo-se do mesmo material plástico utilizado para imprimir o objeto. Após a impressão, todos esses bocados extra de plástico devem ser removidos com uma faca ou qualquer outro utensílio ou até partidos à mão. Extraídas as estruturas de suporte pode ser ainda necessário limpar melhor o objeto final, utilizando lixas ou outras ferramentas, para eliminar qualquer vestígio existente (fig. 3.15).

As impressoras criam suportes utilizando uma segunda cabeça de impressão e expelindo um material de suporte solúvel. Uma vez impresso o objeto, este é colocado num tanque que contém um detergente à base de água. Depois um agitador faz a solução circular à volta do objeto e o detergente vai dissolver o material de suporte; o objeto, sem suportes, é então removido, lavado em água corrente e seco.

As impressoras tridimensionais que expelem suportes solúveis têm um processo de impressão mais complicado e moroso comparado com o processo das impressoras com suportes quebráveis. Os resultados são melhores nas peças impressas com suportes solúveis.

3.15



3.15
Remoção de suportes quebráveis [RF 3.15]

Feita a remoção dos suportes, todos os objetos impressos através da extrusão termoplástica ficam prontos para a sua utilização, mas pode ser ainda necessário lixar, revestir ou pintá-los (fig. 3.16).

A impressão tridimensional de filamentos poliméricos é uma técnica de fabrico aditivo segura, limpa e relativamente barata, principalmente se os objetos foram impressos sem suportes ou com suportes quebráveis.

3.16



3.16
Diferença entre um objeto com e som suporte [RF 3.16]

3.2.1

Materiais

Apesar da existência de muitos materiais que possam ser utilizados no processo de impressão 3D de filamentos, o mais recorrente é o acrilonitrilo butadieno estireno, também conhecido como ABS (anexo x CES). Trata-se de um material termoplástico que é abundantemente utilizado na indústria, no que respeita à injeção de moldes para muitos produtos, tais como, os blocos de Lego (fig. 3.17), capacetes para ciclismos, esferográficas.

3.17

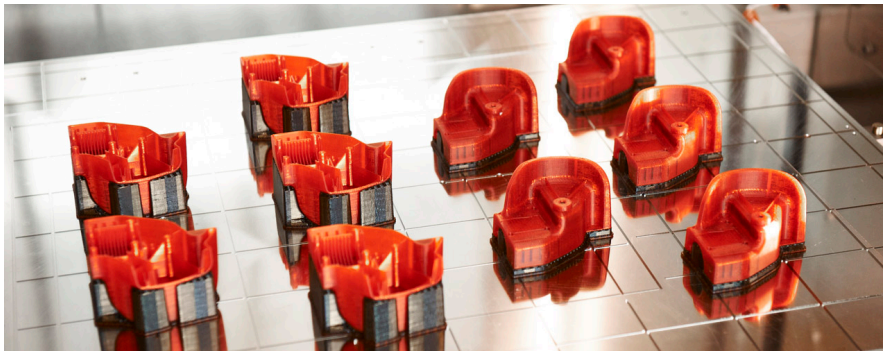


3.17
Conjunto de Legos
[RF 3.17]

É muito importante o facto de as impressoras 3D por extrusão plástica puderem imprimir itens utilizando ABS com as mesmas propriedades materiais dos itens produzidos através da injeção de moldes padrão. Isto significa a possibilidade de os fabricantes imprimirem, tridimensionalmente as peças e saberem exatamente o que esperar do produto final, evitando ou poupando a realização de testes contínuos sobre a resistência, durabilidade, segurança e criação de moldes.

Quando são necessárias pequenas quantidades de peças em ABS é mais económico recorrer à impressão tridimensional por extrusão termoplástica, em vez de pagar pelo fabrico de moldes cujas peças resultariam do método de injeção (fig. 3.18) (Barnatt, 2013).

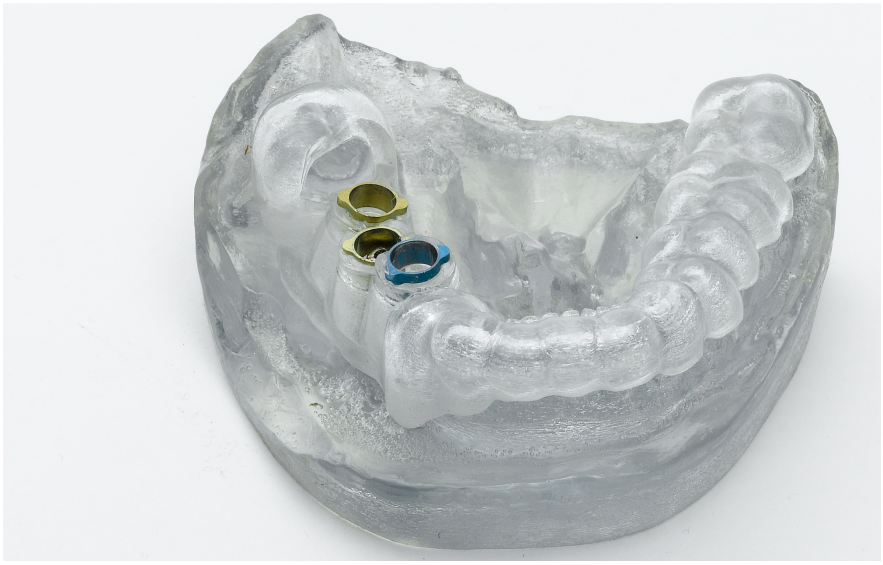
3.18



3.18
Pequena produção de peças em ABS impressas [RF 3.18]

No mercado atual existem bobinas de filamentos ABS para impressão 3D de variadas cores e com diâmetro aos filamentos de 3 ou 1,75 mm. Para além do ABS, outros materiais são utilizados frequentemente na extrusão termoplástica como o policarbonato, PC e compósitos ABS-PC. Há também um filamento o ABSi (ABS translúcido desenvolvido pela Stratarsys) que pode ser esterilizado por radiação gama e óxido de estireno, permitindo assim, a impressão 3D de peças usadas na industria alimentar ou no campo da medicina (fig. 3.19) (Barnatt, 2013). Como o ABSi é translúcido torna-se útil na produção de itens que necessitem de transmitir luz, como nos candeeiros

3.19



3.19
Molde dentário impresso em ABSi [RF 3.19]

O ácido poliláctico é outro material largamente utilizado na extrusão termoplástica, vulgarmente conhecido por PLA. Trata-se de um bioplástico que é atualmente produzido com produtos agrícolas como o amido de milho ou a cana de açúcar e por isso, em relação ao ABS, mais amigo do ambiente. O PLA é muito seguro e não emite vapores tóxicos quando aquecido, o que o torna preferido por educadores que ensinam a impressão tridimensional nas escolas (fig. 3.20).

3.20



3.20
Mobiliário urbano em PLA
[RF 3.20]

O filamento de PLA apresenta uma variedade de cores opacas e translúcidas (fig. 3.21), sendo a opção dos adeptos da impressão tridimensional animados pela facilidade da sua utilização face ao ABS uma vez que pode ser impresso em superfícies frias, é mais brilhante, tem uma textura superficial mais suave e a sua impressão é mais rápida.

3.21



3.21
Gama de cores disponíveis para impressão em PLA
[RF 3.21]

3.3

Aplicação de impressão tridimensional no design industrial

Os designers recorrem cada vez mais ao fabrico aditivo para criar os seus objetos. O recurso cada vez mais frequente a este processo tem a ver com a facilidade da sua aplicação e com a liberdade formal, o que atrai não só os designers como outros grupos da sociedade.

Técnicas de fabrico aditivo nomeadamente a impressão tridimensional proporcionam um mercado de produtos mais direcionados para as nossas necessidades e estilo pessoal, podendo até apresentar criações únicas e com uma marca afetiva.

Analisaram-se alguns exemplos de designers e companhias que optaram por utilizar processos de fabrico aditivo (na sua maioria a impressão tridimensional) para o desenvolvimento dos seus produtos. A escolha baseou-se na popularidade dos produtos que, devido às suas características, ocupam um lugar de destaque na imprensa e nas comunidades de aficionados. Passa-se a indicar:

3.3.1

Centro de Arte Contemporânea Z33

A Bélgica tem três línguas oficiais (francês, flamengo e alemão) e com divisões regionais sendo problemático considerá-la uma unidade nacional, um país. Considerando-se "em construção" distingue-se, na Europa segundo o diretor do centro de arte contemporânea Z33 em Hasselt, pelo seu design credível e estável. O financiamento cultural é regional, a educação e os meios de comunicação guiam-se pela orientação regional, constituindo uma divisão pragmática.

A impressora 3D adquirida em 2001 permitiu a Unfold-Claire Warnier e Dries Verbruggem apresentarem objetos com formas diferentes de camadas muito finas, expondo em Istambul na Bienal de Design 2012 (fig, 3.22).

3.22



3.22
Peças desenvolvidas no Centro de Arte Z33
[RF 3.22]

O centro de Arte Contemporânea também desenvolveu um modelo de produção e distribuição que envolveu um pequeno grupo de produtores locais.

Passados dez anos a Z33 entrou no centro da discussão sobre a necessidade de criar uma disciplina projetual na direção duma mudança das condições sociais e ambientais que afetam o país, problema levantando com as mostras "Designing design crítica" 2007, "1% Água", 2008 (fig, 3.23), "Alternar a Natureza", 2010, "A máquina", 2012 (fig, 3.24).

3.23 3.24





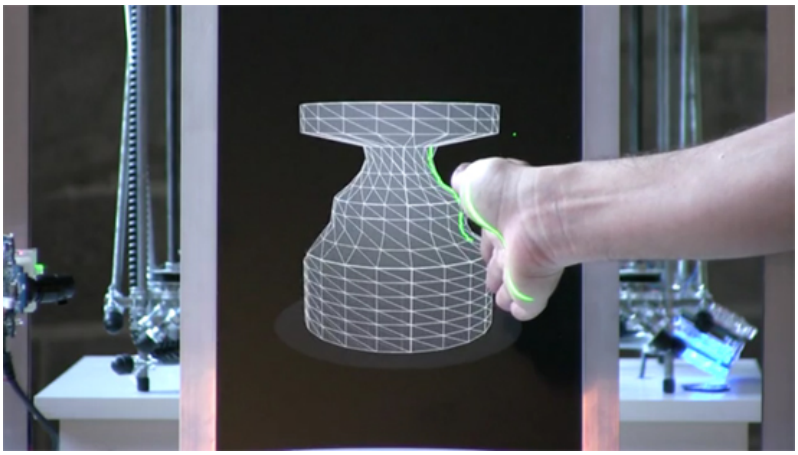
3.23
Mostra 1% Água
[RF 3.23]

3.24
Instalação
A máquina
[RF 3.24]

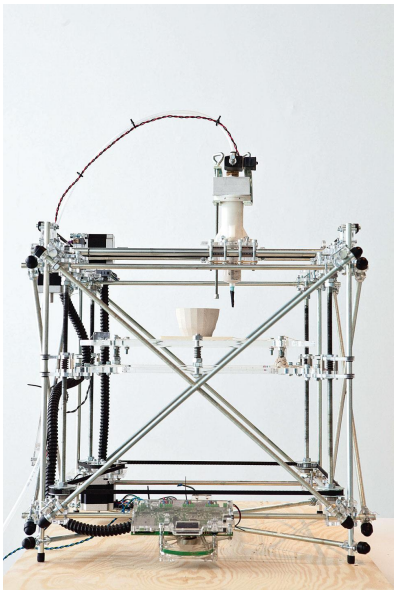
A exposição de 2010 "Eletronique L'artisan" (fig, 3.25, fig, 3.26); resultou de um projeto open-source o RepRap, na criação de uma impressora 3D de cerâmica (fig, 3.27).

3.25

3.26 3.27







3.25
Utilizador a interagir com a aplicação "Eletronique L'artisan"
[RF 3.25]

3.26
Peças desenvolvidas na exposição
[RF 3.26]

3.27
Impressora tridimensional de pasta cerâmica desenvolvida pelo Centro de Arte Z33
[RF 3.27]

Com o sistema de projeto modular "estruturas abertas" há a possibilidade de qualquer um criar os seus produtos com a ajuda de um simples Kit de peças. É possível desenvolver novos projetos ou adaptar os existentes. A titulo de exemplo, pode-se optar por fazer um determinado objeto através de um design simples, embora o preço ultrapasse qualquer outro à venda no mercado, mas aqui temos de considerar as exigências ecológicas que foram respeitadas..

O sistema modular de "estrutura aberta" permite independência e simultaneamente espírito comunitário. Com a impressão 3D (fig, 3.28), software de design simples e o youtube, criam-se meios para uma cultura mais participativa. Acima de tudo pretende preparar terreno para a mudança de mentalidades no sentido de haver maior espírito cooperativo.

3.28



3.28
Detalhe da cabeça de impressão
[RF 3.28]

3.3.2

MGX

MGX é uma empresa da Materialise que hoje procura criar produtos distintos com as tecnologias de fabrico aditivo.

Com a produção de candeeiros, móveis e acessórios, a MGX ocupa-se em criar ambientes "mágicos" através das suas peças, como o desejo de proporcionar bem estar não só aos ocupantes desses espaços mas também aos amigos (fig, 3.29). Conforto e tranquilidade é também uma preocupação.

3.29



3.29
Banco One_Shot
criado por Patrick
Join
[RF 3.29]

Na concretização dessa linha, os produtos são fabricados por Impressão 3D, SLA e SLS que permite uma melhor combinação entre o artesanato moderno e o tradicional, com uma identidade nas formas, que por processos de fabrico tradicionais não seriam possíveis.

Cada peça é desenhada individualmente (fig, 3.30) e depois de produzida é sujeita a acabamentos e retoques artesanais manuais (fig, 3.31).

3.30 | 3.31



3.30
Candeeiro Damned de Luc Merix
[RF 3.30]

3.31
Detalhe do candeeiro
[RF 3.31]

A linha de produção da MGX foi bem aceite, pois o mercado estende-se a mais de vinte países. A qualidade e o valor artístico são fatores muito consideráveis, cujo reconhecimento está na atribuição de prémios como os Red Dot Design Awards (fig, 3.32) e na aquisição de peças, para juntarem às coleções de museus do MoMA nos Estados Unidos da América e o Pompidou em França.

3.32



3.32
Candeeiro Lily vencedor de um Red Dot Design Award 2005, desenhado por Janne Kyttanen
[RF 3.32]

4.3.3

Ashuach Assa

Assa Ashuach, natural de Israel formou-se na academia Betsael de Art e Design em Jerusalém e concluiu depois o mestrado no Royal College of Art no Departamento de Design de Produto Ron Arad em 2003.

Assa tem o seu estúdio em Londres, cujo trabalho se ocupa da pesquisa e consultoria de projetos avançados e de fabrico. (fig, 3.33). A sua produção já foi exposta em galerias e entrou em exposições permanentes e coleções públicas. Também alguns dos seus trabalhos foram adquiridos em 2003 pela sociedade de arte contemporânea de Londres.

3.33

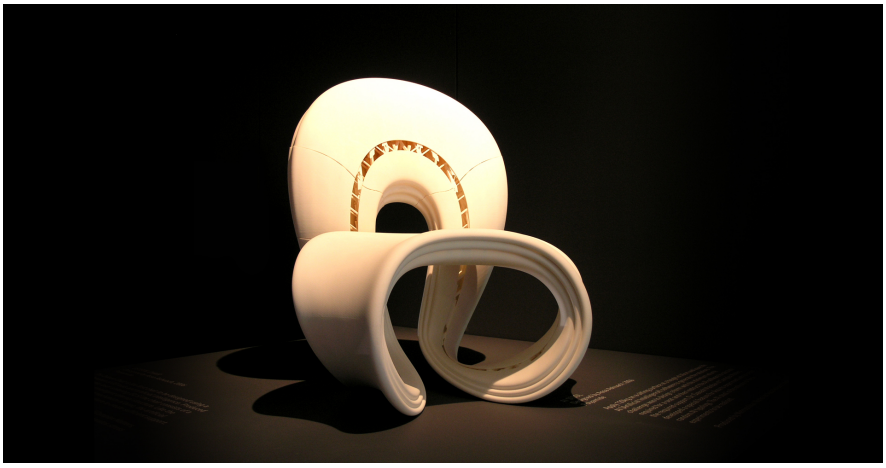


3.33
Bon Bon Lignt
Candeeiro
[RF 3.33]

Em 2004, Assa apresentou para o mercado de massa, contratado pela Materialise MGX (fig, 3.34), um dos seus primeiros produtos impressos tridimensionalmente. Também foi convidado em 2005 pelo Tank Museum de Londres, para apresentar peças de sua autoria (fig, 3.35).

3.34

3.35



3.34
Candeeiro OMI desenvolvido para a MGX
[RF 3.34]



3.35
Exposição realizada no Tank Museum em Londres
[RF 3.35]

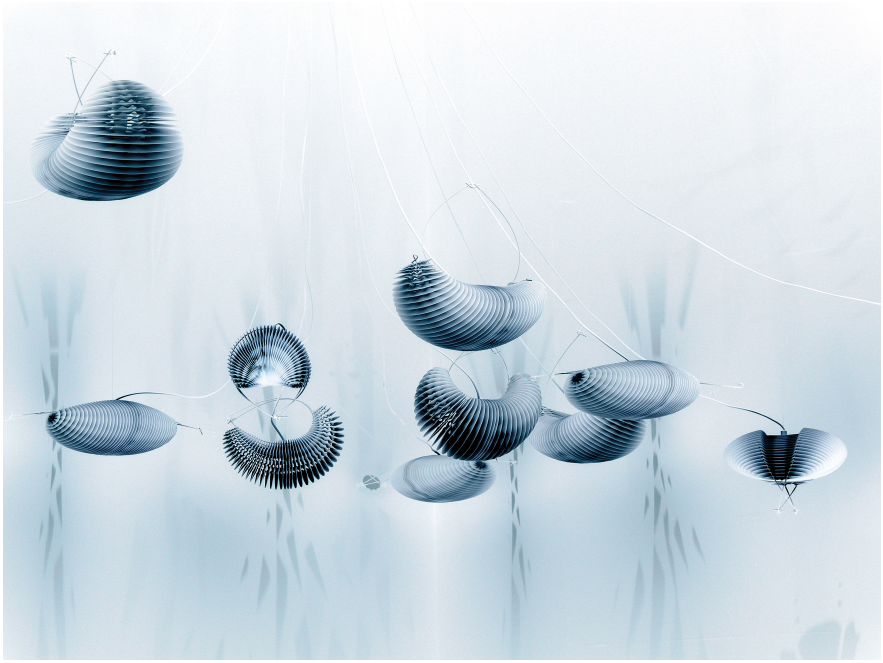
A conceção da cadeira Osteon resultou da combinação de ferramentas 3D e da inteligência artificial, conseguindo-se uma cadeira fabricada aditivamente com todas as exigências mecânicas necessárias à sua estabilidade. A Osteon foi premiada em 2006 (fig, 3.36). Na sua exposição no Rabih Hage Galeria em Londres, apresentou o candeeiro Ai, (fig, 3.37) um mecanismo biologicamente inspirado, como se fosse um cérebro digital.

Foi convidado para dirigir o novo mestrado "MA Design Suit" da London Metropolitan Unirversity.

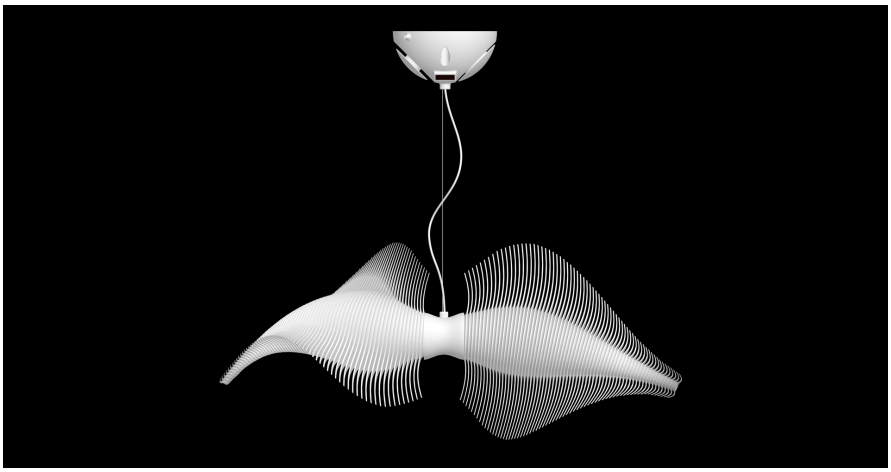
Assa, em associação com a Digital Forminf Lda. e Ucodo Lda., desenvolveram um projeto financiado pelo governo, que consistia na criação de uma coleção de objetos impressos tridimensionalmente, para o Museu da Ciência de Londres, assinalando os cem anos de existência.

3.36

3.37



3.36
Cadeira Osteon
[RF 3.36]



3.37
Candeeiro ,Al
[RF 3.37]

3.3.4

Michael Éden

Éden, após vinte anos num estúdio de olaria, realizou um projeto de Mestrado no Royal College of Art.

Debruçou-se no design digital e fabrico com base nas artes artesanais (experiência vivida por Édan).

Na sequência do projeto foram criadas várias peças, inspiradas em objetos do passado (objetos históricos), com temas contemporâneos (fig, 3.38, fig, 3.39, fig, 3.40).

3.38 | 3.39 | 3.40







3.38
PrtInd Vase
[RF 3.38]

3.39
The wedgwoodnt
Tureen
[RF 3.39]

3.40
The Maelstrom VI
[RF 3.40]

Aprofundou ainda a relação entre a mão e as ferramentas digitais a fim de produzir as suas peças através da impressão tridimensional. Com tal motivação, Éden conseguiu alargar a sua área de atuação para móveis e vidros.

Éden tenta apoiar-se na arte da cerâmica artesanal e tecnologia digital com a inclusão da impressão tridimensional para criar objetos de inspiração em artefactos históricos e temas contemporâneos (uma reinterpretação nova e atual) (fig, 3.41, fig, 3.42, fig, 3.43).

No desenvolvimento do seu projeto procedeu à combinação de desenho, software 3D, formas manuais tradicionais e tecnologia digital.

3.
41

3.
42

3.43





3.41
A Rebours
[RF 3.41]

3.42
The Vinculum
[RF 3.42]



3.43
The Memosyne
[RF 3.43]

3.3.5

Emerging Objects

Emerging Objects, é uma companhia americana altamente especializada no desenvolvimentos de novos materiais para o fabrico aditivo, nomeadamente a impressão tridimensional.

Ronald Rael, professor associado na Universidade da Califórnia e Virginia San Fratello, professora assistente na San José State University na escola de Arte e Design, são os criadores desta companhia.

A criação de um igloo em sal (fig, 3.44) denominado de "SaltYgloo" é uma das suas mais recentes criações (fig, 3.45).

3.44 | 3.45





3.44
Instalação
SatYgloo
[RF 3.44]

3.45
Pormenor interior
do SaltYgloo
[RF 3.45]

Esta peça é realizada através da impressão de sal proveniente da baía de São Francisco, combinado com um aglutinante também à base de sal para dar maior resistência ao objeto, torná-lo leve, translúcido, impermeável e pouco dispendioso.

Esta empresa aplica o principio da impressão de pós aglutinantes nas suas criações e trabalha com vários materiais, desenvolvidos por uma equipa polivalente e com uma forte conotação de sustentabilidade aplicada aos produtos.

Trabalham com materiais entre outros:

O cimento polimerizado (fig, 3.46), concebido e patenteado pelos próprios. Trata-se de um material rígido e resistente que pode ser reforçado e

comparado depois de impresso com o betão; é contudo muito mais leve. O acabamento pode ser rugoso, brilhante ou acetinado ou até mesmo semi-translúcido. O material também pode ser maquinado, lixado ou pintado.

3.46



3.46
Exemplo de impressão com cimento polimerizado
[RF 3.46]

O aglomerado de madeira (fig, 3.47), obtido através da reciclagem de vários tipos de madeira (desde duras a macias). O resultado da impressão destes pós é moderadamente resistente podendo ser reforçado com fibras, aumentando assim a sua resistência. A sua textura assemelha-se à da madeira natural, podendo ser translúcida.

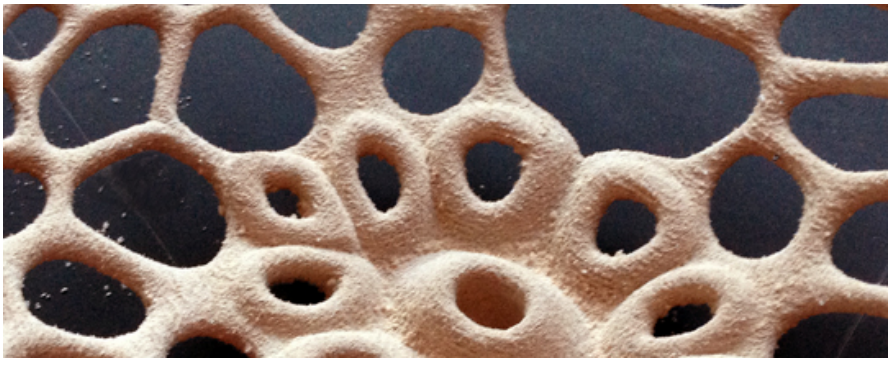
3.47



3.47
Exemplo de impressão com pós de madeira
[RF 3.47]

O chocolate (fig, 3.48), criado com os melhores ingredientes orgânicos e sem limitação formal, não fica com o seu sabor comprometido.

3.48



3.48
Exemplo de impressão de chocolate
[RF 3.48]

O papel de revistas e jornais reciclados (fig, 3.49) adquirem textura granulada de cor cinzenta, com boas propriedades mecânicas e de leveza.

3.49



3.49
Exemplo de impressão com restos de papel
[RF 3.49]

Para a Emerging Objects nenhum trabalho é "suficientemente pequeno ou muito grande", procurando ultrapassar qualquer dificuldade ou obstáculo nas suas criações. Esta companhia é pioneira dado que a maioria dos materiais utilizados na impressão tridimensional são desenvolvidos e testados na própria empresa, fazendo com que haja um maior controlo de qualidade nas peças desenvolvidas.

3.3.6

Dirk Vander Kooij

Dirk Vander Kooij é um designer holandês que se dedica à impressão tridimensional de grande escala.

Na faculdade sempre se sentiu limitado pelas impressoras tridimensionais comuns, que não possuíam a capacidade de reproduzir objetos volumosos e assim não conseguia concretizar as suas peças de mobiliário.

Com essa dificuldade sentiu-se motivado a criar uma nova impressora que lhe solucionasse o problema. Conseguiu atingir o seu objetivo: a impressão de objetos de grandes dimensões (fig, 3.50); (fig, 3.51). Para ele a aceitação de uma estrutura de baixa resolução pode converter-se num belo e bom ornamento; um produto valorizado pela originalidade.

3.50 | 3.51





3.50
Aparador Soap Cabinet
[RF 3.50]

3.51
Detalhe do Soap Cabinet
[RF 3.51]

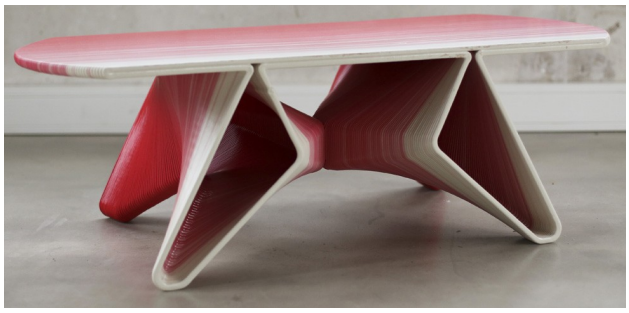
Em 2011 participa na feira de Milão com a peça "Satellite Lamp" (fig, 3.52) que funcionou como uma chamada de atenção dos seus visitantes, e ainda apresentou uma coleção de mobiliário intitulada "Flow" composta por duas cadeiras (fig, 3.53) e uma mesa de café (fig, 3.54).

3.52

3.53 | 3.54







3.52
Satellite Lignt
[RF 3.52]

3.53
Linha Flow, cadeira
[RF 3.53]

3.54
Linha Flow, mesa
de café
[RF 3.54]

As suas coleções despertam o interesse de vários Museus tal como o MoMa em Nova Iorque (fig, 3.55), o Vitra Design Museum na Alemanha, o Stedjelijk Museum em Amesterdão e o London Design Museum em Londres (fig, 3.56), que adquiriram as suas peças.

3.55 | 3.56





3.55
Rocking Chair, in
MoMa,
[RF 3.55]

3.56
Chubby Chair in
London Design
Museum
[RF 3.56]

A apresentação desse material criou um interesse mediático e Dirk, animado, formou o seu próprio atelier para continuar a criar as suas peças, que são alvo de cobiça nas várias feiras e exposições.

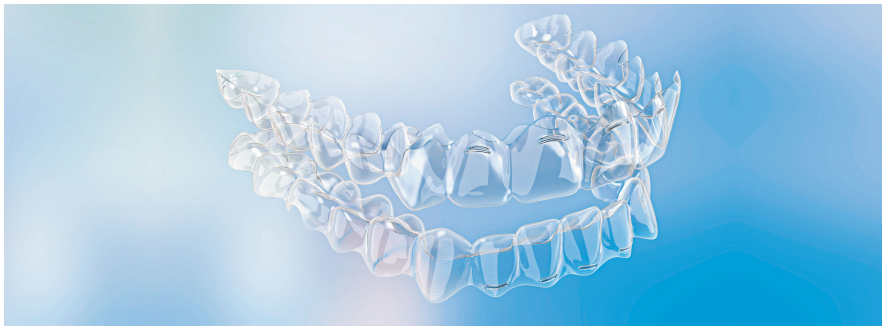
3.4

Oportunidades

Ao longo desta dissertação tem-se falado da contínua evolução das aplicações da impressão tridimensional.

Há materiais bastante explorados, como a utilização de polímeros na impressão, sendo o ABS e o PLA os materiais mais utilizados atualmente. Há ainda a expansão de artefactos funcionais produzidos por técnicas de impressão e os protótipos meramente funcionais de testes. Estes exemplos de utilização da impressão 3D já estão bem desenvolvidos e podem ser usados com eficácia garantida. Aponta-se também a coexistência de outras áreas pouco exploradas e que poderiam gerar uma série de oportunidades. Impõe-se a permanente necessidade de conseguir desenvolver produtos de valor mais acessível, que satisfaçam o mercado de forma rápida. Inicialmente o objetivo do fabrico aditivo limitava-se a uma produção reduzida e de auxílio à produção industrial. Ao atingirmos esses dois objetivos estaremos em condições de aliar este processo de fabrico à produção industrial em grande escala.

No campo da medicina têm-se alcançado grandes avanços, principalmente na medicina dentária. Salienta-se o aparecimento da companhia Alingn Tecnology que utiliza o fabrico aditivo para fazer aparelhos dentários invisíveis com o uso de um polímero transparente (fig. 3.57).



3.57

3.57
Aparelho clear aligner
[RF 3.57]

A criação de próteses ainda se encontra numa fase muito concetual, embora já existam várias próteses funcionais processadas por impressão 3D (fig. 3.58). Estas são bastante experimentais e pouco centradas no utilizador e nas suas necessidades. Além disso, o custo de produção é elevado e não acessível à

maioria. O mercado tem dificuldade em integrar este tipo de equipamento porque, ao adaptar uma prótese para uma pessoa especifica, quer a nível estético, quer a nível funcional, ainda não oferece grande vantagem perante as próteses comuns.

3.58



3.58
Prótese de membro inferior, projeto concetual
[RF 3.58]

Continuando na área da medicina surgem, agora, os primeiros estudos do desenvolvimento de órgãos (fig. 3.59). Muitos consideram a impressão 3D de órgãos humanos como a procura do Santo Graal do fabrico aditivo (Wohlers, 2013).

3.59



3.59
Impressão de um rim de rato com material biológico
[RF 3.59]

Com a utilização de células do próprio paciente é possível reduzir a rejeição de um órgão de substituição.

Outro desafio motivador está na impressão de vasos sanguíneos. A quantidade de pessoas que trabalha para que o fabrico aditivo seja uma constante na engenharia de tecidos e na medicina regeneradora admite que, corações, rins, fígados e outras partes do corpo venham a ser impressas

num futuro mais próximo do que aquele que se possa imaginar (Wohlers, 2013).

No campo da moda, a impressão tridimensional também já vai dando os primeiros passos na tentativa de recorrer à impressão, como aconteceu na experiência de fabrico de sapatos e que inicialmente não resultou, dada a rigidez dos materiais utilizados, tornando-os incómodos. Foram apenas criados para serem admirados em exposições e desfiles. Mas com o aparecimento de polímeros maleáveis e aplicados à impressão tornou-se mais fácil aliar a indústria da moda à impressão tridimensional (fig. 3.60). Desde o calçado confortável às linhas de roupa e diversos acessórios, temos a possibilidade de livre escolha.

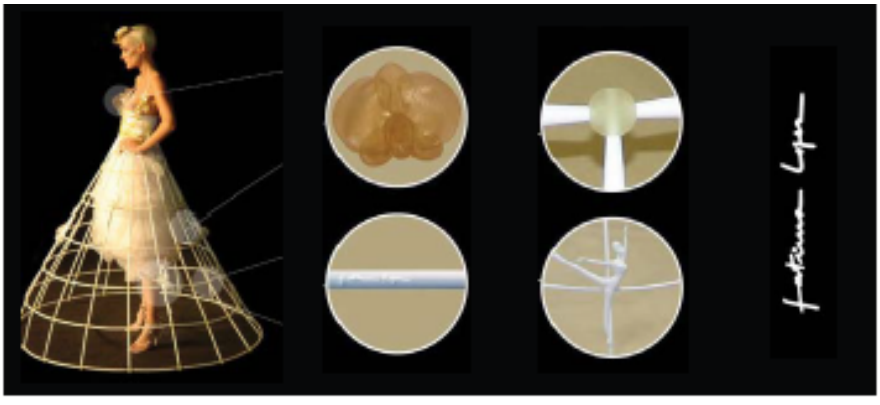
3.60



3.60
Biquini funcional impressor tridimensional mente
[RF 3.60]

A designer de moda portuguesa Fátima Lopes lançou em 2006 um vestido com recurso à técnica de sinterização seletiva a laser. Este vestido foi apelidado de "vestido tecnológico" (fig. 3.61) e teve uma importante repercussão a nível internacional, com a utilização do fabrico aditivo na alta costura.

3.61



3.61
Vestido tecnológico, desenvolvido através da tecnologia de SLS pela estilista Fátima Lopes
[RF 3.61]

Recentemente, marcas como a Continuum Fashion, que é especializada em roupas e acessórios impressos tridimensionalmente, lançou o primeiro biquíni impresso através desta tecnologia. Ou ainda a artista Dita Von Teese, em cooperação com o arquiteto Francis Bitonti e o designer Michael Schmidt criaram um vestido impresso tridimensionalmente para a mesma usar, numa convenção de impressão tridimensional (fig. 3.62).

3.62



3.62
Vestido impresso tridimensional mente utilizado pela artista Dita Von Teese
[RF 3.62]

Cada vez mais estilistas procuram especialização na impressão 3D para criarem as suas coleções, como acontece com a designer Catherine Wales que recorre a esta técnica nas suas criações (fig. 3.63).

3.63



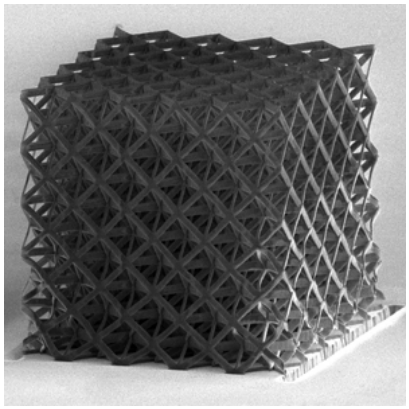
3.63
Vestido da coleção de 2014 de Catherine Wales
[RF 3.63]

Novos materiais são apresentados, atualmente, para atender às necessidades das tecnologias de fabrico aditivo.

Os materiais compósitos têm grande importância na impressão tridimensional e a sua aplicação é recente. Os nano compósitos são materiais onde, pelo menos um dos componentes, são partículas a uma escala nanométrica, ou então, compostos por um aditivo misturado ou combinado, resultando daí uma nova matriz apropriada à produção de materiais com novas propriedades. Ao serem melhoradas as propriedades, podem criar-se novos componentes, mais leves e resistentes aos possíveis impactos, para utilização em, por exemplo, aeronaves e automóveis ou em contraplacados modificados para resistirem às adversidades dos elementos ambientais (Postek et al., 2009).

A título de exemplo, apontam-se os novos cerâmicos estruturados graças ao trabalho de investigação da equipa da cientista de materiais Julia Greer na Caltech, Califórnia. Este novo material é impresso numa estrutura semelhante às treliças (fig. 3.64), habitualmente encontradas em pontes, mas numa escala muito reduzida. Este tipo de material torna-se no mais leve e resistente alguma vez desenvolvido (Bourzac, 2014). Pode ter aplicação tanto a nível industrial, como na aeronáutica e automóvel, como na electrónica com o desenvolvimento de elétrodos de baterias. Na impressão destes compósitos recorre-se a uma impressora tridimensional com um processo "two photor interference lithography" equivalente ao processo de SLA.

3.64



3.64
Imagem das nano treliças cerâmicas
[RF 3.64]

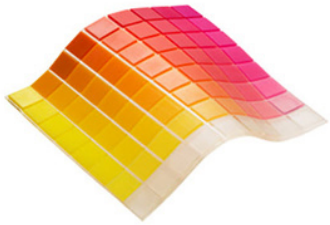
As novas estruturas têm uma área de superfície elevada e a sua leveza permite uma bateria de rápido e fácil carregamento, capaz de armazenar uma grande quantidade de energia num pequeno corpo. Em prol disso, Julia Greer está a colaborar atualmente com a Bosch tendo como finalidade aplicar estes novos compósitos nas baterias de iões de lítio (Bourzac, 2014).

Também no campo dos materiais, a Stratarsys apresentou, no primeiro semestre de 2014, uma impressora capaz de imprimir vários materiais em variadas cores e texturas; trata-se da Object 500 Connex 3.

O primeiro modelo da Connex foi criado em 2007 e desenvolvido para aplicações industriais com a possibilidade de imprimir, ao mesmo tempo, vários materiais. A Connex 3 é uma impressora multi-material baseada no principio de funcionamento de impressão de pós aglutinantes. Dispõe de uma tecnologia única de três jatos que combina, assim, três materiais para impressão, oferecendo a possibilidade de inúmeras combinações (fig. 3.65). É capaz de imprimir um objeto com partes rígidas e flexíveis, com várias cores (fig. 3.66), ou até transparentes, numa única impressão. Esta impressora possibilita a criação de uma peça final, completamente assemblada (fig. 3.67), independentemente das características ou da cor do material ou ainda da necessidade de acabamentos como a montagem ou pintura (fig. 3.68).

3.65 3.66





3.65
Impressão de um par de sapatilhas com várias cores
[RF 3.65]

3.66
Amostra de cores disponíveis para impressão
[RF 3.66]

Este avanço tecnológico materializa uma grande vantagem no desenvolvimento do produto, atendendo a uma significativa redução dos tempos de produção, resultando assim uma maior competitividade no mercado, tornando esta impressora numa das mais desejadas, devido à sua versatilidade.

3.67 3.68





3.67
Óculos impressos na Connex 3
[RF 3.67]

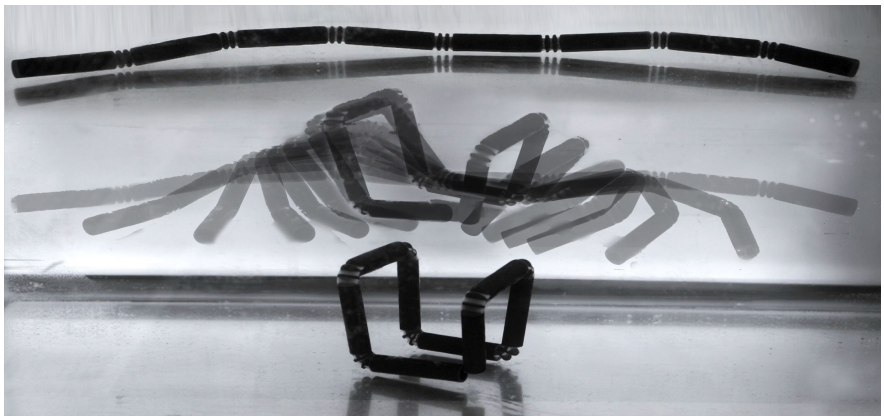
3.68
Capacete impresso na Connex 3
[RF 3.68]

Com a criação desta impressora, outras, de baixo custo mas com características equivalentes, poderão suceder-lhe. No entanto, é necessário ter em consideração que esta impressora se encontra intelectualmente protegida pela Stratarsys.

Outro avanço da impressão 3D, está na possibilidade de imprimir circuitos elétricos e baterias mas, tal como acontece no campo da medicina, encontra-se ainda numa fase experimental embora se espere que num futuro próximo seja uma realidade.

Recentemente a Stratasys e o MIT desenvolveram uma nova técnica de impressão que, com a utilização de materiais inteligentes, estes ganham formas quando sujeitos a diferentes situações, à semelhança das ligas metálicas de memória de forma (fig. 3.69).

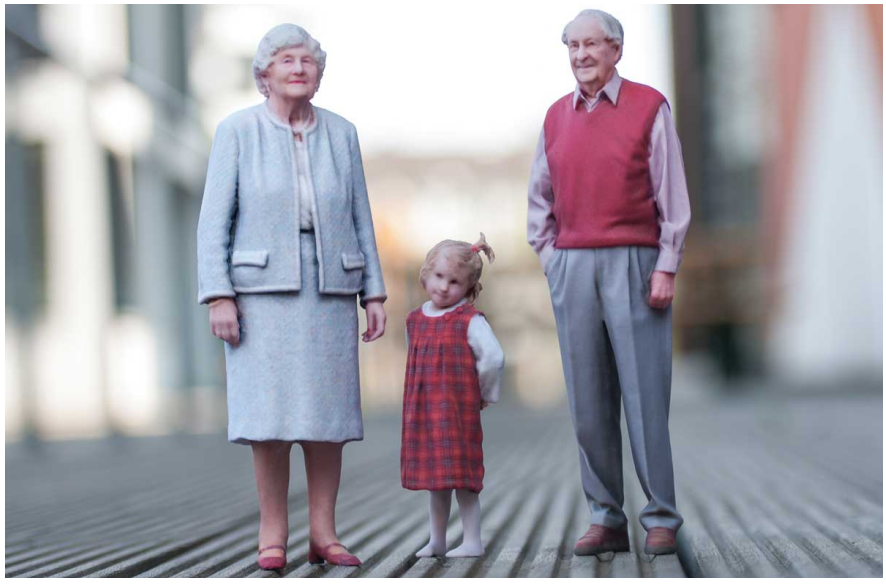
3.69



3.69
Demonstração da transformação dos materiais inteligentes.
[RF 3.69]

Uma oportunidade de negócio pouco habitual e invulgar, consiste na junção da fotometria com a impressão tridimensional a cores, para criar réplicas de pessoas e produtos exclusivos (fig. 3.70), que podem ser vendidos numa linha mais luxuosa e obter grandes margens de lucro.

3.70



3.70
Fotometria e impressão tridimensional à escala
[RF 3.70]

Para remate e procurando ir de encontro ao tema aqui abordado, temos a área alimentar.

A pastelaria é a área mais avançada, sendo o açúcar e o chocolate as matérias primas em destaque (fig. 3.71), e como o mercado já dispõe de impressoras capazes de imprimir com estes materiais, o trabalho resulta de forma perfeita.

3.71



3.71
Bolo decorado com escultura de açúcar impresso tridimensional mente
[RF 3.71]

Quando os alimentos processados ou necessitados de cozedura (bolos, bolachas) ou de ingredientes sólidos têm de ser triturados, antes de impressos, há aqui uma grande lacuna para se usufruir das vantagens do fabrico aditivo. Ainda é exigido trabalho extra, como uma massa cozida, ao contrário do açúcar e do chocolate que estão prontos a serem impressos e depois comidos.

Existem alguns projetos concetuais, como a impressora que Marcelo Coelho desenvolveu, a cornucópia (fig. 3.72). Trata-se de um projeto desenvolvido no MIT que procura explorar ao máximo as capacidades de impressão tridimensional na alimentação. Estas oportunidades podem concorrer para a transformação da indústria, com a criação de novas aplicações.

3.72



3.72
Cornucópia e suas diferentes aplicações
[RF 3.72]

Na busca da solução dos problemas e na obtenção de meios para facilitar a utilização de alimentos em processos de fabrico aditivo, naturalmente que

continuarão a surgir aplicações muito úteis à vida dos profissionais e não profissionais dedicados à atividade alimentar.

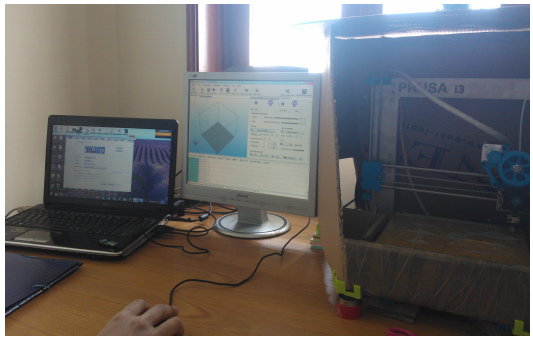
3.4.1

Casos de estudo

As vantagens da impressão 3D convenceram a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; o INEGI adquiriu recentemente a AMCubed, uma impressora tridimensional portuguesa, para testes de protótipos e desenvolvimento de produto. Também a Secção de Automação, Instrumentação e Controlo do departamento de Engenharia Mecânica comprou uma destinada a testes funcionais. Para além deste departamento, cada vez mais alunos adquirem as suas próprias impressoras tridimensionais.

Como exemplo, indicamos dois alunos do Mestrada em Design Industrial e do Produto, Diogo Matos e Ricardo Peixoto (fig. 3.73, fig. 3.74), que compraram as suas próprias impressoras tridimensionais com o objetivo de os ajudar na realização de maquetes referentes ao mestrado e realizar protótipos de peças para outras pessoas que recorressem aos seus serviços. Destinar-se-iam também ao fabrico de peças funcionais para eventuais upgrades no sistema da impressora ao fornecimento de peças de substituição, e de outras danificadas nos aparelhos eletrodomésticos, por exemplo. Trata-se da Prusa i3, um modelo open source, com capacidade de imprimir em PLA e ABS. No entender dos dois estudantes a impressora, ultrapassou o previsível quer na montagem quer na facilidade da sua utilização uma vez que é bastante intuitiva (embora seja necessário algum tempo para estudar o seu software relativamente ao seu funcionamento.

3.73 | 3.74





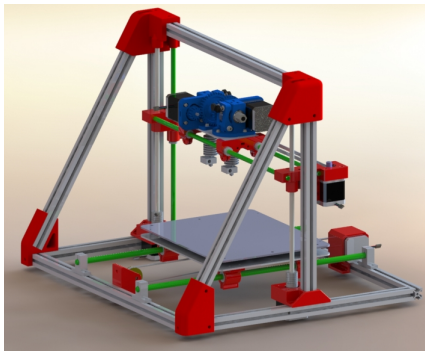
3.73
Impressora Prusa i3
[RF 3.73]

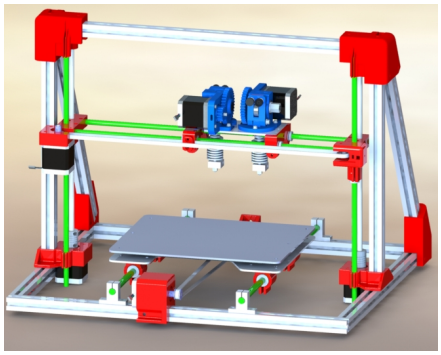
3.74
Alterações realizadas na impressora para melhorar o seu desempenho
[RF 3.74]

Outros dois amigos, Francisco Taveira, engenheiro de desenvolvimento de produto no INEGI e Ricardo Greenfield, do programa doutoral do MIT-

Portugal, desenvolveram a sua própria impressora tridimensional open source com duas cabeças de impressão. Esta impressora é baseada no funcionamento de outras impressoras também open source, a MendelMax 2 e da Prusa (fig. 3.75, fig. 3.76) em que, parte dos componentes para esta máquina são impressas tridimensionalmente. Isto reduz significativamente o seu custo de produção, equivalendo ao custo de uma impressora de entrada de gama.

3.75 | 3.76





3.75 | 3.76
Projeto da impressora desenvolvida por Ricardo Greenfield e Francisco Taveira
[RF 3.75]
[RF 3.76]

Existem também empresas particulares, como a Tridaxis, especializada em prototipagem e desenvolvimento de produto através de técnicas de fabrico aditivo. A Tridaxis e o Futebol Clube do Porto, no primeiro semestre de 2014 fizeram miniaturas, impressas tridimensionalmente, dos três capitães das equipas de futebol, de hóquei em patins e de andebol (fig. 3.77). O Futebol Clube do Porto apresentou ao público, no seu museu, essa tecnologia, que encerrou a 14 de maio de 2014 e que em apenas 5 minutos nos poderia possibilitar uma miniatura pessoal à escolha, entre duas escalas 1/10 e 1/20 (fig. 3.78).

3.77 | 3.78

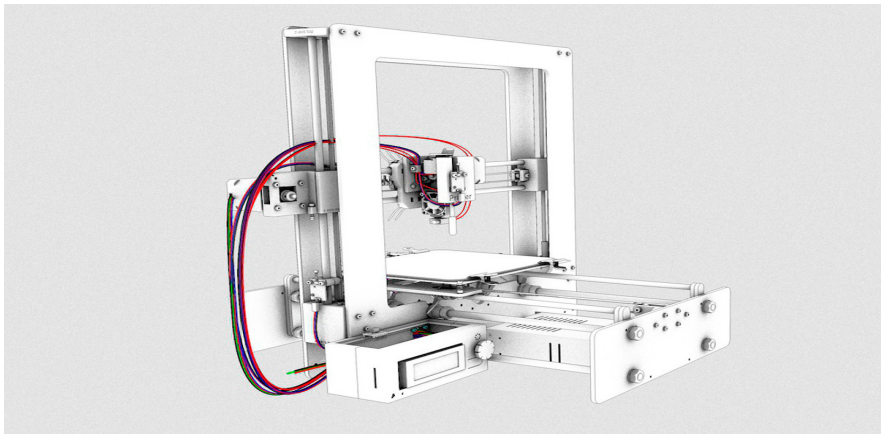




3.77
Processo de digitalização
[RF 3.77]

3.78
Helton com a sua miniatura
[RF 3.78]

A empresa Hello3DPrinting World foi pioneira a desenvolver e a comercializar a primeira impressora open source portuguesa, na cidade de Braga (fig. 3.79). Não se limita apenas à venda de impressoras; dá também apoio à construção e utilização da mesma e formação nas áreas de modelação e impressão. Futuramente planeia a abertura de uma loja online, dedicada à venda de objetos impressos.



3.79

3.79
Impressora open source desenvolvida pela Hello3DPrinting World
[RF 3.79]

Digna de nota, temos a Pip Eco Spot Braga que é um espaço destinado a favorecer a reciclagem de produtos e materiais e ainda se dedica à criação e venda de produtos eco-inovadores (fig. 3.80). Nesse espaço poderemos adquirir artigos de decoração para o lar e brinquedos impressos tridimensionalmente (primeira loja física a nível nacional).



3.80

3.80
"Artesanato tecnológico" peças desenvolvidas na Pip Eco Spot Braga
[RF 3.80]

Durante a visita ainda encontramos café, chá e barras de cereais caseiras e saudáveis (fig. 3.81). Todo o mobiliário de exposição também está à venda.

3.5

Conclusão

Não é fácil, é até por vezes impossível tirarmos proveito destes aparelhos num ambiente doméstico. Ao contrário das impressoras bidimensionais, que não precisam de materiais especiais, as tridimensionais utilizam materiais como metal, madeira, plástico e geralmente com grande volumetria; as impressoras 2D apenas utilizam tinteiros que ocupam pouco espaço. Além disso, os materiais mais pesados requerem também máquinas pesadas, com uma sólida base de suporte e uma área de maior dimensão.

Os termos impressão tridimensional e fabrico aditivo são frequentemente usados como sinónimos, pelo facto de ambos se basearem nos processos de adição de camadas ao criarem objetos físicos com base em arquivos digitais e representam um modelo virtual do objeto a reproduzir; já a impressão tridimensional é o processo mais comum do fabrico aditivo (Gibson, Rosen, Stucker, 2010).

As impressoras 3D são utilizadas há mais de duas décadas, numa primeira fase, como auxiliares à prototipagem rápida de objetos e presentemente nas pequenas produções industriais.

Já foi referido anteriormente que com a banalização das impressoras tridimensionais e com a internet cheia de projetos, qualquer um pode utilizar as suas impressoras para criar produtos, sem atender às necessidades do mercado, ou até mesmo em áreas científicas como a área médica onde há aplicações e estudos que levantam muitas considerações de ética e deontologia. Por isso a impressora tridimensional pode cair no risco de se transformar num processo de produção de objetos pessoais com o propósito de criar para brincar ou experimentar, só porque é fácil e divertido. A impressão tridimensional deve ser usada com um objetivo válido, tal como S. Killi & A. Morrison (2014) sugerem, para a utilização do fabrico aditivo no desenvolvimento de produtos e deve ter em conta as seguintes especificações:

- A utilização de uma metodologia desenvolvida para a criação de produtos, não esquecendo os processos tradicionais, mas dando mais ênfase

ao fabrico aditivo. Será quase que obrigatório a utilização desta nova técnica de produção, uma vez que há uma grande similaridade entre o protótipo de testes e o produto final.

- O facto de existirem poucas e benéficas opções relativamente ao custo no que toca ao acabamento de superfícies e coloração, o designer deve criar qualidades estéticas com meios limitados.
- Apesar de ser possível obter ajuda ao digitalizar conceitos do desenho 2D, e da digitalização tridimensional de modelos de espuma/barro/madeira, o designer beneficiaria imenso ao seguir todo o processo.
- Os artefactos de um elemento são cruciais para adaptar métodos de design diferentes no caso de estudo de produtos complexos ou simples.
- Questões deontológicas podem surgir quando imprimirmos um objeto que não é da nossa autoria e se realizarmos repetições vamos levantar problemas de propriedade de autor, o que convém prestar muita atenção para o facto.

A impressão tridimensional, representa apenas uma ínfima parte de uma série de objetivos criados pelo ser humano no controlo da matéria física (Lipson, 2011).

Se os nossos antepassados se distinguiram dos seus antecedentes ao criarem ferramentas e maquinaria, então o fabrico aditivo representa um novo instrumento, um novo meio que dificilmente será ultrapassado, podendo até mudar a sociedade de uma forma inesperada.

Verificaremos adiante, como a impressão tridimensional é cada vez mais utilizada noutras aplicações que não testes funcionais ou em protótipos de peças que precisem de investimento para a produção em série; opta-se muitas vezes por desenvolver um exemplar impresso para expor em feiras ou exposições, ou na criação de objetos prontos a entrar no mercado.

Podemos imprimir materiais maleáveis e matérias rígidos constituindo o mesmo objeto e com isso novos padrões e novas estruturas (Lipson 2011).

Nenhuma disciplina ou limitação serão capazes de travar, hoje ou amanhã qualquer processo de desenvolvimento das impressoras tridimensionais. O design considerará as exigências e tendências não só do campo médico, como no da alimentação, incluindo todas as outras áreas em prol das sociedades e da criação artística.

4

Impressão tridimensional na área alimentar

A intenção de esculpir objetos comestíveis é um desejo que faz parte do ser humano, desde a criança que esculpe castelos com puré de batata ao designer de bolos que procura superar-se com novas criações (fig. 4.1).

4.1



4.1
Exemplo de bolos decorados (cake design)
[RF 4.1]

A escultura de alimentos constitui uma tradição muito antiga. Foi através de escavações na Babilónia que os arqueólogos encontraram vestígios de formas alimentares, como de pudins, e na Grã Bretanha representações de figuras humanas e de animais. Também as esculturas de manteiga são atribuídas a uma tradição budista tibetana, muito remota, destinada a criar símbolos temporários na celebração do Ano Novo Chinês.

A ideia de transformar os alimentos em formas divertidas e esteticamente agradáveis, é uma realidade rica e de uma variedade surpreendente, (Victor J.; 2007).

As esculturas artesanais de frutas, vegetais (abóbora, beringelas e melancias) e manteiga, são as mais apresentadas e largamente comuns nos Estados Unidos da América. Aqui são conhecidas as feiras destinadas a mostrar ao

público, atuando ao vivo e expondo toda a diversidade criada neste âmbito (fig. 4.2).

4.2



4.2
Exposição de escultura de manteiga
[RF 4.2]

Na Europa Renascentista a escultura de alimentos ajudava a embelezar as refeições das pessoas pertencentes a um quadro social mais favorecido.

O ser humano sempre mostrou gosto por ornamentar as suas refeições, e, para concretizar e simplificar o seu trabalho procurou, através dos tempos, encontrar os meios para a solução de problemas com o desenvolvimento das técnicas de fabrico aditivo.

A adaptação de alimentos no fabrico aditivo é uma nova e promissora alternativa no campo da impressão tridimensional, com a possibilidade de se estender às aplicações industriais, à educação e ainda ao conforto do lar (fig. 4.3).

4.3



4.3
Biscoitos impressos tridimensional mente
[RF 4.3]

A cozinha digital permitir-nos-á desenvolver e criar os nossos próprios alimentos, como por exemplo escolher a quantidade certa de um alimento sem estar dependente do que há ou não disponível no mercado. A possibilidade

de desenvolvermos compostos alimentares faz destes aparelhos ótimos auxiliares na melhoria da qualidade de vida dos seus utilizadores, através de opções dietéticas mais sãs e, por conseguinte, criam hábitos amigos do bem-estar e da defesa da saúde. Estas impressoras, para além de serem robôs de cozinha, desempenham ainda um papel decisivo no quotidiano do utilizador A criação de sabores e texturas é inimaginável face aos robôs e técnicas culinárias atuais (Coelho, 2011).

Trata-se de impressoras que devem dispor de condições necessárias para que os utilizadores não necessitem de saber como se constrói um desenho tridimensional e quais os passos a seguir para obter a impressão de um alimento. Segundo Coelho (2011) uma impressora alimentar deve ser acompanhada de uma lista de modelos a imprimir e também indicar os alimentos aconselhados. Em suma: há que acompanhar estas impressoras com sistemas interativos, desde o touch screen na própria impressora, com uma lista de alimentos e modelos de impressão ao desenvolvimento de aplicações digitais que levem o utilizador a controlar os valores nutricionais e a origem dos alimentos.

Ainda não existe qualquer tipo de base de dados para impressão alimentar, ao contrário do que acontece com a impressão tridimensional de bens de consumo. As bibliotecas de objetos tridimensionais, como falamos em capítulos anteriores, desempenham igualmente uma função importante, visto permitir a utilização de objetos dessas bibliotecas para a impressão alimentar, como por exemplo a impressão de um copo de chocolate (procura-se um modelo tridimensional de um copo, descarrega-se o ficheiro e imprime-se numa impressora de chocolate o copo).

Uma família pode então usufruir da mesma refeição mas com formas diferentes de apresentação.

A impressora deve ter disponível uma biblioteca associada a diversos formatos adaptados aos vários alimentos; deve também ser suscetível de sofrer atualizações para melhorar a biblioteca e conseguir introduzir novos modelos criados pelo próprio utilizador, enriquecendo, assim, exponencialmente as suas aplicações.

As potencialidades da impressão tridimensional têm ocupado as discussões tanto a nível técnico como a nível abstrato (o que é ou não correto fazer). No presente, os materiais adaptados ao fabrico aditivo, em grande parte, são mais dispendiosos e com limitações em termos funcionais (Deborah Southerland et al., 2011).

Todos os dias aparecem novas aplicações e projetos no ramo alimentar. O que ontem era considerado improvável, amanhã poderá ser uma certeza. Trata-se de uma autêntica revolução dentro da própria revolução da impressão tridimensional e que está mais presente no negócio, essencialmente virado para as massas.

A utilização de alimentos no fabrico aditivo traz várias vantagens, como a liberdade de formas que os alimentos podem adquirir, traduzindo mais valor numa produção customizada, o mesmo acontece na produção de novos alimentos, à semelhança dos materiais compósitos (que resultam da junção de dois ou mais materiais para formar um único material).

Outras vantagens são apontadas a nível pedagógico como exemplo desta aplicação, como seja a impressão de pastas de legumes com formas didáticas a fim de estimular o consumo de vegetais e frutas que podem ser rejeitadas à primeira vista por qualquer criança (fig. 4.4). A utilização de alimentos fornece de forma rápida, natural e de baixo custo a experiência das técnicas do fabrico aditivo através de formas e de configurações mais atraentes ao consumo de alimentos que geralmente desagradavam ao consumidor.

4.4



4.4
Dinossauros de espinafres impressos numa impressora tridimensional alimentar
[RF 4.4]

As tecnologias opens source fazem com que muitos utilizadores substituam as cabeças de impressão das impressoras de deposição filamentar por uma

extrusora de pastas. Como diferentes materiais necessitam de diferentes forças e temperaturas de extrusão, é imperativo, então, fazerem-se testes prévios (desde testes de temperatura, resistência, e forma de extrudir material), antes de serem preparados para impressão, a fim de suprimir quaisquer dificuldades ou resultados duvidosos dessa mesma impressão.

A impressão alimentar multi-material ainda não se encontra bem desenvolvida, existem alguns aparelhos já preparados para imprimir diferentes alimentos, o "senão" está precisamente na dificuldade de uma impressão simultânea de vários alimentos. A impressão de pastas alimentares simples é um exercício delicado e complicado na engenharia aplicada à alimentação.

A impressão alimentar pressupõe requisitos quanto à aplicação correta de força mecânica, assim como deve ter uma receita digital bem desenvolvida e desenhada, que utilize ingredientes de consistência adequada a ser capaz de criar formas tridimensionais estáveis. Junta-se a isto o desafio de lidar com as propriedades únicas de cada tipo de alimento, as diferentes tolerâncias à temperatura e os diferentes métodos de confeção (Lipson, 2013).

Impressoras alimentares, mesmo que imprimam alimentos saudáveis e nutricionalmente adaptados levantam questões de ordem filosófica e emocionais no utilizador (Lipson, 2013). Por mais saudável e apropriada que possa ser uma refeição impressa, esta terá de ser inicialmente processada para poder ser impressa.

Existem cada vez mais impressoras e projetos, no mercado, que "pensam" no bem-estar e soluções que possam influenciar e contribuir positivamente para uma boa qualidade de vida do seu utilizador, mesmo que isso aconteça com alimentos processados, previamente estudados e testados para esta aplicação.

Conseguir atingir o sabor, valor nutricional e frescura dos alimentos próprios de um determinado lugar e torná-lo acessível a qualquer pessoa, possuidora destas impressoras é outro grande objetivo. A transformação de alimentos em pós ou pastas, para ficarem aptos a ser impressos é também a grande meta da NASA, que pensa nos seus astronautas para que, quando estiverem no espaço, possam dispor de uma refeição similar à que têm na Terra.

Há bem pouco tempo, a NASA lançou um concurso visando o desenvolvimento de impressoras tridimensionais alimentares para as viagens espaciais. A utilização desta tecnologia é importante a nível da conservação de alimentos mantendo os valores nutricionais, com a vantagem de ser facilmente adaptada às necessidades da tripulação; mas ao envolver o processamento de matérias primas, pode não ficar assegurado o sabor e frescura alimentar a que estamos habituados.

O açúcar (fig. 4.5) é um alimento bastante utilizado não só porque é barato mas por se encontrar pronto para a impressão; é um ótimo substituto nas técnicas de fabrico aditivo, baseadas na deposição de pós para um contexto de projetos comestíveis (Deborah Southerland et al., 2011).

4.5



4.5
Escultura de açúcar impressa tridimensional mente
[RF 4.5]

Uma das maiores dificuldades encontra-se no modo de tratamento das matérias primas, pairando a dúvida sobre a possibilidade de poderem ser consumidas imediatamente. Tratando-se do chocolate e do açúcar ou pastas à base de açúcar ou chocolate, não há qualquer alteração na composição alimentar, ficando com as mesmas características que possuíam antes da impressão, embora haja outros alimentos suscetíveis a alteração, ou não, dos valores nutricionais quando processados para avaliação, através de testes. Tratando-se de alimentos triturados, os valores nutricionais não sofrem modificações, como os legumes, sendo, porém, conveniente serem preparados para a impressão quase no momento para evitar a perda do sabor e da frescura.

As pastas como a do açúcar, chocolate derretido e manteiga de amendoim são as mais fáceis de manipular em técnicas de impressão através de deposição de filamentos, porque a viscosidade dos materiais favorece a sobreposição de camadas.

Numa fase tão embrionária compreende-se que a impressão tridimensional alimentar utilize, na sua grande maioria, alimentos não muito saudáveis ao ser humano, como os açúcares, sais, alimentos modificados (pastas onde se adicionam químicos para criar viscosidade); mas tudo isto não significa que seja o futuro da impressão alimentar. Com o sucessivo aparecimento de projetos a promover a impressão tridimensional alimentar, verifica-se uma melhoria e aperfeiçoamento quanto à forma saudável e apelativa.

O facto de atualmente serem usados materiais menos saudáveis, deve-se à sua facilidade de impressão e de ajudarem a desenvolver novas tecnologias capazes de imprimir uma maior gama de materiais, que se coadunam melhor ao quotidiano do ser humano.

Há duas aplicações alimentares distintas que são desenvolvidas a partir dos benefícios do processo de impressão tridimensional de alimentos:

Fabrico de comida desenhada para o consumidor

Tanto o design como a modelação e o fabrico da mesma peça em diferentes escalas, podem trazer novas soluções para a utilização de materiais alimentares com formas mais atrativas e diferentes. A extrusão filamentar foi aplicada no projeto participativo "insects au gratin" para modelar estruturas alimentares com a utilização de pastas obtidas com pós de insetos triturados e misturados com coberturas comestíveis como queijo creme (Soares et al.; 2011).

Fabrico de comida desenhada pelo consumidor

Este conceito consolida a ideia de customização de comida, isto é, procura-se adaptar os produtos ao gosto ou às necessidades do utilizador. As formas alimentares são criadas através do acesso direto a um interface de design digital, que poderão ser provadas pelo consumidor. O projeto "Cornucópia" (fig. 4.6) também aprofunda o espaço concetual entre o design digital, o consumidor e as imagens transformadas em comidas (Golding et al; 2011).

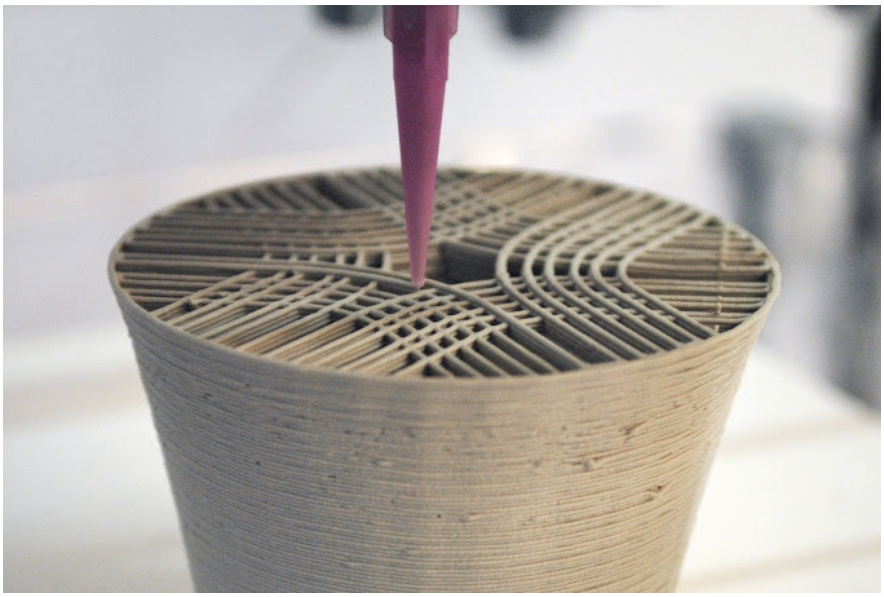
4.6



4.6
Cornucópia impressora desenvolvida por Marcelo Coelho ainda em fase concetual
[RF 4.6]

A implementação de fabrico dirigido às massas tem encontrado muita resistência ao design, por parte dos fabricantes de produtos alimentares. Com a eficácia das tecnologias FLM (Food Layer Manufacturing) (fig. 4.7), capazes de criar muitas variantes de design torna-se possível vencer essa oposição à customização de comida (McIntosh et al; 2012).

4.7



4.7
Funcionamento da técnica de FLM
[RF 4.7]

O processo de impressão tridimensional de alimentos rodeia-se de algumas limitações exigindo, por isso, equipamento e materiais especiais. Há também um gasto significativo de tempo na construção conforme o aumento da resolução à escala do micrómetro (Golding et al; 2011).

A impressão tridimensional alimentar pode trazer grandes vantagens, num futuro próximo. Se aliarmos esta tecnologia à medicina, verificamos que podemos

personalizar um alimento de acordo com a necessidade do utilizador. Considerando o universo dos diabéticos há a possibilidade de atualizar os seus níveis de açúcar para um software aplicado a impressoras alimentares e, automaticamente, este calcularia o valor nutricional das próximas refeições enviando um plano nutricional para a base de dados da impressora de modo a que esta esteja pronta a imprimir quando se necessitar de uma refeição (Lipson, 2013).

Estas impressoras podem ter a vantagem de ser controladas em qualquer lugar (basta ter os alimentos prontos a serem impressos e devidamente armazenados nos reservatórios). Assim, para muitos utilizadores com horários ou restrições alimentares, estas impressoras preparam uma refeição para a hora desejada e com os condicionalismos envolventes, aumentando a qualidade de vida.

Outro exemplo é apontado para um utilizador com uma rotina agitada, a possibilidade de este escolher a refeição fora de casa e enviá-la através de uma simples aplicação, para que este, quando chegar a casa não tenha mais uma preocupação adicional.

O fabrico aditivo é um processo construtivo controlado digitalmente através da adição de camadas de materiais, capaz de construir formas complexas. Como exemplos de utilização de materiais comestíveis e que vão aparecendo no mercado, existe a FLM. As operações estruturantes do FLM estão limitadas pela mistura, deposição e fusão dos materiais utilizados que têm de dispor de propriedades (de deposição e fluxo) muito uniformizadas. O FLM é o mais indicado para um conjunto de aplicações culinárias com forte ênfase do design individual de comida e na manufatura customizada.

A tecnologia de impressão tridimensional na área alimentar, pode ser dividida em três aplicações:

Fusão controlada: é feita através de uma fonte de calor ou de luz direcionada para fundir a camada de superfície de um pó sinterizado ou de um liquido fotocurável. A deposição por camadas é conseguida a cobertura da superfície fundida, e com a camada nova de material antes da próxima repetição de fusão (fig. 4.8). O material não fundido é afastado no fim da construção. Como exemplos de tecnologias não culinárias temos a Sinterização Seletiva a Laser e a Estereolitografia com materiais fotocuráveis

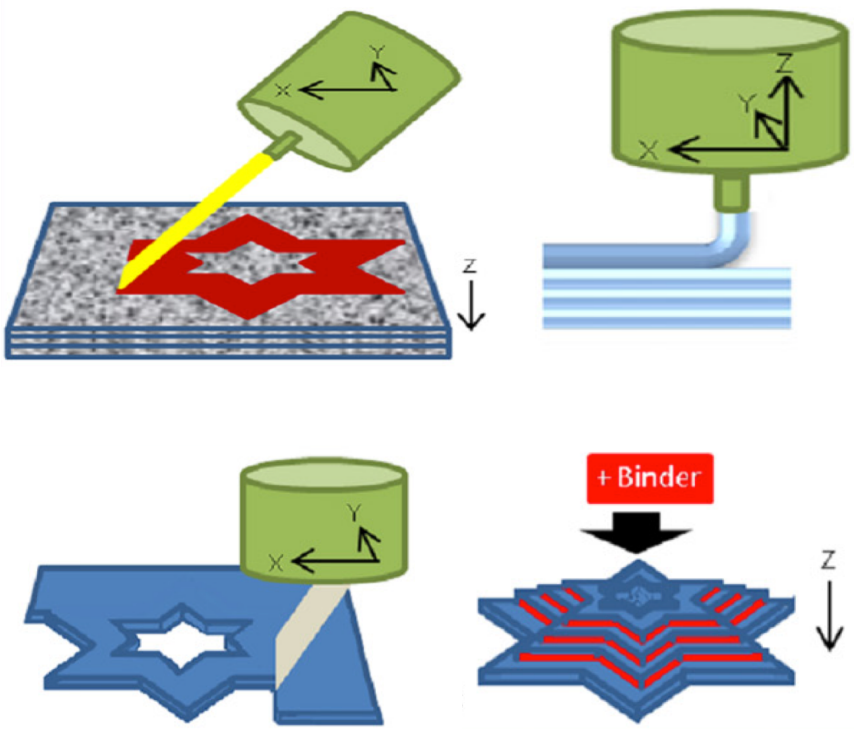
(MoesKopps e Feenstra; 2008). A aplicação destas tecnologias na culinária é propícia à utilização de açúcar e pós à base de açúcar (Gray; 2010).

Deposição controlada: uma ou mais cabeças de impressão são orientadas para depositar um fluxo contínuo de material, camada a camada. Exemplos não culinários são o FDM (Fusion Deposition Model) e da 3DP (3D Printing) (fig. 4.9). A extrusão de filamentos derretidos tem sido aplicada no desenvolvimento de equipamento FLM, normalmente associado a pastas com bastante viscosidade como o chocolate derretido ou pastas de açúcar (Causer; 2009).

Corte controlado de laminação: um cortador direcionado é usado para moldar folhas pré-feitas de um material base. Camadas consecutivas são assembladas e fundidas através de um ligante. A tecnologia de FA associado a esta técnica de impressão alimentar é o LOM (Laminação de objetos) (fig. 4.10). Não sendo ainda aplicada no fabrico de comida, esta tecnologia é utilizada como parte da denominada construção de tecidos de órgãos, cujas folhas base, relativamente rígidas, são moldadas (Ringeisen et al; 2009).

4.8 | 4.9

4.10



4.8
Esquema de funcionamento da aplicação de fusão controlada
[RF 4.8]

4.9
Esquema de funcionamento da aplicação de deposiçãoo controlada – FLM
[RF 4.9]

4.10
Esquema de funcionamento da aplicação de corte controlado por laminação
[RF 4.10]

4.1

Protótipos formais alimentares

A utilização dos alimentos numa pré-fase de conceito também está a ser muito vulgarizada porque o modelo pode ser facilmente sacrificado no final da operação, comido ou reutilizado sem acarretar grandes custos e desperdícios de materiais.

No campo da utilização de alimentos verifica-se que quando é apenas necessário um protótipo formal, em vez de à partida serem utilizados materiais mais dispendiosos, este pré-protótipo oferece a vantagem de ser depois comestível, biodegradável e facilmente descartável (fig. 4.11). A farinha, o açúcar, o chocolate, o milho ou trigo desde que estejam em forma de pó, são ótimos substitutos de materiais quer para aplicação alimentar, quer para a criação de protótipos formais.

4.11

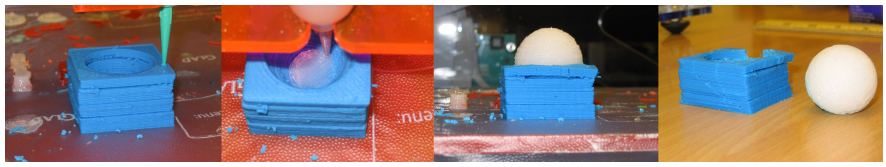


4.11
Exemplo de reaproveitamento de cubos de açúcar
[RF 4.11]

A utilização de suportes alimentares também exige atenção, principalmente tratando-se de formas mais complexas e impressas por deposição de material, uma vez que não existe tanta liberdade formal. Um exemplo da utilização de suportes é a impressão de uma esfera, sendo aconselhável o desenvolvimento de um suporte para a base, a fim de evitar que esta ceda durante a construção. Pode, então, utilizar-se um suporte alimentar para auxilio da impressão tridimensional, e no final comê-lo ou voltar a reutilizá-lo, dado que a maioria dos materiais desenvolvidos na impressão alimentar podem ser

facilmente transformáveis, como o chocolate derretido e o açúcar depois de partido e triturado (Periard et al.; 2007); (fig. 4.12) .

4.12



4.12
Auxílio com suporte comestível na construção de uma esfera em nylon
[RF 4.12]

A criação de moldes através da impressão tridimensional também se encontra muito divulgada graças à grande liberdade formal e à possibilidade de criar novas formas (fig. 4.13). Trata-se, assim, de uma ótima alternativa aos moldes tradicionais, apresentando uma maior variedade de formas do mesmo produto, em vez de nos limitarmos ao aspeto convencional de certos alimentos, como bolachas, bolos, gelatinas entre outros.

4.13



4.13
Moldes de PLA obtidos através da impressão tridimensional, para produção de moldes de bombons
[RF 4.13]

4.2

Aplicação de impressão 3D na área alimentar

Segundo a informação colhida, sabe-se que a impressão tridimensional, na área alimentar tem vindo a ganhar maior expressão no mercado. São enormes as potencialidades do desenho quando assistido pelo computador, aliado à impressão tridimensional e à sua democratização. Com as tecnologias open-source amadores, engenheiros, arquitetos, designers e mais recentemente especialistas na área culinária estão a unir-se para criar uma comunidade autossustentável e com caráter de perpetuidade (Deborah Southerland et al., 2011).

Há projetos concetuais que aguardam novas tecnologias para a sua concretização e hoje, como dispomos de vários processos, já é possível o fabrico de pastas com inúmeras opções.

Escolheu-se abordar projetos, mais maduros, da impressão tridimensional na área alimentar com o objetivo de se obter noções claras sobre as vantagens desta tecnologia aplicada ao nosso quotidiano.

Os exemplos de impressoras de alimentos variam, caso se trate de doces ou salgados. Algumas são mais experimentais e de uso caseiro, outras de uso profissional e mais desenvolvidas em planos doutorais que exigem outra preparação dos utilizadores.

4.2.1

ChefJet

O laboratório de açúcar situa-se em Silver Lake, numa casa muito peculiar graças ao engenho de arquitetos.

A impressora 3D assemelha-se a uma impressora futurista, emitindo sons e lentamente forma camadas esculturais de açúcar, que surpreendem pelo aspeto de cubos de açúcar personalizados com logótipos para clientes corporativos e esculturas destinadas ao topo de bolos de casamentos (fig. 4.14).

4.14



4.14
Escultura de açúcar criadas na ChefJet
[RF 4.14]

A forma baseia-se numa mistura de água e açúcar, "que é como se faz o frosting dos bolos", assim explica o cofundador do Laboratório de Açúcar, Kyle Von Hasseln e, segundo a sua esposa e sócia Liz "quem já fez frosting e não limpou imediatamente a tigela, apercebe-se que é muito difícil limpá-la depois".

O casal conheceu-se no ensino secundário em Maine e jamais se separou. Os dois mudaram-se, recentemente, para o Institute Southern California – Institute os Arquitecture (SCI-Arc.) onde fazem testes através das impressoras 3D com a utilização de açúcar. Em 2011 o objetivo deles consistia em criar um negócio que através da impressora,

obtivessem esculturas comestíveis. Em setembro, venderam a sua tecnologia à 3D Systems.

Em 2014, na secção do fabrico aditivo do CES (Consumer Elecronics Show) a 3D Systems apresentou novos produtos e serviços. Dois dos itens despertaram o interesse e curiosidade, a ChefJet e a ChefJet Pro, ambos aptos à impressão 3D de alimentos seguros. As duas impressoras foram certificadas e prontas a entrar no mercado (2014/2015).

À ChefJet (fig. 4.15), é atribuído um valor de 3.700€ e o preço da ChefJet (fig. 4.16) Pro rondará os 7.300€.

4.15 4.16





4.15
Impressora ChefJet
[RF 4.15]

4.16
Impressora ChefJet Pro
[RF 4.16]

O açúcar foi o material escolhido para ser usado nas demonstrações, estando aptas a imprimir uma série de doces feitos de misturas de sabores, de endurecimento rápido como o amido e chocolate em pó, mais em voga no campo da impressão tridimensional.

Ambas as máquinas são destinadas a cozinheiros profissionais e foram colocadas no mercado como equipamento de cozinha. Com a ChefJet pode-se apenas imprimir um sabor e uma cor; o mesmo já não acontece com a ChefJet Pro que é capaz de imprimir vários sabores e cores numa só impressão. A ChefJet Pro trabalha com o código CMYK, também conhecido como o espetro de impressão a cores com corantes alimentares (fig. 4.17).

4.17



4.17
Escultura de açúcar obtida na ChefJet Pro
[RF 4.17]

Trata-se de um processo bastante simples de explicar: uma camada seca de açúcar é depositada, seguindo-se jatos de água com ligantes dirigidos à área a ser solidificada, o que acabará por endurecer o objeto. A água provoca a cristalização do açúcar endurecendo-o. Uma vez terminada a escultura, é retirado o excesso de açúcar que não foi cristalizado (fig. 4.18).



4.18

4.18
Mostruário cubos de açúcar com o logótipo da 3D Systems
[RF 4.18]

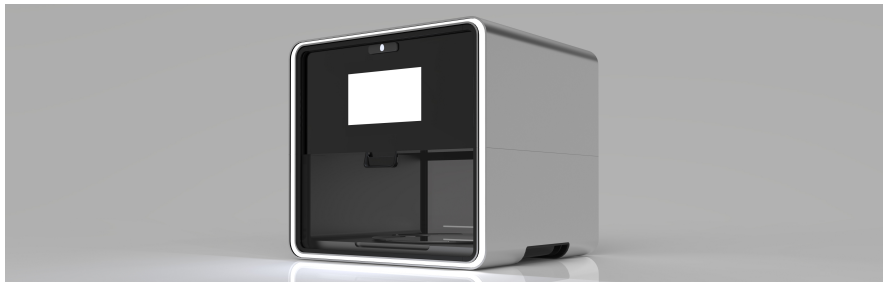
4.2.2

Foodini

Foodini é uma impressora 3D destinada a produtos alimentares. Os seus criadores, sediados na Flórida, desejam que a Foodini se torne tão presente nas cozinhas como acontece com o forno e o microondas.

Esta impressora tem como objetivo proporcionar refeições mais saudáveis e conquistar as pessoas de forma a preferirem ingredientes frescos e desistirem das refeições pré-feitas (fig. 4.19).

4.19



4.19
Impressora
Foodini
[RF 4.19]

A Foodini automatiza algumas fases de preparação culinária, como por exemplo o ravioli individual, substituindo o cozinheiro na confeção da massa e no enchimento e montagem das peças.

Embora não haja uma total substituição do ato de cozinhar, o objetivo é diminuir o tempo na execução de algumas tarefas, sem alterar a qualidade dos ingredientes aplicados (fig. 4.20); (fig. 4.21).

No momento atual a Foodini encontra-se na fase de prototipagem e de angariação de fundos (aproximadamente 73.000€) através de uma Kickstarter, para começar a produção da impressora e entrar no mercado.

A Foodini é diferente das outras impressoras, porque os utilizadores não são obrigados a usar materiais já pré-definidos; eles próprios podem criar o material preferido uma vez que as cápsulas alimentares vêm vazias. Trata-se de uma máquina com grande versatilidade.

4.20 4.21





5.20
Foodini em funcionamento
[RF 4.20]

5.21
Alimentos obtidos na Foodini
[RF 4.21]

A máquina usa cápsulas abertas para serem cheias consoante as preferências dos utilizadores mas exige uma textura certa do alimento a imprimir para que resulte e possa sair dos nas melhores condições. A Foodini foi projetada para armazenar até cinco cápsulas de alimentos de cada vez (fig. 4.22).

4.22



4.22
Reservatório das pastas
[RF 4.22]

A máquina dispõe da capacidade de imprimir pratos salgados e doces, o que não acontece com a maioria das impressoras 3D na área alimentar existentes no mercado.

Obtém-se com a Foodini, uma série alargada de produtos: ravioli, pizza, hambúrgueres, biscoitos, bolachas e chocolate. A juntar a tudo isto, temos ainda as esculturas planas comestíveis de inúmeras decorações (fig. 4.23).

O tempo de impressão, por prato, é variável, conforme a complexidade do mesmo e o número de ingredientes aplicados. Também as apresentações de alimentos, configurações simples ou mais produzidas interferem no tempo da execução (fig. 4.24). A apresentação mais plana de alimentos pode levar

alguns minutos a imprimir, o tempo médio das impressão das esculturas são vinte minutos.

4.23 | 4.24
Apresentação de diferentes pratos criados na Foodini
[RF 4.23]
[RF 4.24]





Os alimentos impressos podem ser comidos imediatamente quando ingeridos crus, mas também podem ser cozinhados depois de impressos (fig. 4.25).

A Foodini tem um touchscreen na frente para que os utilizadores possam selecionar a receita pretendida e imprimir depois de colocar os ingredientes necessários. Pensa-se que a Foodini faça a sua aparição no mercado em janeiro de 2015 com uma previsão de preço à volta dos 1.500€.

4.25
Vários tipos de esculturas de chocolate criadas na Foodini
[RF 4.25]



4.2.3

Insects au gratin

Investigadores da London South Bank University, LSBU, como Susana Soares, Andrew Forks e Dr. Ken Spears têm-se debruçado sobre o consumo de insetos como alimento e estudado os aspetos nutritivos e ambientais, associando-os às tecnologias de impressão tridimensional.

Os insetos têm vindo a ser, através dos tempos, uma fonte de alimento de determinadas civilizações, mas acontece também serem rejeitados veemente por outras, como por exemplo pelos Ocidentais (fig. 4.26).

4.26



4.26
Evolução da apresentação da comida derivada de insetos pela projeto Ento
[RF 4.26]

Para Susana Soares é possível que alguns problemas alimentares originados pelo aumento da população levem a refletir e a encarar seriamente o recurso aos insetos.

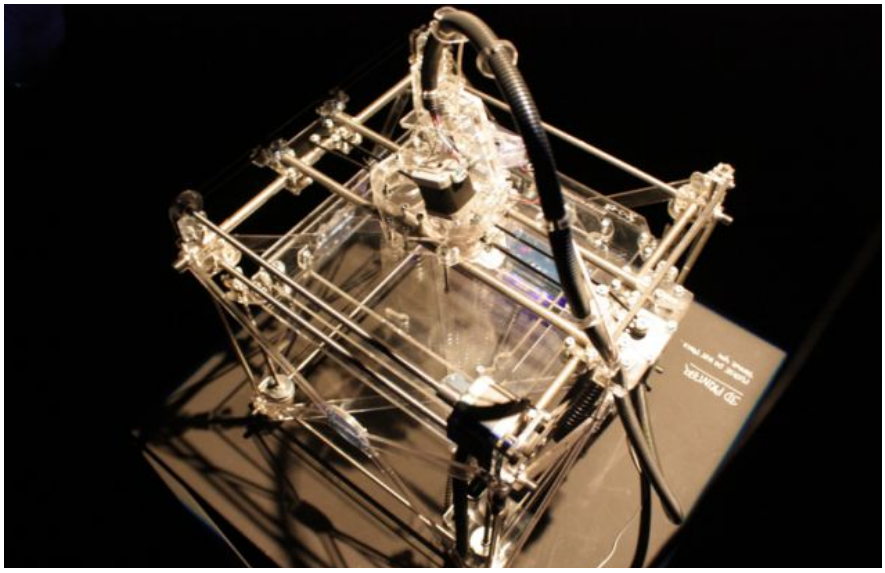
De acordo com o diretor geral da Food and Agriculture organization, FAO, Graciano da Silva, as populações das zonas florestais têm muitas vezes como principal fonte de proteína os animais selvagens e insetos enquanto as folhas, sementes e frutas fornecem as vitaminas e minerais garantindo uma dieta nutritiva.

As dietas tradicionais, incorporando insetos, devem atingir uma população à volta de dois biliões no mundo inteiro, representando um valor significativo na economia e gerando também emprego.

O cultivo e a colheita de insetos com o uso de impressoras tridimensionais no fabrico de alimentos, poderia transformar-se numa fonte alimentar sustentável para uma população crescente a nível global.

O projeto Insects au Gratin (insetos gratinados) surgiu como pretexto de apresentar, para consumo, insetos com novas formas e dar-lhes um aspeto mais atraente, evitando reações de rejeição (fig. 4.27).

4.27



4.27
Impressora RepRap desenvolvida na LSBU com o objetivo de imprimir pastas de insetos
[RF 4.27]

A formação cultural e o sentimento de repugnância explicam, de uma maneira geral o não consumo de insetos. Torná-los diferentes através de uma preparação inovadora dos pratos, talvez consiga vencer, pouco a pouco, essa relutância sentida pela maioria das pessoas.

Para a impressão tridimensional é necessário que os insetos comestíveis sejam secos e moídos. A este pó junta-se manteiga, queijo creme ou água, agente de gelificação e aromatizantes, para formar uma massa com consistência própria à cabeça de impressão (fig. 4.28).

4.28

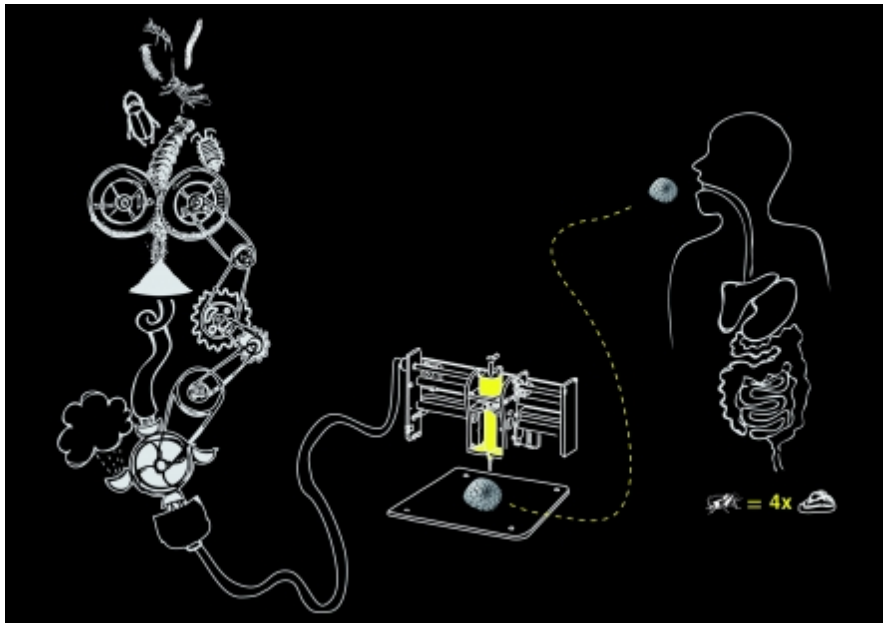


4.28
Escultura de pasta de insetos
[RF 4.28]

Os alimentos são devidamente projetados, antes de fabricados, para que o seu aspeto, depois da impressão, fique atrativo e venham a ser ingeridos com agrado.

A equipa da LSBU acredita que, aliando a impressão tridimensional ao aproveitamento de insetos, será possível incrementar o consumo. A oferta de produtos com aparência e sabores variados pode influenciar o consumo e torná-lo quase irresistível (fig. 4.29).

4.29



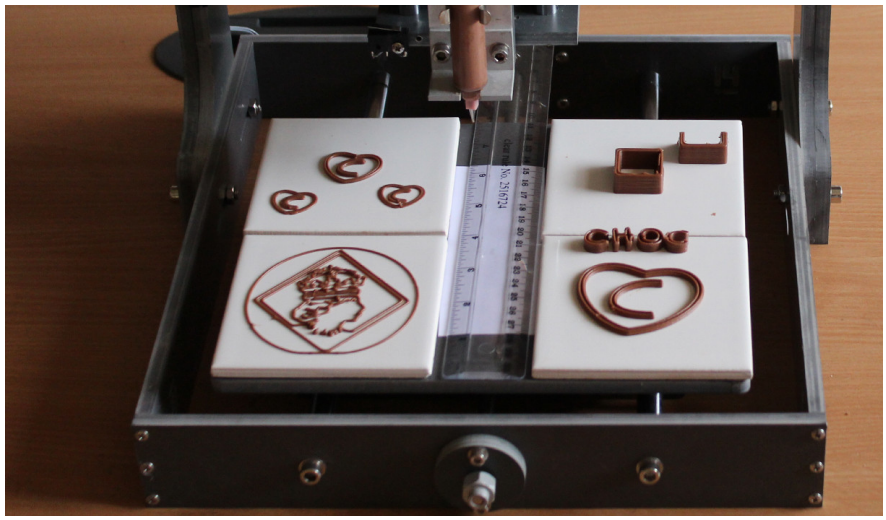
4.29
Imagem explicativa do projeto Insects au gratin
[RF 4.29]

4.2.4

Choc Creator V1

A Choc Edge é uma empresa que foi criada por Liang Hou e se tormou a primeira a lançar a impressora de chocolate 3D, a Choc Creator V1 (fig. 4.30) O seu principal objetivo está em revolucionar a impressão 3D de chocolate através de uma nova tecnologia e apresenta uma variedade de criações capazes de satisfazer diferentes gostos.

4.30



4.30
Impressora
Choc Creator
V1
[RF 4.30]

Com esta nova tecnologia pretende-se persuadir os utilizadores a criar novos tipos de chocolate e a melhorar o consumo do mesmo.

A Choc Edge está em permanente evolução para apresentar o melhor que a tecnologia pode oferecer à impressão 3D de chocolate (fig. 4.31). A Choc Creator V1 é uma simples e versátil impressora de mesa ao alcance de qualquer utilizador destinando-se também para aqueles que queiram iniciar um negócio.

4.31



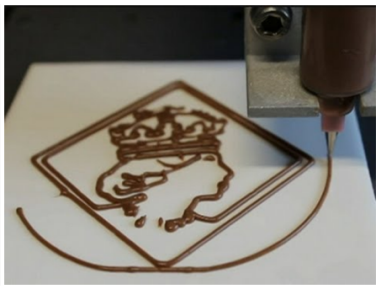
4.31
Choc Creator
V1 em
funcionamento
[RF 4.31]

O seu controle é feito através de um software open source simples tornando acessível o sistema de funcionamento e as suas especifidades.

Com a Choc Creator V1, o chocolate é derretido, temperado e depositado na secção transversal 2D sobre um substrato como se fosse uma impressora a imprimir uma imagem 2D para o papel. Ao substrato é adicionada uma nova camada de chocolate, repetindo o processo de deposição de camada a camada para formar um produto de chocolate sólido 3D que é definido por um desenho de computador 3D (fig. 4.32; fig. 4.33).

4.32 4.33





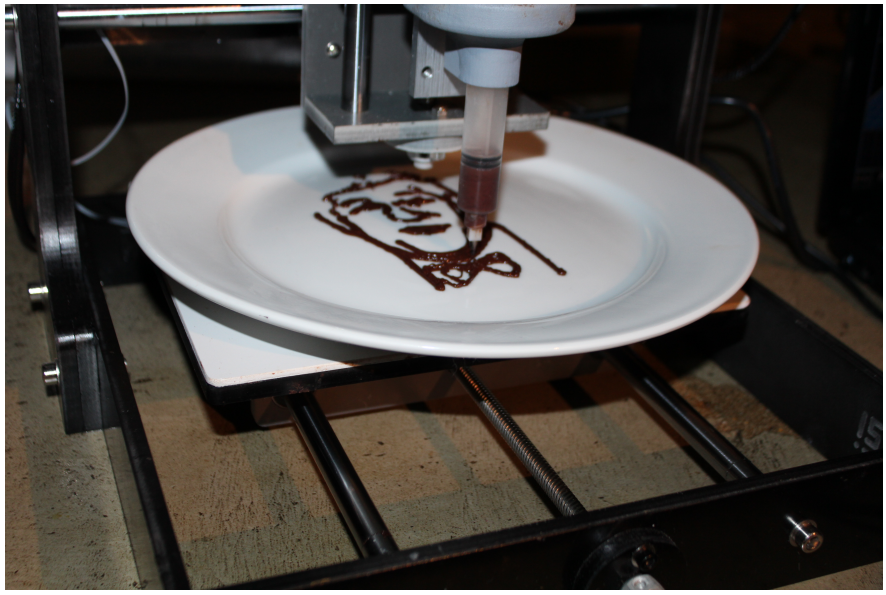
4.32
Bombom impresso na Choc Creator V1
[RF 4.32]

4.33
Choc Creator V1 em funcionamento
[RF 4.33]

De volume compacto, facilita o transporte e a colocação em qualquer lugar.

A cabeça extrusora de material não oferece qualquer dificuldade na sua instalação; é rápida na substituição de material e a substituição de mais chocolate quando este acaba no depósito (fig. 4.34).

4.34



4.34
Choc Creator V1 a extrudir material numa base especial (prato)
[RF 4.34]

Como a impressora é ligada ao computador através de um cabo USB faz com que o envio de ficheiros prontos a imprimir seja veloz. Foi projetada para

imprimir camadas certas de chocolate com espessuras entre os 0.5 e os 1.5 mm, muito mais finas e rigorosas em relação a qualquer técnica manual.

Cada passo é informatizado a fim de evitar erros de repetição e ao mesmo tempo proporcionar flexibilidade de cumprir os princípios do fabrico aditivo, e atender às diferentes exigências de velocidade e precisão.

Os chocolates vulgarmente usados são os de leite, preto e branco, ou com corantes quando se trata de imprimir decorações coloridas e artisticamente imaginativas.

4.2.5

RichRap

Segundo Richar H. a experiência com a impressão 3D foi iniciada em agosto de 2011. Ao tomar conhecimento da impressão 3D de chocolate, por meio de reportagens, e de estudar os relatórios e vídeos, concluíra que não havia grande novidade no processo de fabrico.

Como não encontrou nada que explicasse o funcionamento da máquina (englobando vídeo da impressora) ficou preocupado visto o público não conseguir ter acesso a tal tecnologia, denominada como a primeira impressora de chocolate do mundo.

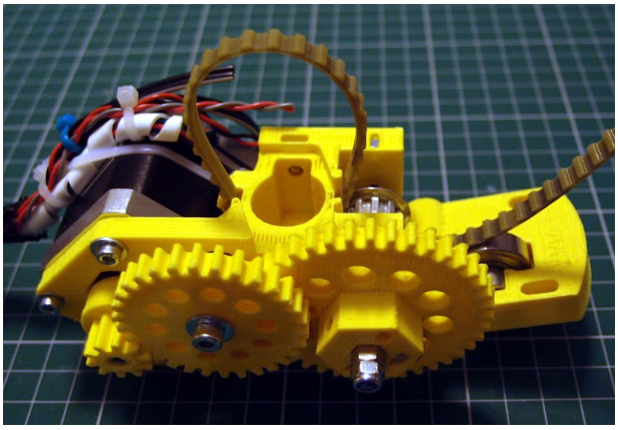
Julga-se que a Universidade de Exeter (onde foi desenvolvida a impressora 3D de chocolate) teria decidido não mostrar qualquer vídeo da impressora relacionado com o processo de impressão.

Faltava informação quanto ao funcionamento e desempenho da impressora, da velocidade de impressão, tempo necessário para as camadas arrefecerem, já não falando de outras características fundamentais para se compreender o funcionamento de um aparelho.

Em face disto, resolveu criar uma impressora, cuja extrusora fosse compatível com vários materiais, tais como o açúcar, chocolate, massa de bolachas e pastas cerâmicas. Para isso recorreu às impressoras opens source como a RepRap, a MakerBot e Fab@home, para criar um extrusora universal (compatível com várias pastas) (fig. 4.35). Richard sabia que o seu projeto não era simples assim como os materiais que se propôs a imprimir, porque não queria trabalhar com válvulas ou compressores de ar para extrudir material.

Essa extrusora de pastas foi criada para se adaptar às várias impressoras do mercado, designadamente à RepRap e à Prusa Mendel.

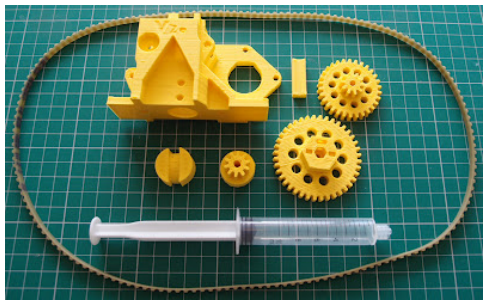
4.35

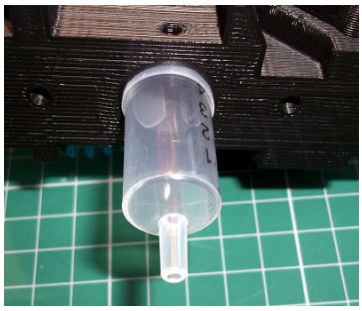


4.35
Pormenor da extrusora de pastas desenvolvido por Richard
[RF 4.35]

O material é extrudido através do processo de êmbolo (similar ao das seringas), isto é, injetando material do reservatório para a extrusora (fig. 4.36; fig. 4.37). Ao confirmar a validade do seu projeto, Richard usou vários materiais; pasta de açúcar, chocolate preto e branco, massa de milho, pastas cerâmicas (barros e argila).

4.36 4.37





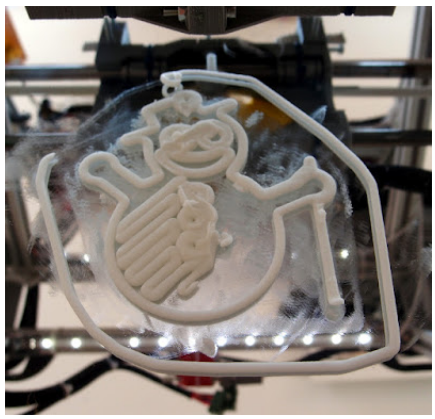
4.36
Componentes da extrusora
[RF 4.36]

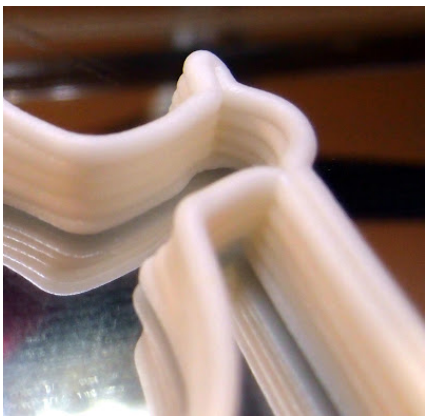
4.37
Pormenor da cabeça de saída de material
[RF 4.37]

Para que a extrusora fosse capaz de suportar vários materiais, e após vários testes, o diâmetro mínimo atribuído à cabeça foi de 2,1 mm.

A extrusora de Richard é para si motivo de grande satisfação pois permite o desenvolvimento de pastas de materiais deferentes e ainda a possibilidade de melhorá-la a qualquer momento (fig. 4.38); (fig. 4.39).

4.38 4.39





4.38
Boneco de neve em pasta de açúcar impresso na RichRap
[RF 4.38]

4.39
Pormenor do boneco de neve
[RF 4.39]

4.3

Observações

O desenvolvimento da impressão tridimensional na área alimentar já é considerado um sucesso.

A modelação manual não consegue obter os mesmos resultados que a impressão tridimensional de qualquer peça projetada, graças ao franco progresso tecnológico.

As possibilidades da impressão tridimensional aplicadas ao fabrico alimentar são consideradas muito importantes. Com resultados animadores, há reações e expectativas no sentido de que a culinária virá a sofrer uma profunda mudança, uma autêntica revolução. O utilizador sente-se entusiasmado ao colocar os alimentos devidamente triturados numa cabeça de extrusão, mesmo falando-se de alimentos que são apenas grosseiramente processados (Lipson et al, 2013).

A utilização de alimentos é uma realidade do fabrico aditivo, principalmente da impressão tridimensional. É a mais indicada para os principiantes na arte culinária. O facto de se recorrer aos alimentos frescos e mais acessíveis quanto ao preço, torna-se uma vantagem para o utilizador que vê o seu trabalho facilitado com resultados animadores.

Esta técnica oferece a qualquer pessoa, independentemente da sua preparação ou não na área, a possibilidade de criar peças surpreendentes e num curto espaço de tempo, que manualmente não seria conseguido.

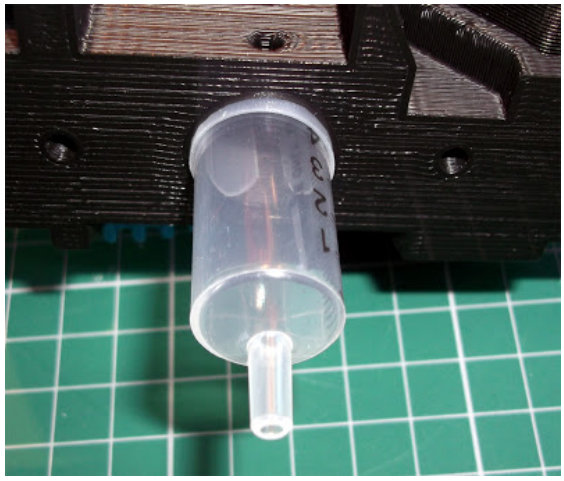
Como a maioria dos projetos de impressão alimentar são open source, é natural que as extrusoras sejam todas diferentes, sendo desenvolvidas para materiais específicos. As extrusoras têm, assim, um papel fundamental na impressão alimentar.

Verifica-se, com os exemplos de aplicação de impressão 3D na área alimentar, que existem duas bocas de extrusão distintas, uma com o bocal de

saída de pastas em forma cilíndrica e outra com o bocal de saída de material em forma cónica. A boca cilíndrica foi utilizada por Richard H., na RichRap (fig. 4.40). A boca cónica foi utilizada na Choc Creator V1 (fig. 4.41). A impressora Foodini utiliza ambas as bocas (fig. 4.42).

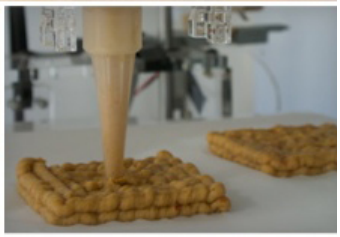
4.40 | 4.41

4.42











4.40
Extrusora com boca de saída cilíndrica
[RF 4.37]

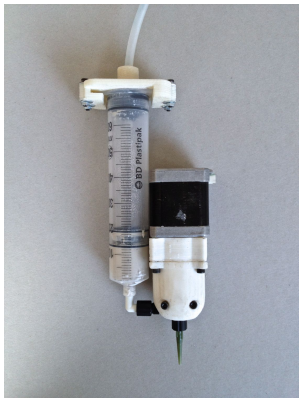
4.41
Extrusora com boca de saída cónica
[RF 4.31]

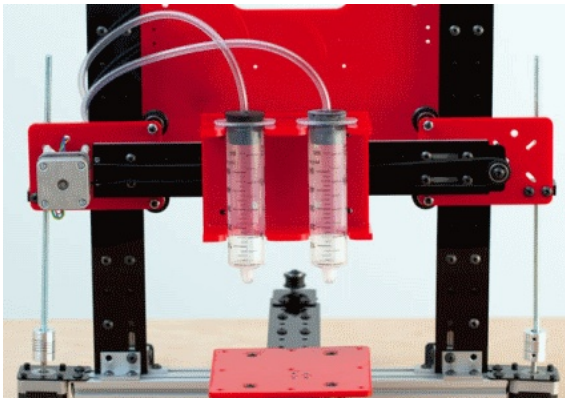
4.42
Diferentes tipos de extrusoras para diferentes tipos de pastas
[RF 4.42]

Diferentes tipos de materiais requerem diferentes tipo de extrusora, dependendo da força necessária para extrudir o material e da definição que se desejada para a impressão. A escolha de uma extrusora pode ser justificada, apenas, através de testes, uma vez que não existe, ainda, nenhuma metodologia científica que especifique a que materiais devem pertencer diferentes extrusoras (fig. 4.43; fig. 4.44).

Acredita-se que futuramente os alimentos utilizados na impressão tridimensional não tragam qualquer entrave nem restrição às técnicas culinárias como fritar, assar, ou cozer alimentos (Lipton et al, 2010).

4.43 4.44





4.43
Exemplo de uma extrusora com boca de saída cónica
[RF 4.43]

4.44
Exemplo de uma extrusora com boca de saída cilíndrica
[RF 4.44]

Com essa evolução, a tarefa de cozinhar tornar-se-á mais atrativa e com a ajuda de um novo robot de cozinha, a preparação das refeições será facilitada e haverá uma poupança de tempo, de esforço, nada comparável com o passado.

As vantagens do uso de aparelhos nas tarefas domésticas seriam uma boa razão para que houvesse um interesse especial e uma procura constante, por parte de amadores e profissionais.

Não sendo possível ainda encontrar uma impressora alimentar em lojas de eletrodomésticos crê-se que está próxima essa possibilidade.

A forma como for apresentado qualquer aparelho novo, e o esclarecimento disponível aos potenciais compradores, vai pesar na recetibilidade dos mesmos que se debruçarão com mais ou menos curiosidade sobre as suas funções.

Nos tempos de hoje, marcado pelas tecnologias, é mais importante estar atento às necessidades e exigências do consumidor para que a aceitação de produtos inovadores corresponda àquilo que deles se espera, isto é, uma melhor qualidade de vida.

5

Componente Prática

A impressão tridimensional na área da alimentação é limitada, tornando-se difícil imprimir alimentos de raiz. A impressão de uma folha de alface ou de uma rodela de tomate é impossível, devido à necessidade de transformação dos alimentos para esta operação. As expectativas estão ainda longe da realidade.

A impressão tridimensional de um hambúrguer fresco e agradável ao paladar, com vários ingredientes, é tão difícil como a impressão de um órgão humano, uma vez que atualmente apenas se consegue imprimir matéria alimentar devidamente adaptada para esse propósito. Ainda é necessário preparar alimentos, seja na forma de pó ou pasta, para que fiquem aptos para a impressão, sendo o seu resultado final ainda insatisfatório, quando comparado com o aspeto normal do alimento (fig. 5.1 e fig 5.2).

5.1 | 5.2
Diferença entre um Hambúrguer no pão impresso tridimensionalmente[RF 5.1]
e um hambúrguer no pão.
[RF 5.2]





5.1

Metodologia

Uma metodologia deve encontrar-se dentro das preocupações ambientais, proporcionando, por vários processos, a capacidade de produzir peças com a quantidade de material necessário para o volume final (Boyard et al.; 2013).

A metodologia apresentada de seguida, pretende demonstrar as grandes vantagens da utilização da impressão tridimensional de extrusão filamentar, no desenvolvimento e produção de componentes personalizados em pasta de açúcar para aplicação na pastelaria, de modo a conseguir decorar bolos de forma rápida e eficaz, com grande precisão formal e dimensional.

O desenvolvimento dos testes práticos foi feito recorrendo à definição de impressão tridimensional de extrusão filamentar, ou seja, à adição sucessiva de camadas com vista à criação de objetos, através da extrusão de um material semilíquido, a partir de uma cabeça de impressão controlada por um computador. Neste caso a extrusora foi controlado por uma pessoa, e como se tratava de uma seringa, a boca de extrusão estudada foi de forma cilíndrica.

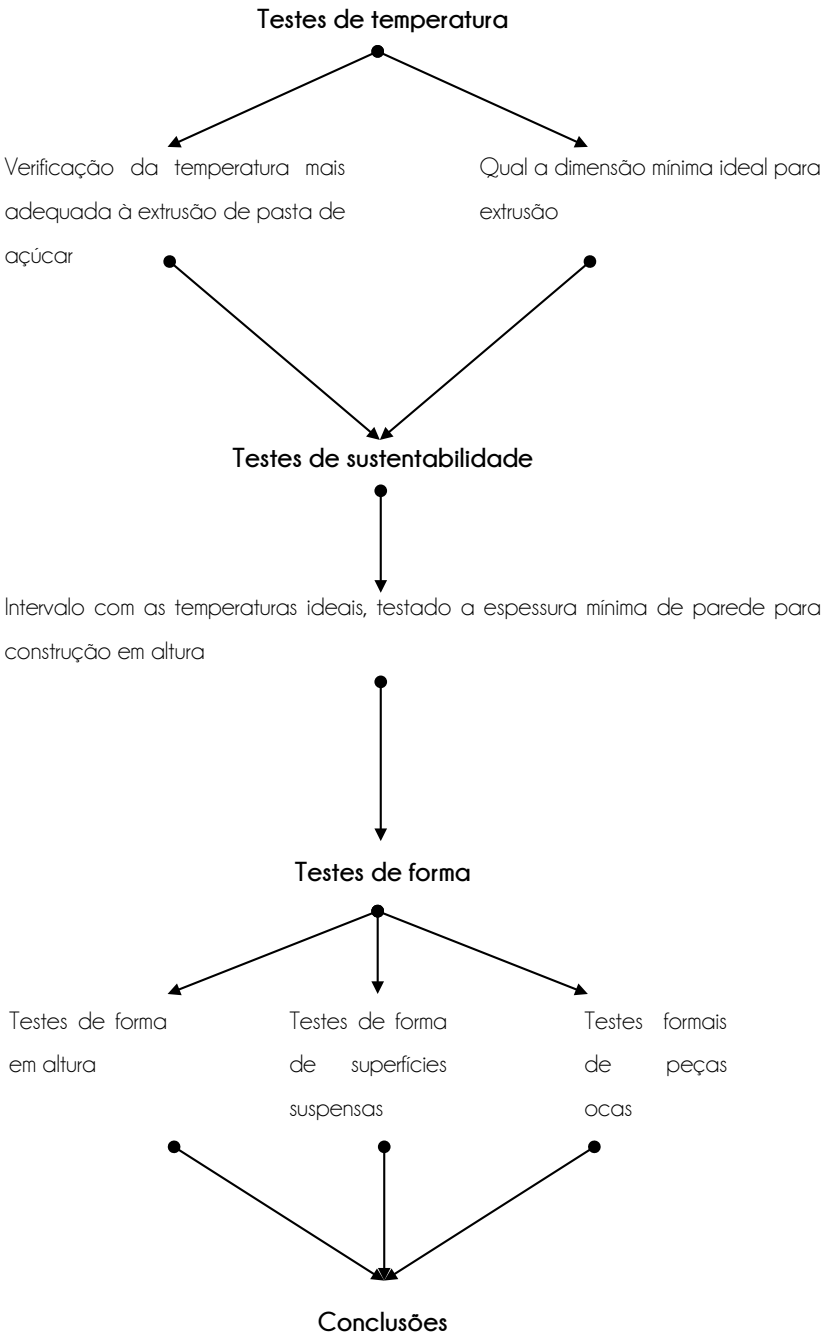
Neste caso, como apenas foi necessário testar o comportamento do material e a espessura da cabeça de impressão, foi utilizada uma seringa com um diâmetro de extrusão de 2,1 mm. Esta é a medida normalizada para as bocas das seringas disponíveis no mercado.

Esta cabeça de extrusão foi validada por Richard H. em 2011 [RS1] na sua impressora open source RichRap, como já foi verificado. Contudo, não existe uma componente de testes científicos associados a esta impressora.

Como tal, foram desenvolvidos vários testes com vista à optimização da utilização de pasta de açúcar em extrusoras com 2,1 mm de diâmetro. Os testes efetuados foram divididos em três fases distintas: testes de temperatura, testes de sustentabilidade e, por último, testes de forma.

O diagrama (fig. 5.3) que se segue é uma representação esquemática das principais etapas desta metodologia, sendo de seguida explicada de forma mais detalhada.

5.3



5.3 Diagrama dos testes práticos realizados com pasta de açúcar

5.2

Resultados experimentais

Os testes experimentais realizados no âmbito desta dissertação foram executados entre agosto e setembro de 2014, tendo sido utilizados os seguintes materiais (fig. 5.4):

- Caneta de acetato; régua 150 mm;
- Formas estreladas de bolachas para testes formais;
- Laca (fixação da pasta de açúcar);
- Pasta de açúcar;
- Seringa de 5ml (concluiu-se que para os testes este era o reservatório mais adequado para a extrusão manual de pasta de açúcar, provocando menos desconforto);
- Termómetro (termómetro de pasteleiro com sensibilidade de temperaturas entre -53 °C e 300 °C e tolerância de ± 1°C);
- Vidros (para a deposição do açúcar, uma vez que pode ser refrigerado para arrefecer a base e facilmente se retiram apontamentos sobre a deposição de material);



5.4

5.4 Materiais utilizados nos testes

5.2.1

Testes de temperatura

Os testes de temperatura foram realizados de modo a conseguir determinar a temperatura mais adequada à extrusão de pasta de açúcar e qual a dimensão mínima ideal para a criação de objetos.

A pasta de açúcar utilizada foi a pasta portuguesa Sweetart, sem glúten de cor azul céu, composta por açúcar, amido de milho, glicose, gordura vegetal, gomas vegetais, estabilizador E420, conservantes E202, corante E131 e aroma de limão.

Estes testes foram realizados a uma temperatura ambiente de 20°C e com baixa humidade relativa de ar.

Para atingirmos as temperaturas desejadas, a pasta de açúcar foi aquecida em banho maria. Colocou-se a pasta dentro da seringa juntamente com o termómetro, sendo posteriormente colocados dentro de um recipiente com água a aquecer, até atingirem a temperatura desejada; de seguida retirou-se a seringa do recipiente e esperou-se que atingisse a temperatura desejada, uma vez que a temperatura da pasta de açúcar depois de ser retirada do reservatório, tem tendência a aumentar.

As temperaturas estudados foram 42°C, 47°C, 52°C, 57°C e 62°C, tendo os comprimentos dos filamentos extrudidos 20mm, 30mm e 40mm (fig. 5.5 a 5.9). O intervalo de temperaturas foi definido entre a temperatura mínima a que o material consegue ser extrudido pela seringa e a temperatura em que o material se encontra em estado demasiado liquido, atingindo facilmente o ponto caramelo ficando por isso inutilizável para este processo. A espessura destes testes (2,1 mm) é a espessura mínima obtida, ou seja, uma linha de pasta de açúcar, com o mínimo de 5 camadas em altura, ou seja 10,5mm de altura ideal.

Os resultados obtidos foram os seguintes:

5.5

42 °C	Observações	Imagens
20 mm	Dificuldade na extrusão de material, criação de repuxos (fig. 5.5).	
30 mm	Suportou as 5 camadas, mas notou-se deformação na construção logo na segunda camada (fig. 5.6).	
40 mm	Não suportou as 5 camadas definidas, arrefeceu à quarta camada (fig. 5.7).	

5.5
Imagens dos testes a uma temperatura de extrusão de 42 °C

5.6

47 °C	Observações	Imagens
20 mm	Deformações notadas logo na deposição da segunda camada (fig. 5.8).	
30 mm	Tentou-se imprimir 6 camadas, mas notou-se uma grande deformação (fig. 5.9).	
40 mm	As camadas não se aglutinam para formar uma estrutura uniforme, notando-se muita diferenciação entre camadas (fig. 5.10)	

5.6
Imagens dos testes a uma temperatura de extrusão de 47 °C

5.7

52 °C	Observações	Imagens
20 mm	Notou-se deformação na construção a partir da quarta camada (fig. 5.11).	
30 mm	Impressão de 6 camadas uniformes e sem deformação (fig. 5.12).	
40 mm	Ótima aderência entre camadas, com deformações pouco significativas (fig. 5.13).	

5.7
Imagens dos testes a uma temperatura de extrusão de 52 °C

5.8

57 °C	Observações	Imagens
20 mm	Camada uniforme, deformações visíveis devido a falha humana (fig. 5.14).	
30 mm	Contração das camadas, maior adesão entre elas de modo a criar uma parede mais uniforme (fig. 5.15).	
40 mm	Camadas uniformes sem deformações relevantes (fig. 5.16).	

5.8
Imagens dos testes a uma temperatura de extrusão de 57 °C

5.9

62 °C	Observações	Imagens
20 mm	Em todos os comprimentos testados, a parede não suporta o seu peso devido à temperatura, causando deformações, apesar de se verificar uma boa adesão entre camadas (fig. 5.17, fig. 18, fig. 19).	
30 mm		
40 mm		

5.9
Imagem dos testes a uma temperatura de extrusão de 62 °C

Após a realização dos teste de temperatura chegou-se à conclusão que a pasta de açúcar não pode ser aquecida a temperaturas superiores a 90°C, uma vez que a partir dessa temperatura a pasta carameliza, pois existe um grande choque de temperatura e o açúcar solidifica, o que cria uma grande dificuldade na extrusão do material quando exposto à temperatura ambiente (fig. 5.10).

5.10



5.10
Pasta de açúcar após ter atingido o ponto de caramelo e ser exposta à temperatura ambiente

No entanto, notou-se que, após exceder a temperatura do ponto de caramelo e a mesmo solidificar, esta pasta não é miscível com a pasta de açúcar que se encontre a temperaturas na ordem dos 50°C. O mesmo não acontece quando se mistura pasta de açúcar com temperaturas diferentes até ao máximo de 65°C, em que estas se misturam facilmente, podendo ser reutilizadas novamente.

De modo a controlar devidamente a temperatura da pasta de açúcar, optou-se por aquecer a seringa, com a pasta de açúcar já no reservatório, em banho maria. Verificou-se que existe sempre uma diminuição de temperatura de aproximadamente 5°C entre a deposição da primeira e da última camada.

Quanto à temperatura da base de vidro, verificou-se que quanto mais elevada for, menos eficaz é a deposição de material na sua superfície, uma vez que a temperatura do vidro influencia negativamente o suporte da pasta depositada. Assim, quanto menor for a temperatura da base de vidro, mais efetiva é a deposição e o suporte da pasta de açúcar.

Quanto maior for a temperatura a que a pasta se encontra, maior a possibilidade de criar bolsas de ar, uma vez que o material tem tendência a expandir e a formar bolhas de ar no próprio reservatório (fig. 5.11).



5.11

5.11
Pasta de açúcar extrudida a 62 °C. Verificou-se o aparecimento de bolhas de ar, e todas os testes cederam com o peso

Verificou-se que os melhores resultados obtidos foram com as temperaturas de 52 °C e 57 °C (fig. 12), e que a dimensão aconselhável para uma face com espessura mínima seria de 30mm. Neste intervalo de temperatura verificou-se que a extrusão de material é mais fácil (requer a aplicação de uma força menor) e fluida, há uma melhor aderência entre as camadas e notou-se que o resultado final da construção é mais coeso do que com outras temperaturas.



5.12

5.12
Resultados da impressão à temperatura de 52 °C (superior) e 57 °C (inferior)

Definiu-se, assim, duas novas temperaturas a estudar nos testes de sustentabilidade: 55°C e 60°C. Chegou-se a este valor depois de realizados os testes de temperatura onde se verificou que os melhores resultados foram os atingidos entre a temperatura de 52°C e 62°C . Para facilitar o controlo e a programação de uma futura cabeça extrusora utilizaram-se, então, múltiplos de cinco obtendo-se assim as temperaturas de 55°C e 60°C.

5.2.2

Testes de sustentabilidade

O objetivo dos testes de sustentabilidade é determinar qual a espessura ideal para a criação de modelos comestíveis ocos.

Estes testes foram realizados a uma temperatura ambiente de 22°C, e com baixa humidade relativa de ar.

Os testes de sustentabilidade foram realizados com duas temperaturas diferentes, 55°C e 60 °C (fig. 13; fig. 14).

Utilizaram-se três espessuras de teste diferentes: 4,2mm, 6,3mm e 8,4mm, com uma altura de 7 camadas (idealmente 14,7mm, mas como foi verificado nos primeiros testes existe a tendência de as camadas não terem uma altura constante que varia conforme a temperatura)

Após os teste de sustentabilidade obtiveram-se os seguintes resultados:

55°C	Observações
4,2 mm	Observaram-se camadas uniformes, sem deformação; Verificou-se que, após a quinta camada, a estrutura não suportaria mais nenhuma camada (fig. 5.23, fig. 5.24).
6,3 mm	Amostra com fácil deposição e sustentabilidade das camadas, e uma boa aderência entre camadas (fig. 5.25, fig. 5.26).
8,4 mm	Obtém-se uma parede bastante firme, com a possibilidade de aumentar a sua altura sem comprometer a forma (fig. 5.27, fig. 5.28).

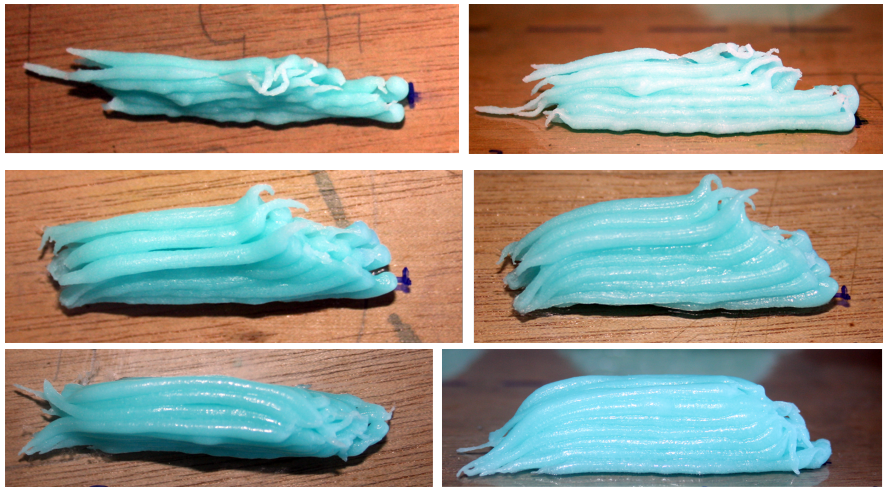
5.13



5.13
Impressão de pasta de açúcar a 55°C com diferentes espessuras

60°C	Observações
4,2 mm	A temperatura faz com a que a pasta crie várias bolsas de ar o que compromete a estabilidade da parede (fig. 5.29, fig. 5.30).
6,3 mm	Verificou-se dificuldade ao controlar a pasta de açúcar após a saída da boca extrusora (fig. 5.31, fig. 5.32)..
8,4 mm	Embora haja dificuldade na manutenção da temperatura de extrusão, obtém-se uma parede firme (fig. 5.33, fig. 5.34)..

5.14

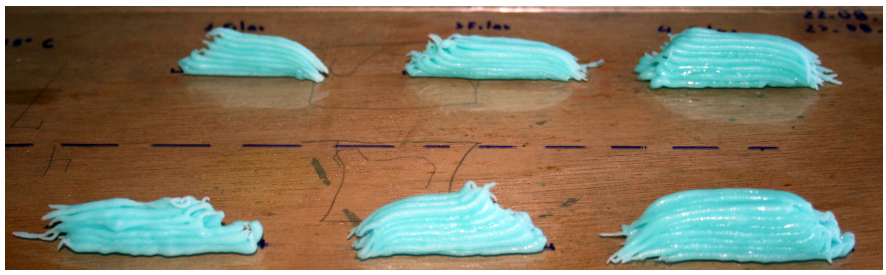


5.14
Impressão de pasta de açúcar a 60°C com diferentes espessuras

Concluiu-se que a temperatura ideal, quer para o controlo, quer para extrusão, seria de 55°C, uma vez que, a esta temperatura, a pasta torna-se fácil de extrudir, permitindo obter uma boa aglutinação entre camadas, dando uma configuração uniforme à impressão, seja em espessuras iguais ou superiores a 4,2mm. O mesmo já não acontece com a temperatura da pasta a

60°C, pois torna-se difícil de controlar a saída da pasta, causando repuxos ou camadas pouco uniformes (fig. 5.15). Durante os testes foi difícil manter a temperatura constante ao longo da impressão, o que influenciou o resultado final da mesma, mas quando se trata de geometrias de paredes mais espessas, com mais de 8,4mm, e se for dentro de um ambiente de temperatura controlado, não se verificam grandes diferenças formais entre a impressão a 55°C e 60°C.

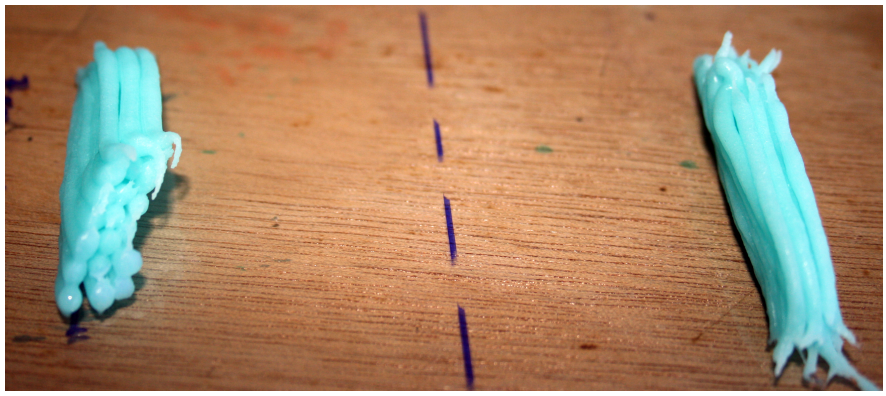
5.15



5.15
Resultados da impressão à temperatura de 55°C (superior) e 60°C (inferior)

A espessura mínima aconselhável de parede, de acordo com os testes realizados, seria de 6,3mm (fig. 5.16), para garantir a sustentação de estruturas ocas sem deformações.

5.16



5.16
Resultados da impressão à temperatura de 55°C (esquerda) e 60°C (direita) com espessura de parede constante

5.2.3

Testes de forma

Depois de determinar a temperatura ideal e estudar as dimensões mínimas, quer em espessura quer em comprimento, efetuaram-se testes de forma.

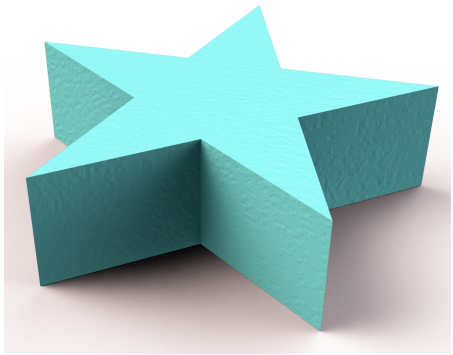
Os testes de forma foram efetuados com o propósito de identificar pontos fortes e fracos na impressão de diferentes formas, para assim determinar quais as volumetrias mais indicadas para a impressão filamentar de pasta de açúcar.

Optou-se pela utilização de formas de estrelas pentagonais, uma vez que a sua geometria é dotada de diferentes tipos de ângulos e vários vértices, tornando-a ideal para a realização de testes formais, de modo a que seja possível retirar conclusões mais claras e precisas. Tal não poderia acontecer caso a forma escolhida para estes teste fosse de uma geometria simples como um quadrado ou um triângulo.

O primeiro teste realizado foi a construção de um prisma com base de estrela pentagonal com 10 camadas de altura e arestas de 20mm (fig. 5.17; fig. 5.18).

5.17 | 5.18
Desenho tridimensional do prisma com base de estrela pentagonal





Os testes foram realizados a uma temperatura ambiente de 26°C, e com baixa humidade relativa do ar.

O diâmetro da extrusora, fez com que houvesse uma grande dificuldade na obtenção dos vértices (fig. 5.19) e que fosse difícil o preenchimento de toda a área de impressão (fig. 5.20), causando assim algumas contrações na peça,

assim como a diminuição da forma à medida que se ia construindo a peça em altura.

Ao aumentar a altura, a peça ficava mais pequena, as arestas verticais, não ficaram perpendiculares à base, o que comprometeu a forma final esperada (fig. 5.21).

5. 19 | 5. 20

5.21



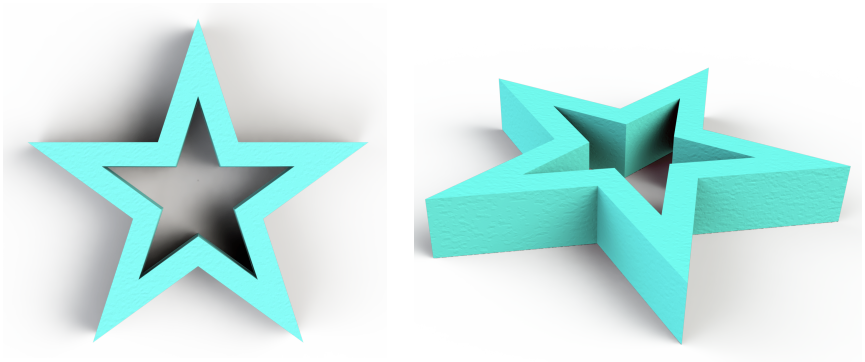
5.19 vértices pouco acentuados

5.20 Vazios existentes na área de impressão

5.21 Arestas verticais não perpendiculares às arestas da base

O segundo teste realizado, foi igualmente a construção de um prisma de base estrelada pentagonal oco (espessura da parede de 8.4mm) com 10 camadas, só que com as arestas de 30mm (fig. 5.22; fig. 5.23).

5.22 | 5.23



5.22 | 5.23 Desenho tridimensional do prisma com base de estrela pentagonal

Este teste foi realizado para validar impressões de modelos comestíveis ocos. A espessura utilizada determinou-se nos testes de sustentabilidade em que se

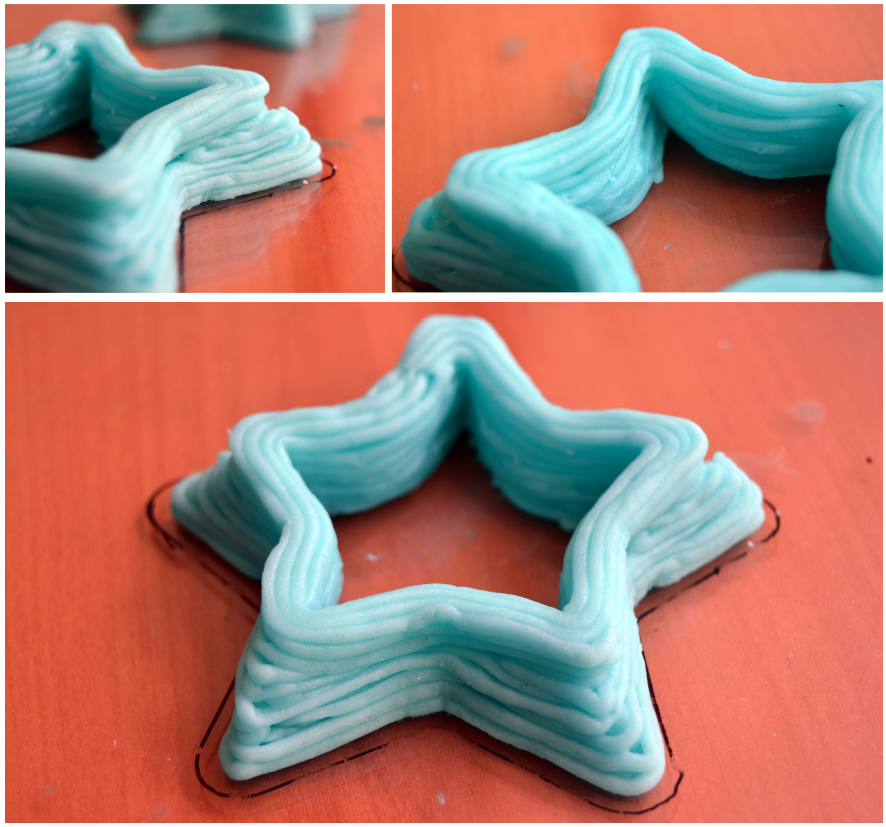
verificou que a espessura mínima aconselhável para construção em altura seria de 6.3mm, mas, mesmo assim, optou-se por uma espessura de parede de 8.4mm, para retirar conclusões mais precisas.

Notou-se uma grande dificuldade na realização deste teste, uma vez que extrudir manualmente pasta de açúcar requer bastante força, principalmente quando há necessidade de precisão formal.

A maior dificuldade encontrada na realização deste teste foi o controlo da espessura, sendo que na quinta camada é possível notar uma diminuição da dimensão da parede (fig. 5.24) e na oitava camada apenas há três linhas de extrusão visíveis (fig. 5.25). Isto fez com que houvesse algumas contrações no material, principalmente nos vértices de ângulos convexos (fig. 5.26).

5.24 | 5.25

5.26



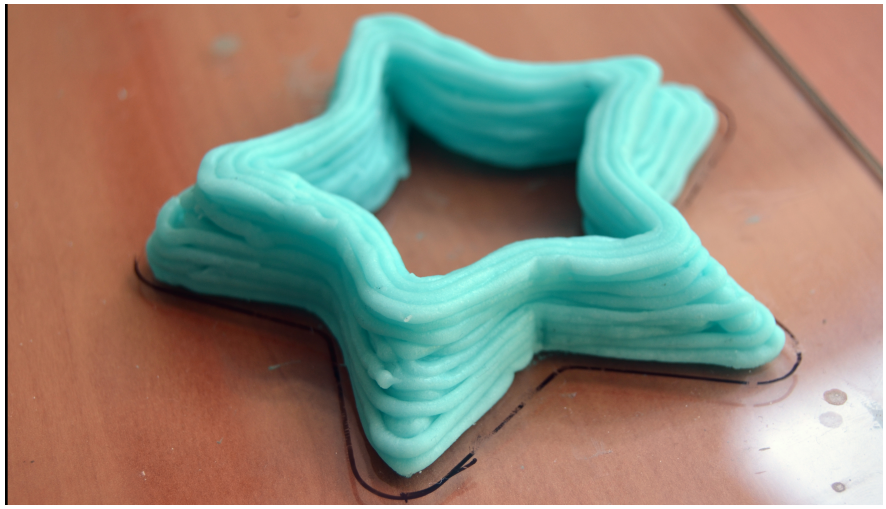
5.24
Retração de material

5.25
Espessura pouco controlada

5.26
Contração de material nos ângulos convexos

De uma forma geral atingiu-se, embora de forma não muito rigorosa, a geometria idealizada. O facto da boca extrusora ter 2.1mm retira alguma precisão formal aos objetos que tenham vértices muito acentuados (fig. 5.27).

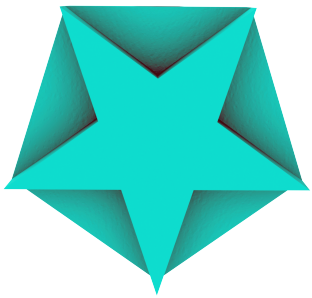
5.27

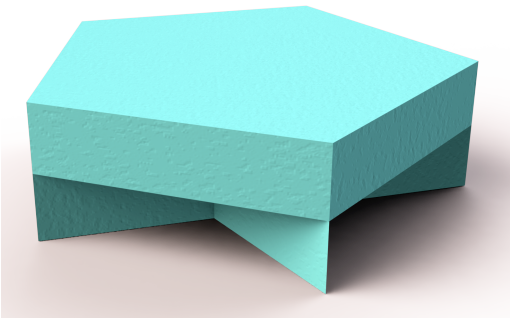


5.27
Imagem do prisma

O terceiro teste realizado foi um teste de suporte de camadas através da sobreposição de dois prismas, sendo um primeiro prisma com base de estrela pentagonal com arestas de 25mm e 5 camadas de altura, e o segundo um prisma pentagonal com arestas de 40mm igualmente com 5 camadas de altura (fig. 5.28; fig. 5.29). O objetivo deste teste foi verificar se o material tem a capacidade de se suportar a ele mesmo em formas geométricas relativamente simples, que possam ter partes suspensas, sem recorrer ao auxilio de suportes.

5.28 5.29





5.28 | 5.29
Desenho tridimensional do prisma com base de estrela pentagonal e topo de prisma pentagonal

Este teste foi realizado a uma temperatura ambiente de 23°C e com uma elevada humidade atmosférica, o que fez com que os resultados finais dos testes não fossem os melhores para tirar conclusões face à sobreposição de formas e de teste para camadas suspensas, mas permitiu retirar conclusões face ao ambiente de impressão.

Como se pode concluir, nestas condições atmosféricas, a peça ficou com pouco ou nenhum rigor face aos testes feitos anteriormente, as camadas

sobrepunham-se umas nas outras e tornavam-se muito viscosas, o que dificultava o desenho das formas (fig. 5.30).



5.30

5.30
Imagem do prisma depois de impresso

Houve uma homogeneização do material que fez com que este retraísse, normalmente o facto de o material ficar homogeneizado e fazer com que não se notem as camadas poderia ser uma mais valia ao produto, mas neste caso fez com que ambas as formas ficassem disformes e longe do modelo desenvolvido inicialmente (fig. 5.31).



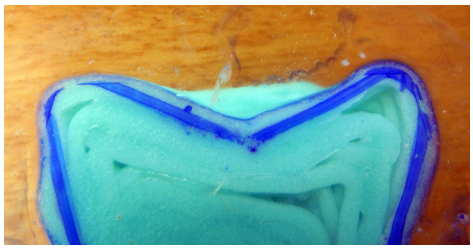
5.31

5.31
Pormenor da homogeneização das camadas provocando indefinição formal

Ao obter-se a forma final, e depois de a deixar repousar, notou-se que embora de uma forma não muito credível, uma vez que este teste não é de todo fidedigno, que uma das faces do pentágono conseguiu ficar suspensa entre dois vértices da estrela (fig. 5.32; fig. 5.33), mas apenas se verificou numa das faces, o que faz com que se possa pensar que, num ambiente mais controlado, seja possível a impressão de formas onde existam faces suspensas.

5.32 | 5.33

5.32 | 5.33 Verificação da existência de uma face suspensa

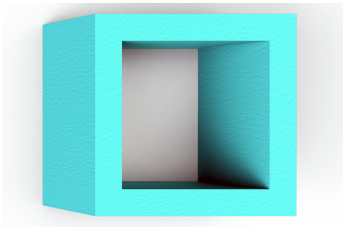


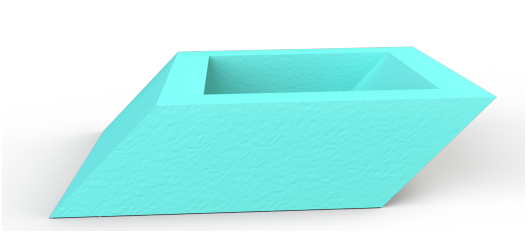


O quarto teste pretende obter uma geometria de forma paralelepipédica oca, em que a base seria um quadrado e o seu topo seria igualmente um quadrado mas com uma inclinação de 45° face ao quadrado da base. Os lados do quadrado teriam 60 mm e uma altura de 15 camadas (fig. 5.34; fig. 5.35). O teste foi realizado a uma temperatura ambiente de 26°C e com baixa humidade relativa do ar.

5.34 | 5.35

5.34 | 5.35 Desenho tridimensional do paralelepípedo oco com uma das faces inclinadas 45°





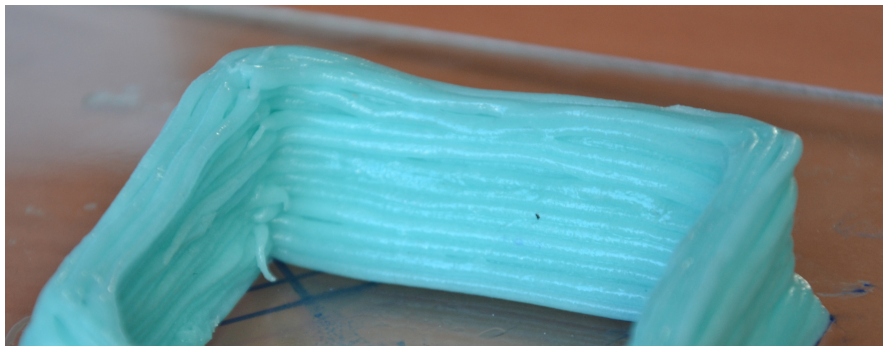
Para a impressão optou-se por uma espessura de camada de 8.4 mm. Ao longo do teste houve sempre esse controlo de espessura, ao contrário do que aconteceu com a estrela, uma vez que havia mais experiência na impressão.

Como verificado anteriormente, a pasta de açúcar a 55°C adere facilmente entre as camadas, pelo que não existiu grande dificuldade em fazer com que o material fosse desnivelado ao criar a inclinação (fig. 5.36). Não se verificou contração de material nem saídas de água ou ar, o que ajudou bastante na sustentação da forma (fig. 5.37).

5.36

5.37





5.36
Face inclinada do prisma

5.37
Pormenor da impressão

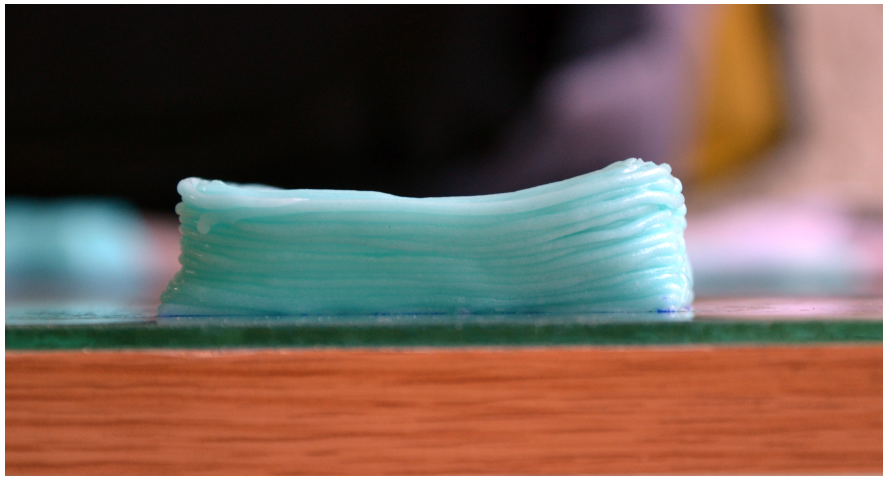
A forma final atingida está de acordo com o modelo inicialmente desenhado (fig. 5.38). De notar que existe uma pequena curvatura nas paredes inclinadas provocadas pelo peso do material (fig. 5.39), algo que pode, para já, ser justificado por ter sido impresso manualmente e não haver um grande controlo de deposição de material no local mais apropriado para garantir que estes pequenos defeitos aconteçam.

5.38



5.38
Forma final do prisma

5.39

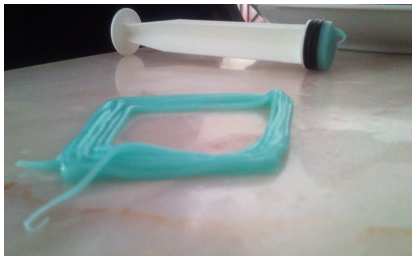


5.39
Contração do material devido ao peso da face inclinada

Enquanto se realizavam os testes formais específicos referidos anteriormente, também se testaram outras geometrias de forma aleatória, sem uma geometria desenhada previamente, apenas foram criadas de uma forma experimental, sem qualquer rigor dimensional (fig. 40; fig.41). Em baixo encontram-se algumas dessas formas.

5..40 5.41





5.40 I5.41
Experiencias de impressão

5.3

Análise de resultados

À medida que se foram realizando os testes, foram retiradas várias observações, essenciais à criação de uma boca extrusora de pasta de açúcar para a adaptação a uma impressora tridimensional open source.

Como verificámos, a pasta de açúcar tem bastante maleabilidade e a temperaturas compreendidas entre os 55°C e os 60°C, há uma boa extrusão sem ser necessário aplicar muita força na boca extrusora.

Como não foi possível controlar a temperatura ambiente, a altura dos modelos comestíveis não foi tida em consideração, pois, embora existam contrações, não se chegou a um resultado padrão, daí se ter optado por não serem colocadas nesta dissertação.

A pasta de açúcar consegue ser trabalhada manualmente a várias temperaturas, sendo que mostrou-se preferível trabalhar com a pasta a temperaturas ambientes entre os 25°C e 26°C e com pouca ou nenhuma humidade relativa do ar.

A pasta de açúcar deve estar a uma temperatura constante em todo o reservatório, para não criar bolsas de ar, que podem comprometer a geometria final da peça.

Para a obtenção de modelos comestíveis ocos seria necessário uma espessura mínima de 6.3mm, mas como os testes foram realizados manualmente optou-se por uma espessura de 8.4mm.

Nos testes formais concluiu-se que, dada a viscosidade do material e a forte aderência entre camadas, para faces inclinadas ou até mesmo partes suspensas, se estas não forem muito acentuadas, não há a necessidade de criar suportes.

Para o processo de desenvolvimento de uma impressora destinada à pasta de açúcar, há a necessidade de especificar as necessidades do mercado.

Para isso, criou-se uma lista de objetivos com base no que foi estudado e escrito ao longo da dissertação para corroborar os resultados obtidos ao longo da fase experimental.

Produto:

- Impressora tridimensional de pasta de açúcar

Necessidades de mercado:

- Desenvolver uma impressora tridimensional exclusiva para impressão de pasta de açúcar.
- Criar uma boca extrusora exclusivamente para a impressora.
- A impressora necessita de ter uma dimensão formal capaz de ser transportável e adaptável a qualquer ambiente.
- Utilização fácil e intuitiva.

Mercado alvo:

- **Primário:** Pasteleiros, Cake designers, Cozinheiros
- **Secundário:** Cozinheiros amadores, Investigadores académicos (estudo e desenvolvimento/ melhoramento de novas soluções)

Entidades interessadas:

- Restauração
- Fabricantes, distribuidores e revendedores
- Ensino Universitário

Características e restrições:

- Impressora de tecnologia open source
- Portabilidade
- Componentes da impressora impressos tridimensionalmente

Necessidades da impressora e especificações:

- Ambiente interno controlado (impressora fechada)
- Dimensão aproximada das impressoras de deposição filamentar
- Boca extrusora com temperatura de saída uniforme
- Base de impressão deslocável no eixo zz (para não comprometer o rigor de impressão)
- Extrusora necessita de se deslocar no eixo xx e yy
- Necessidade de desenvolver um reservatório para a pasta de açúcar capaz de, a uma temperatura constante e ao mesmo tempo, controlar a saída de material, para evitar repuxos, saídas de ar e contrações.
- Criar uma base de dados de modelos tridimensionais pronta para impressão.
- Capacidade de impressão sem recorrer a um computador.

Desenvolvimento de forma e conceito

Ao longo desta dissertação foram estudadas várias impressoras, as suas características e aplicações. Entre os vários modelos estudados, houve uma impressora open source que se destacou por responder à maioria das necessidades e especificações essenciais ao desenvolvimento de uma nova impressora de pasta de açúcar. Essa impressora é utilizada pela designer Susana Soares no projeto "Insects au Gratin" e pelo Centro de Arte Contemporânea Z33 na impressora "L'Artisan Electronique".

Esta impressora tem como nome "Ceramic Extrusion Printer" (fig. 42) e o seu projeto está disponível no site da RepRap [RS2] e no blog Unfold [RS3].

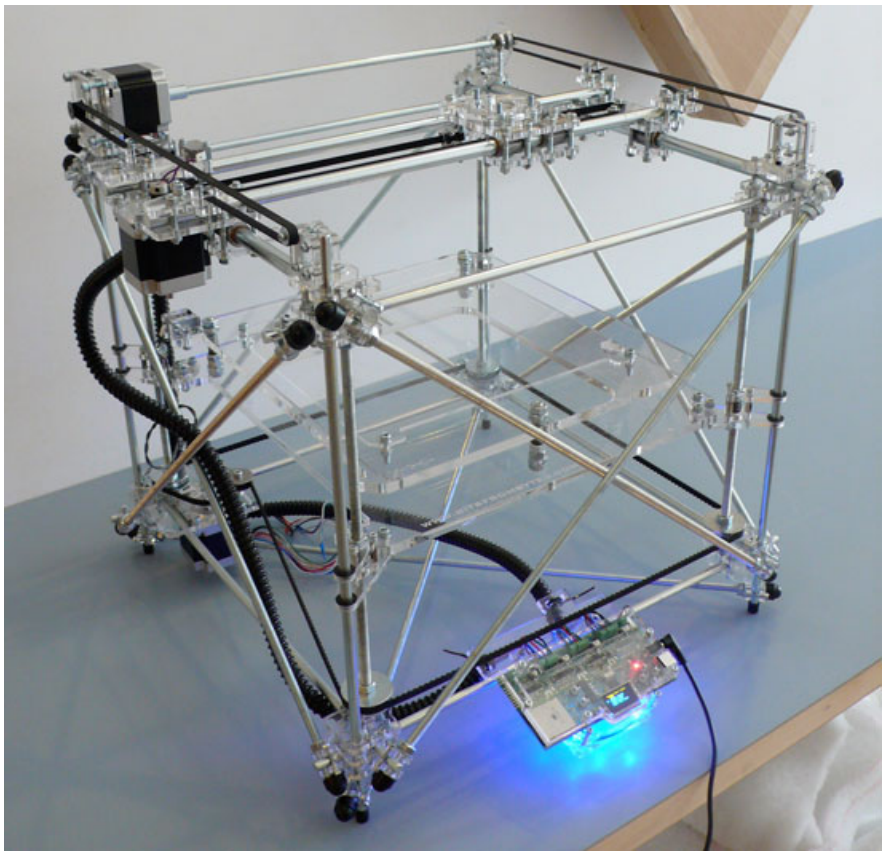
No entanto, serão necessárias algumas alterações para esta ser apta à impressão de pasta de açúcar:

- Necessidade de fechar a impressora para controlar o ambiente interno de impressão
- Redesenhar a extrusora de forma a esta imprimir a pasta de açúcar sem exercer grande força para extrudir
- Inclusão de um sistema de aquecimento e manutenção de temperatura no reservatório

- Desenvolvimento de uma aplicação que possibilite escolher entre vários modelos a imprimir.

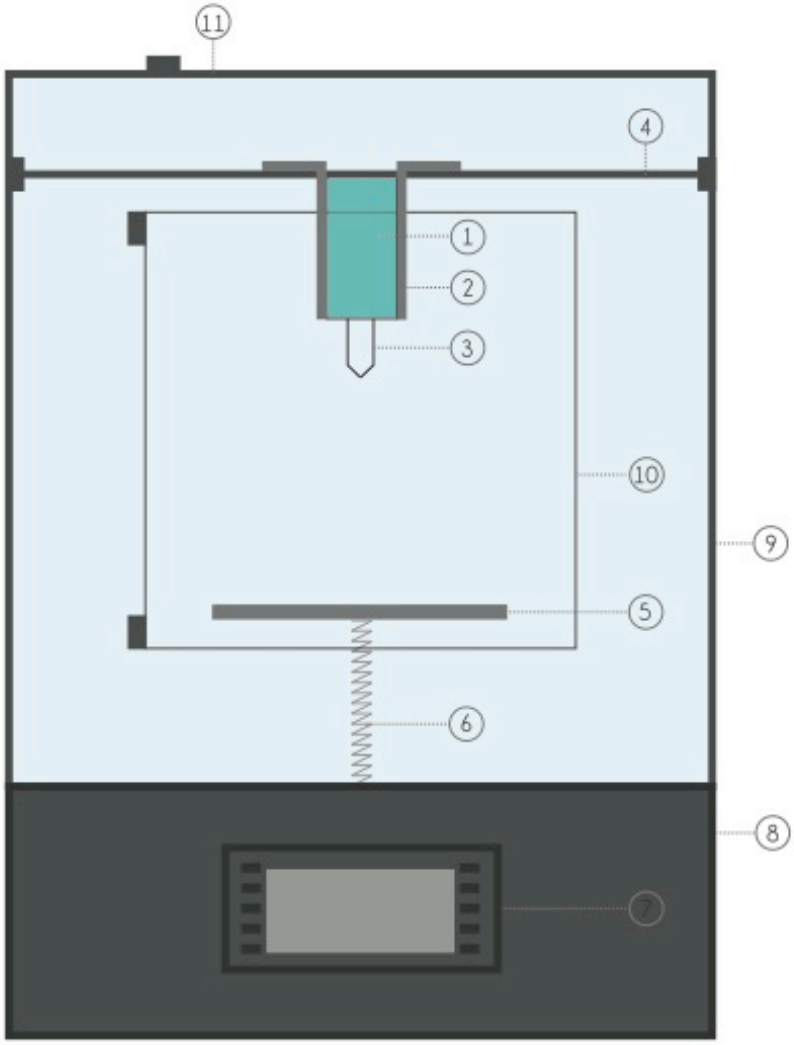
Resolveu-se então exemplificar por desenho modular uma futura impressora (fig. 5.43), a boca extrusora e o reservatório através do desenho dos vários componentes por módulos.

5.42



5.42
Impressora tridimensional de extrusão cerâmica
[RF 5.62]

5.43



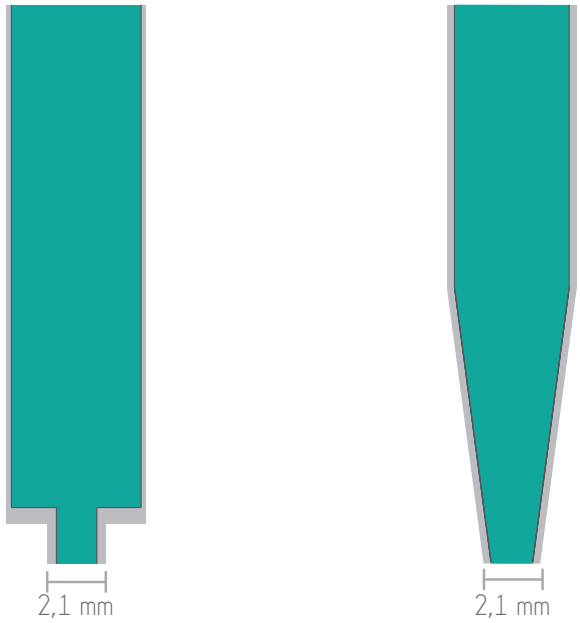
5.43
Arquitetura possível de uma futura impressora tridimensional de extrusão filamentar de pasta de açúcar.

1- Depósito de pasta de açúcar
2- Sistema de aquecimento
3- Extrusora de pasta de açúcar
4- Suportes do reservatoório
5- Mesa de Impressão
6- Elevador
7- Display
8- Componente eletrónica
9- Cobertura da impressora
10- Abertura frontal
11- Abertura no topo

Extrusora de pasta de açúcar

Como verificado anteriormente, existem dois tipos de extrusoras destinadas à impressão alimentar, cujas bocas são diferentes: uma onde a boca de saída é cilíndrica (fig. 5.44) e outra com uma boca de saída cónica (fig. 5.45).

5.44 | 5.45



5.44
Desenho de uma extrusora com a boca de saída de material cilíndrica

5.45
Esquema de desenho de uma extrusora com a boca de saída cónica

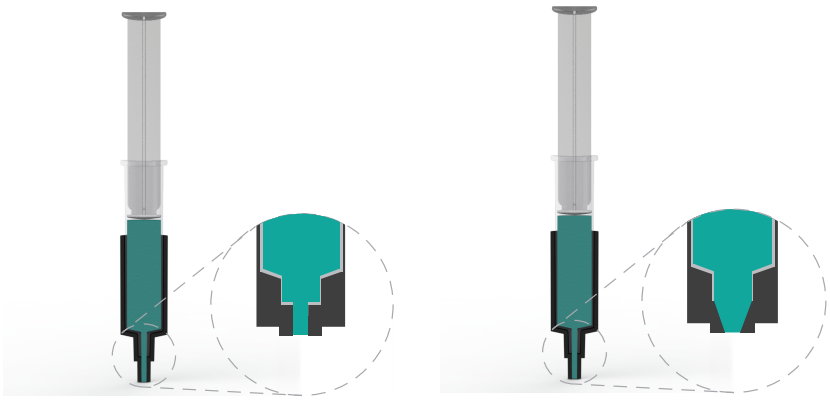
Como foi validado o comportamento do material e também uma extrusora de espessura de 2,1mm com boca de saída cilíndrica, propõe-se, então, o estudo de uma boca extrusora com menor diâmetro de saída de material, para futuramente se poder implementar numa impressora tridimensional.

Posto isto, é necessário desenhar duas bocas extrusoras distintas, uma com a boca de saída em forma cónica e outra em forma cilíndrica, ambas com o mesmo diâmetro de extrusão.

Como ainda se está numa fase experimental, propõe-se a criação de dois bocais impressos tridimensionalmente para adaptar a uma seringa semelhante à utilizada na componente prática desta dissertação (fig. 5.46; fig. 5.47).

Estes bocais seriam encaixados na seringa de modo a testar qual apresentaria o melhor comportamento em relação à saída de material.

5.46 | 5.47



5.46
Esquema de desenho da peça de encaixe na seringa para saída de material de uma boca cilíndrica com diâmetro menor que 2,1mm

5.47
Esquema de desenho da peça de encaixe na seringa para saída de material de uma boca cónica com diâmetro menor que 2,1mm

Depois de determinar, através da comparação de resultados, qual o bocal com a melhor saída, continuar-se-ia a execução de testes de modo a validar, também, o diâmetro da boca extrusora. Os testes realizados apenas necessitariam de ser executados ao nível formal com o único propósito de verificar o comportamento de extrusão do material, uma vez que as propriedades da pasta de açúcar já foram testadas anteriormente.

Para a implementação de uma boca extrusora, primeiro é necessário fazer testes experimentais para verificar qual a melhor geometria que esta deve ter, quer para a saída de material, quer para o diâmetro mínimo aconselhável para o material sair sem comprometer a impressão.

Recorre-se à impressão tridimensional de modo a ter disponíveis os modelos comestíveis idealizadas mais rapidamente e, uma vez que se trata de uma fase experimental, permitir a total viabilidade no futuro desenvolvimento de uma nova cabeça extrusora

6

Conclusão

Com o presente trabalho procurou-se demonstrar que a utilização das tecnologias de fabrico aditivo, na área alimentar, é hoje uma realidade, possibilitando o uso de diversos tipos de alimentos e que as investigações em curso perspetivam interessantes inovações.

Há fases intermédias do processo que necessitam, ainda, de melhorias, como no caso da transformação de alimentos prontos a imprimir e ainda a quantidade de informação recolhida de modo a aumentarmos o número de alimentos compatíveis com tecnologias de fabrico aditivo.

A aplicação de tecnologias de fabrico aditivo tem vivido bastantes alterações; o que dantes era utilizado para a prototipagem rápida de testes formais, hoje apoia o desenvolvimento de novos produtos funcionais prontos para o consumo e cada vez mais ligados ao utilizador, às suas necessidades, preferências e à facilidade de personalizar os produtos.

O acesso à impressão tridimensional transformou-se numa autêntica revolução devido ao processo de fabrico, facilidade de utilização e ao baixo custo destas impressoras.

A introdução de novos processos e materiais permitiu inovações na impressão tridimensional, trazendo inúmeras vantagens para o design industrial, dando mais eficácia na resposta às necessidades particulares do utilizador, pensando sempre no seu bem estar e numa melhoria da qualidade de vida.

No tocante aos materiais, assistimos, quase diariamente, à introdução de aperfeiçoamentos. Os biomateriais respondem cada vez mais de forma eficaz aos problemas apresentados, assim como a criação dos materiais inteligentes impressos. A comunidade científica continua na procura de soluções relativamente a materiais e, simultaneamente, torná-los apropriados à utilização das tecnologias aditivas, principalmente a impressão tridimensional,

que podem dar uma resposta pronta num curto espaço de tempo, conforme as necessidades dos utilizadores.

A dissertação apresentada teve por objetivo um estudo exploratório sobre a pasta de açúcar aplicada à impressão tridimensional filamentar.

Julga-se que o objetivo foi conseguido com o estudo das condições analisadas e, ligado ao caso prático abordado, foi possível avaliar a viabilidade desta aplicação como alternativa aos processos comuns pelos resultados obtidos, quer a nível estético quer a nível de tempo de produção.

Conclui-se que há a possibilidade de desenvolver uma boca extrusora única para a utilização de pasta de açúcar de modo a controlar a temperatura, espessura e a forma do objeto. A aplicação deste processo oferece eficácia e rapidez e ainda pode ser possível criar uma impressora baseada em projetos open source, apenas com uma única finalidade de impressão de pasta de açúcar.

A utilização de materiais alternativos, como o silicone, para a formação de moldes mostrou-se útil, permitindo a impressão de um molde onde se pode vazar um material comestível como o chocolate ou massas de bolachas ou de bolos.

Considerando os aspetos positivos quanto à facilidade de obtenção de modelos, são exemplos a boa qualidade, em geral, dos produtos obtidos e dos tempos gastos no fabrico. Pode afirmar-se que a utilização das tecnologias de fabrico aditivo, nomeadamente a impressão tridimensional na área alimentar, demonstrou, não só a sua validade mas também a sua eficiência, atingindo-se assim os objetivos propostos para este trabalho.

A forma de apresentação de qualquer aparelho novo e o esclarecimento dado aos potenciais compradores vão, com certeza, proporcionar maior ou menor recetibilidade e debruçar-se-ão com mais ou menos curiosidade sobre as suas funções e atributos.

No presente momento, onde as tecnologias imperam é importantíssimo estar atento às chamadas e exigências do consumidor, no sentido de preparar o

mercado para uma boa aceitação dos produtos inovadores, mas sempre com a exigência de oferecer mais qualidade de vida e satisfação.

No mundo da impressão tridimensional, os papéis tornaram-se indefinidos, a noção de quem é ou não designer, o criador, o produtor passa a ser a questão, uma vez que qualquer pessoa pode desenhar um produto e imprimi-lo (Simpson et al., 2013). Assim, noções como usabilidade, desenho centrado no utilizador e necessidades do mercado ficam perdidas, daí ser imprescindível aquando da criação de bens de consumo se recorrer a uma pessoa especializada no desenvolvimento do produto, papel que cabe por norma ao designer.

Até aos dias de hoje, o designer, por norma, ao criar um novo produto tinha em conta, essencialmente, os processos e custos de produção. Contudo, o aparecimento das impressoras 3D e uma educação académica cada vez mais focada nestas tecnologias, podem constituir um ponto de motivação para a criação de novos artefactos, cada vez mais focados no utilizador e nas suas necessidades.

7

Propostas Futuras

Aos nossos antepassados devemos a criação de ferramentas e maquinaria, visando facilitar as tarefas diárias desde as mais simples até às mais complexas. Nessa linha de atuação, continua-se à procura de meios capazes de trazer benefícios ao nosso quotidiano. Assim, assinalou-se um exemplo que se concretiza no fabrico aditivo e representa um novo instrumento que será dificilmente ultrapassado podendo até mudar os hábitos de uma sociedade, de uma forma inesperada e impensável.

Durante a realização dos testes práticos, verificou-se que o açúcar a uma temperatura acima de 90°C cristaliza, atingindo o ponto de caramelo e, ao atingir essa fase, a pasta torna-se sólida e o manuseamento difícil.

Terminado o tempo de proteção da patente do processo de fabrico aditivo de SLS em 2014, poderá ser possível adaptar-se o princípio desta tecnologia à pasta de açúcar.

Em vez de utilizar a pasta de açúcar em pó, esta estaria a uma temperatura entre os 50°C e os 60°C onde, numa câmara de construção pré-aquecida, seria laminada uma camada de açúcar correspondente à espessura de cada camada de construção. Utiliza-se, então, um sistema eletromecânico de precisão onde um feixe laser incide na área a solidificar, provocando a fusão da pasta de açúcar. Após a sinterização da primeira camada, o processo é repetido sucessivamente até à finalização do modelo. Uma vez terminado o modelo, e retirado da plataforma de construção, a pasta não sinterizada é removida facilmente, graças à sua maleabilidade e ainda poder ser posteriormente reutilizada.

Propõe-se a continuação dos estudos desta dissertação, o desenvolvimento de duas impressoras distintas de impressão de açúcar, sendo uma semiprofissional tendo como principio de funcionamento a deposição filamentar e outra profissional baseada no processo de sinterização seletiva a

laser, criando uma gama de impressoras capazes de entrar no mercado e revolucionar ainda mais o fabrico aditivo aplicado à área alimentar.

Outro trabalho a ser desenvolvido no futuro, poderá ser a criação de uma plataforma para modelos dedicados apenas à impressão tridimensional alimentar. As plataformas existentes, já referidas nesta dissertação, foram desenvolvidas para bens de consumo, não sendo, na maioria das vezes, propícias à impressão alimentar. Atualmente, não existe nenhuma aplicação desenvolvida com o intuito de apenas criar e armazenar formas exclusivas à impressão alimentar.

Referências Bibliográficas

Antas, Ana Filipa Felgueiras. (2007). Utilização das Tecnologias de Prototipagem Rápida na Área Médica. Dissertação para obtenção do grau mestre em design Industrial; Universidade do Porto.

ASTM Standard, A. S. T. M. F2792. 2012. Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies. ASTM F2792-10e1.

Baechler, C., DeVuono, M., & Pearce, J. M. (2013). Distributed recycling of waste polymer into RepRap feedstock. Rapid Prototyping Journal, 19(2), 118-125.

Beaman, J. J., Barlow, J. W., Bourell, D. L., Crawford, R. H., Marcus, H. L., & McAlea, K. P. (1997). Solid freeform fabrication: a new direction in manufacturing. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, 2061, 25-49.

Blanther, J. E. (1892). U.S. Patent No. 473,901. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Bourzac, Katherine. (2014, Setembro). A Super-Strong and Lightweight New Material in http://www.technologyreview.com/news/530611/a-super-strong-and-lightweight-new-material/ acedido a 11 de setembro de 2014

Boyard, N., Rivette, M., Christmann, O., & Richir, S.. (2013); A design methodology for parts using Additive Manufacturing. In High Value Manufacturing: Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping: Proceedings of the 6th International Conference on Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping; Leiria; Portugal, 1-5 October, 2013 (p. 399). CRC Press.

Bradshaw, S., Bowyer, A., & Haufe, P. (2010). The intellectual property implications of low-cost 3D printing. *ScriptEd*, *7*(1), 5-31.

Causer, C. (2009). They've got a golden ticket. Potentials, IEEE, 28(4), 42-44.

Ciraud, P. A. (1972). Process and Device for the Manufacture of any Objects Desired from any Meltable Material. FRG Disclosure Publication, 2263777.

Coelho, M. & Zoran, A.. (2011). Cornucopia: the concept of digital gastronomy. Leonardo, 44(5), 425-431.

Crump, S. S. (1992). *U.S. Patent No. 5,121,329*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

DiMatteo, P. L. (1976). U.S. Patent No. 3,932,923. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2010). Additive manufacturing technologies (pp. 1-8). New York: Springer.

Golding, M., Archer, R., Gupta, G., Wegrzyn, T., Kim, S., Millen, C.. (2011). Design and development of a 3-D food printer. In Presented at the NZIFST 2011 conference, Rotorua, New Zealand.

Gray, N. (2010). Looking to the future: Creating novel foods using 3D printing. *Food Navigator. Science-Nutrition*.

International Council of Societies of Industrial Design, I.S.C.I.D.. (1962). Congress Towards an Aesthetic of the Invisible Design of Tradition, Italy

Handschel, J. (2009). Fundamentals of tissue engineering and regenerative medicine (pp. 211-212). H. P. Wiesmann, & T. Meyer (Eds.). Heidelberg: Springer.

Killi, S., & Morrison, A. (2013, September). Models for product design and development in Additive Manufacturing. In High Value Manufacturing: Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping: Proceedings of the 6th International Conference on Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping, Leiria, Portugal, 1-5 October, 2013 (p. 405). CRC Press.

Kurt, L., & Colegrove, T. (2012). 3D printers in the library: toward a Fablab in the Academic Library. ACRL TechConnect Blog.

Koten, J. (2013). A Revolution in the Making. Wall Street Journal, R1-R2..

Lino, Jorge, Braga, F. J., São Simão, M., Neto, R. J., & Duarte, T. M. (2001). Protoclick Prototipagem Rápida. Protoclick.

Lino, Jorge, Vasconcelos, P.. Neto, R., & Vasconcelos, M. T. (2002). Design and Rapid Product Evolution. *rpd2002-advanced solutions and development*.

Lipson, H., & Kurman, M. (2013). Fabricated: The new world of 3D printing. John Wiley & Sons.

Lipson, H., & Kurman, M. (2010). Factory@ Home: The Emerging Economy of Personal Fabrication. One of a Series of Occasional Papers in Science and Technology Policy. *Science And Technology*, 103.

Lipton, J., Arnold, D., Nigl, F., Lopez, N., Cohen, D., Norén, N., & Lipson, H. (2010). Multi-material food printing with complex internal structure suitable for conventional post-processing. In *Solid Freeform Fabrication Symposium*.

Massis, B. E. (2013). 3D printing and the library. New Library World, 114(7/8), 351-354.

Matsubara, K. (1976). Molding method of casting using photocurable substance. Japanese Kokai Patent Application, Sho, 51(10813), 1974.

McIntosh, R. I., Matthews, J., Mullineux, G., & Medland, A. J. (2010). Late customisation: issues of mass customisation in the food industry. International Journal of Production Research, 48(6), 1557-1574.

Moeskopf, E., & Feenstra, F. (2008). Introduction to rapid prototyping. In Reverse Engineering (pp. 99-117). Springer London.

Simpson, T. W., & Petrick, I. J., (2013). 3D Printing Disrupts Manufacturing. Research-Technology Management, 1.

Postek, M. T., & Allgair, J. A. (2009, August). Instrumentation, Metrology, and Standards for Nanomanufacturing III. In Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series (Vol. 7405).

Ringeisen, B. R., Othon, C. M., Barron, J. A., Wu, P. K., & Spargo, B. J. (2009). The evolution of cell printing. In Fundamentals of tissue engineering and regenerative medicine (pp. 613-631). Springer Berlin Heidelberg.

Soares, S., Kupfer, P., Nicholls, B., Spears, K., Walters, P., & Southerland, D.. (2011). Insects Au Gratin retirado de http://www.susanasoares.com/index.php?id1/482

Southerland, D., Walters, P., & Huson, D. (2011, January). Edible 3D printing. In NIP & Digital Fabrication Conference (Vol. 2011, No. 2, pp. 819-822). Society for Imaging Science and Technology.

Swainson, W. K. (1977). U.S. Patent No. 4,041,476. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Victor, J.. (2006). Food Sculpture; retirado de http://www.jimvictor.com/AssetsFood/foodsculpture.html

Volpato, Neri. (2007). Prototipagem Rápida, tecnologias e aplicações. Editora Blucher

Wohlers, T. T.; 2005; Wohlers Report 2005: Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry: Annual Worldwide Progress Report.

Wohlers, T. T.; 2013; Wohlers Report 2013: Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry: Annual Worldwide Progress Report.

Liu, X., & Zhou, X. (2010). The impact on industrial design by the development of three-dimensional printing technology from a technical perspective. In 2010 IEEE 11th International Conference on Computer-Aided Industrial Design&Conceptual Design 1 (Vol. 1, pp. 782-784).

Bibliografia

ASTM International. (2012). Standard terminology for additive manufacturing technologies. In ASTM F2792-10e1 standard. Vol ASTM F2792-10e1 Standard. ASTM International

Berman, B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. Business horizons, 55(2), 155-162.

Betoret, E., Betoret, N., Vidal, D., & Fito, P. (2011). Functional foods development: Trends and technologies. Trends in Food Science & Technology, 22(9), 498-508.

Bogart, M. (1979). In art the ends don't always justify means. Smithsonian, 104-110.

Campbell, T. A., & Ivanova, O. S. (2013). 3D printing of multifunctional nanocomposites. Nano Today, 8(2), 119-120.

Doherty, D. (2012). Downloading infringement: Patent law as a roadblock to the 3D printing revolution. Harv. J. Law & Tec, 26, 353-695.

Gebhardt, A. (2004). Rapid prototyping. polimeri, 25, 4.

German, J. B., Zivkovic, A. M., Dallas, D. C., & Smilowitz, J. T. (2011). Nutrigenomics and personalized diets: what will they mean for food?. Annual review of food science and technology, 2, 97-123.

Grenda, E. (2006). Printing the future: The 3D printing and rapid prototyping source book. Castle Island.

Hao, L., Mellor, S., Seaman, O., Henderson, J., Sewell, N., & Sloan, M. (2010). Material characterisation and process development for chocolate additive layer manufacturing. Virtual and Physical Prototyping, 5(2), 57-64.

Kruth, J. P. (1991). Material incress manufacturing by rapid prototyping techniques. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 40(2), 603-614.

Magrab, E. B., Gupta, S. K., McCluskey, F. P., & Sandborn, P. (2009). Integrated product and process design and development: the product realization process. CRC Press.

Make. (winter 2013). Ultimate guide to 3D printing; O'Reilly. in makezine.com

Malone, E., & Lipson, H. (2007, October). The Factory in your Kitchen. In Proceedings of the MCPC 2007 World Conference on Mass Customization & Personalization (pp. 7-10).

Malone, E., & Lipson, H. (2007). Fab@ Home: the personal desktop fabricator kit. Rapid Prototyping Journal, 13(4), 245-255.

Munz O. (1956). U.S. Patent No. 2,775,758. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Photofrost. (2007). PhotoFrost Manufactuing: Photo on Cake Icing Sheets, Edible Ink Cartridges, Frosting Sheets; retirado de http://www.photofrost.com/

Schaal, N., Schaal, Periard, D., M., Malone, E., & Lipson, H. (2007, August). Printing Food. In Proceedings of the 18th Solid Freeform Fabrication Symposium, Austin TX (pp. 564-574).

Ubbink, J., Burbidge, A., & Mezzenga, R. (2008). Food structure and functionality: a soft matter perspective. Soft Matter, 4(8), 1569-1581.

Webgrafia

[RS1]
http://richrap.blogspot.pt/2012/04/universal-paste-extruder-ceramic-food.html
[RS2]
http://reprap.org/wiki/Ceramic_Extrusion
[RS3]
http://unfoldfab.blogspot.pt/2012/04/road-to-better-paste-extrusion-episode.html.

http://3dprintingindustry.com/2014/01/27/stratasys-big-announcement-multi-colour-multi-material-3d-printing-new-objet500-connex3/
http://3dprintingindustry.com/2014/09/02/tungsten-checks-smit-ro%CC%88ntgen-unveils-3d-tungsten-printing-technology/
http://assaashuach.com/
http://chocedge.com/new-site/shop/index.php?id_product=11&controller=product
http://en.wikipedia.org/wiki/STL_(file_format)
http://fluid.media.mit.edu/projects/smarter-objects
http://impressora3d.pt/filamentos-abs-vs-pla-qual-o-melhor/
http://kuehlingkuehling.de/
http://makezine.com/2013/12/09/advanced-materials-for-3d-printing/
http://nol.hu/tud-tech/nem-tudom-hol-a-hatar-1471177
http://reprap.org/wiki/Ceramic_Extrusion
http://unfold.be/pages/projects/items/3d-printer
http://unfoldfab.blogspot.pt/
http://vimeo.com/10839752
http://www.3dsystems.com/
http://www.acronymfinder.com/LOM.html
http://www.astm.org/
http://www.designboom.com/technology/3d-ceramic-printer/
http://www.dirkvanderkooij.nl/
http://www.edenceramics.co.uk/
http://www.emergingobjects.com/
http://www.fabtotum.com/community
http://www.jrgreer.caltech.edu/content/home/Highlevel_Nanotrusses_2014_forsharing.pdf
http://www.machines-3d.com/en/3d-printers-chocedge-xsl-351_363.html
http://www.mgxbymaterialise.com/
http://www.naturalmachines.com/
http://www.stratasys.com/
http://www.susanasoares.com/index.php?id=82
http://www.technologyreview.com/news/530611/a-super-strong-and-lightweight-new-material/

http://www.technologyreview.com/news/530611/a-super-strong-and-lightweight-new-material/
http://www.thingiverse.com/thing:3604/#instructions
http://www.treehugger.com/gadgets/mit-media-lab-transforms-everyday-objects-augmented-reality.html
http://www.tridaxis.com/
http://www.turbosquid.com/Search/Index.cfm?keyword=printing
http://www.unfold.be/pages/projects/items/stratigraphic-porcelain
http://www.z33.be/

Referências de Figuras

[RF 2.1]
http://nol.hu/data/cikk/1/47/11/77/cikk_1471177/214-000_61C6E49C1E41C917509E4AA5FE2529479992F844-nol.jpg
[RF 2.2]
Gebhardt, A.; 2004; Rapid prototyping. Polimeri, v25, n4
[RF 2.3]
http://www.wtec.org/loyola/rp/fh03_01.gif
[RF 2.4]
http://www.wtec.org/loyola/rp/fh03_02.gif
[RF 2.5]
http://www.wtec.org/loyola/rp/fh03_09.gif
[RF 2.6]
http://www.wtec.org/loyola/rp/fh03_11.gif
[RF 2.7]
http://3.bp.blogspot.com/SOjjEySiuVU/TZSxym8VMBI/AAAAAAAAAel/uHBAswqW9pc/s600/SYM20100218_003.jpg
[RF 2.8]
http://www.3dprintsondemand.com/assets/images/applications/3d_printing_applications_dental_industry.jpg
[RF 2.9]
https://tridaxis.files.wordpress.com/2012/11/modelzium1-1024x759.png
[RF 2.10]
http://i.i.cbsi.com/cnwk.1d/i/tim/2013/01/15/Filabot.jpg
[RF 2.11]
http://3.bp.blogspot.com/SOjjEySiuVU/TZSxym8VMBI/AAAAAAAAAel/uHBAswqW9pc/s1600/SYM20100218_003.jpg
[RF 2.12]
http://cuwhist.files.wordpress.com/2012/04/fordofbritainmerlinengines_1500.jpg
[RF2.13]
https://m1.behance.net/rendition/modules/3986981/disp/f5815cd9706abc6fdc5800f65ae745a4.jpg
[RF 2.14]
http://new.uniquejapan.com/wp-content/uploads/2010/03/Tofu.jpg
[RF 2.15]
http://www.meblepiatka.pl/wp-content/uploads/2012/04/Vasco.jpg
[RF 2.16]
http://www.fho-emden.de/~thoebel/rp/teile02.jpg
[RF 2.17]
http://www.fubiz.net/wp-content/uploads/2009/04/585281227524858jpg.jpeg
[RF 2.18]
http://www.pcr-online.biz/_media/images/cube_printed_objects_-_lead_image.jpg
[RF 2.19]
http://api.ning.com/files/6pwtbJg7vj*LlNiFtDpwC4lEHTA8QvTxA20XB5TDlQkwCLqTQvDYnt6NHxAa7s0P4lOMlEg0vUVKRh2mgDgrx89J29wNOn2/Imp3D.JPG
[RF 2.20]
imagem cedida gentilmente cedida por Lígia Lopes
[RF 2.21]
http://4.bp.blogspot.com/_FpGzzNYFSI/TH_65vjo6TI/AAAAAAAASRU/ITRETLyPKVA/s1600/maonabilha%5B12.JPG

[RF 2.22]
http://fr.flossmanuals.net/reprap/_booki/reprap/static/1_ch2_darwin.jpg
[RF 2.23]
http://designs-house.com/wp-content/uploads/2014/06/kitchen-utensils-wooden-kitchen-utensils-beechwood-kitchen-utensils-noplastic-agrbaeqi.jpg
[RF 2.24]
grabcad.com
[RF 2.25]
http://lzeeng.files.wordpress.com/2011/04/img_5055.jpg
[RF 2.26]
http://www.andysowards.com/blog/assets/citrus-juicer-3d-printing-tech-680x510.jpg?b91b38
[RF 2.27]
http://makezineblog.files.wordpress.com/2013/12/squirrels.jpg?w=620&h=256

[RF 3.1]
http://www9.pcmag.com/media/images/273404-the-first-3d-printer.jpg
[RF 3.2]
http://3dprint.com/wp-content/uploads/2014/05/jobs-3.jpg
[RF 3.3]
http://www1.pcmag.com/media/images/273402-shapeways-gift-items.jpg
[RF 3.4]
http://i.huffpost.com/gen/1311029/thumbs/o-3D-SHOE-facebook.jpg
[RF 3.5]
http://i.ytimg.com/vi/VxNzo3ckVOo/maxresdefault.jpg
[RF 3.6]
http://patentimages.storage.googleapis.com/US6799959B1/US06799959-20041005-D00005.png
[RF 3.7]
http://blog.sciencemuseum.org.uk/insight/files/2013/10/3D-printer.jpg
[RF 3.8]
https://patentimages.storage.googleapis.com/US20020111707A1/US20020111707A1-20020815-D00002.png
[RF 3.9]
http://4.bp.blogspot.com/-XBnYdFcGrrc/UtpsPypsWOI/AAAAAAAAAG4/PLpak82y4mU/s1600/DSC_0050.JPG
[RF 3.10]
http://exploreideasdaily.files.wordpress.com/2013/04/seamonvase.png
[RF 3.11]
http://www.juliusdeboer.nl/wp-content/uploads/20140211_002400.jp
[RF 3.12]
http://zachfine.com/blog/wp-content/uploads/2013/03/P5A3771.jpg
[RF 3.13]
https://i.ytimg.com/vi/ULW_YeQUzpE/maxresdefault.jpg
[RF 3.14]
http://disruptiveinnovation.se/wp-content/uploads/Picture22.jpg
[RF 3.15]
http://i.ytimg.com/vi/pwPhe2azpCo/maxresdefault.jpg
[RF 3.16]
http://www.realwire.com/writeitfiles/PC_SR-100_Hands.jpg
[RF 3.17]
http://culture.you-ng.it/wp-content/uploads/sites/3/2014/05/lego.jpg
[RF 3.18]
http://www.3dhubs.com/sites/default/files/4303_0929_0.jpg
[RF 3.19]
http://www.stratasys.com/materials/polyjet/~/media/Image%20Gallery/3d_print_surgical_guide.jpg

[RF 3.20]
http://www.asiapacific.basf.com/apex/AP/en/function/conversions:/publish/upload/Press2011/High_res/Design_Award_Japan/extrusion_1.jpg
[RF 3.21]
http://1.bp.blogspot.com/NDHhvSQ6qE0/UPR6GUfjxI/AAAAAAAAAnE/bSKnVVL8QRk/s1600/filament_colors_flashgamer.jpg
[RF 3.22]
http://4.bp.blogspot.com/ruuEqpix4yQ/T80BYMFhlml/AAAAAAAAAQk/H7leyshDfSQ/s1600/GalleryRowFront.jpg
[RF 3.23]
http://static.dezeen.com/uploads/2008/08/1-water-reconnect.jpg
[RF 3.24]
Cortesia de Kristof Vrancken /Z33 art center
[RF 3.25]
http://designplaygrounds.com/wp-content/uploads/2011/06/Interactive-Pottery-inside01.jpg
[RF 3.26]
http://www.unfold.be/system/uploads/549/full/GalleryRow1.jpg?1335532907
[RF 3.27]
http://www.domusweb.it/content/dam/domusweb/en/design/2013/03/20/thebelgianaffair/ big_408291_8084_03_LArtisanElectronique21.jpg
[RF 3.28]
http://1.bp.blogspot.com/oQ9oPFCmuC8/T8z4gjBhlYI/AAAAAAAAANo/uU7Uj2VatbY/s1600/UNFOLD_VK_1705+(1).jpg
[RF 3.29]
http://vandalondondesignfestival.files.wordpress.com/2011/09/one_shotmgx_patrickjouin.jpg
[RF 3.30]
http://bungalow5.files.wordpress.com/2010/09/img_2369.jpg
[RF 3.31]
http://bungalow5.files.wordpress.com/2010/09/damned-2.jpg
[RF 3.32]
http://www.toeller.be/fileadmin/Uploads/Projekte/PRIVAT/LICHT/MGX_lilly_floor.jpg
[RF 3.33]
http://assaashuach.com/wp-content/uploads/2013/06/Assa_Ashuach_BonBon_light.jpg
[RF 3.34]
http://assaashuach.com/wpcontent/uploads/2013/04/OMl.mgx_Assa_P5270233Invert.jpg
[RF 3.35]
http://assaashuach.com/wpcontent/uploads/2013/06/Assa_DesMuseum_Tank05_PA130471-e1372178176799.jpg
[RF 3.36]
http://assaashuach.com/wp-content/uploads/2013/04/Osteaon-Chair-19.jpg
[RF 3.37]
http://assaashuach.com/wp-content/uploads/2013/04/Assa_Ai_light_11.jpg
[RF 3.38]
http://www.edenceramics.co.uk/images/prtInd.jpg
[RF 3.39]
http://www.edenceramics.co.uk/images/Wedgwoodn't.jpg
[RF 3.40]
http://www.edenceramics.co.uk/images/maelstrom-Vl.jpg
[RF 3.41]
http://www.edenceramics.co.uk/images/A-Rebours.jpg

[RF 3.42]
http://www.edenceramics.co.uk/images/vinculum-II.jpg
[RF 3.43]
http://www.edenceramics.co.uk/images/mnemosyne.jpg
[RF 3.44]
http://www.emergingobjects.com/wp-content/uploads/2013/09/saltroom01.jpg
[RF 3.45]
http://www.emergingobjects.com/wp-content/uploads/2013/09/saltygloo5.jpg
[RF 3.46]
http://www.emergingobjects.com/wp-content/uploads/2012/01/cement_polymer.jpg
[RF 3.47]
http://www.emergingobjects.com/wp-content/uploads/2012/08/DSC_02491.jpg
[RF 3.48]
http://www.emergingobjects.com/wpcontent/uploads/2014/01/Chocolate_TitleImage_OW.jpg
[RF 3.40]
http://www.emergingobjects.com/wp-content/uploads/2012/08/paper.jpg
[RF 3.50]
http://3dprint.com/wp-content/uploads/2014/07/kooij-soap.jpg
[RF 3.51]
http://www.dirkvanderkooij.nl/sites/default/files/styles/productdisplay_zoom/public/soap_cabinet_detail_w_0.jpg?itok=WLCb08UA
[RF 3.52]
http://www.designindaba.com/sites/default/files/node/news/17679/img1927.jpg
[RF 3.53]
http://ad009cdnb.archdaily.net/wpcontent/uploads/2013/02/51276565b3fc4b55e4000068_moma-applied-design_endlessflowchair-805x1000.jpg
[RF 3.54]
http://www.interiorpark.com/media/catalog/product/cache/2/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/i/m/img_4524.jpg
[RF 3.55]
http://www.interiorpark.com/media/catalog/product/cache/2/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/r/o/rocking-4_1.jpg
[RF 3.56]
http://www.interiorpark.com/media/catalog/product/cache/2/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/i/m/img_1222_andere_.jpg
[RF 3.57]
http://www.dentalproductsreport.com/sites/www.dentalproductsreport.com/files/images/invis.jpg
[RF 3.58]
http://designblendz.com/images/stories/08-12/PL5.jpg
[RF 3.59]
http://cdni.wired.co.uk/1920x1280/a_c/1.12791_NM.jpg
[RF 3.60]
http://continuumfashion.com/N12/N12-bikini-set-top.jpg
[RF 3.61]
http://www.centimfe.com/images/fLopes.png
[RF 3.62]
http://www.pingmagazine.tv/wp-content/uploads/2013/05/Dita-Von-Teese_Ping.png
[RF 3.63]
http://forwardpr.com/wp-content/gallery/catherine-wales/catherine_wales_04.jpg
[RF 3.64]
http://www.technologyreview.com/sites/default/files/images/superstrong.materialx299.jpg
[RF 3.65]
http://3dprintingindustry.com/wp-content/uploads/2014/01/3D-Printed-Full-Color-Helmet-Shoes-Connex3-Machine-Stratasys.jpg

[RF 3.66]
http://3dprintingindustry.com/wp-content/uploads/2014/01/3D-Printed-Full-Color-Helmet-Shoes-Connex3-Machine-Stratasys.jpg
[RF 3.67]
http://3dprintingindustry.com/wp-content/uploads/2014/01/Rubber-Like-Tango-Palette-Full-Color-3D-Printing-Objet500-Connex3-Color-Multi-material-3D-Printer-Stratasys.jpg
[RF 3.68]
http://3dprintingindustry.com/wp-content/uploads/2014/01/Rubber-Like-Tango-Palette-Full-Color-3D-Printing-Objet500-Connex3-Color-Multi-material-3D-Printer-Stratasys.jpg
[RF 3.69]
http://www.plastix-world.com/files/2014/05/Stratasys_MIT_Cubefolding_Combined.jpg
[RF 3.70]
http://makezineblog.files.wordpress.com/2013/11/sip06-3d-print-yourself-6958.jpg
[RF 3.71]
http://sftimes.s3.amazonaws.com/0/5/2/0/05202cff17795e205d0ef60c59fca111.jpg
[RF 3.72]
http://itthing.com/wp-content/uploads/3dcorn.png
[RF 3.73]
Cortesia de Ricardo Peixoto
[RF 3.74]
Cortesia de Ricardo Peixoto
[RF 3.75]
Cortesia de Ricardo Greenfield
[RF 3.76]
Cortesia de Ricardo Greenfield
[RF 3.77]
http://www.mktesportivo.com/novo/wp-content/uploads/2014/02/resultado-final_Helton.jpg
[RF 3.78]
http://www.mktesportivo.com/novo/wp-content/uploads/2014/02/helton-porto.jpg
[RF 3.79]
http://hello3dprintingworld.pt/wp/wp-content/uploads/2014/05/hello-printer1.jpg
[RF 3.80]
http://p3.publico.pt/sites/default/files/4_2013/imagemprincipal.jpg
[RF 3.81]
http://weproductise.com/images/pipecospot/pip_cafe.jpg

[RF 4.1]
http://www.inspiredbythis.com/wp-content/uploads/2010/02/April-Reed-3.jpg
[RF 4.2]
http://media.npr.org/assets/img/2013/01/10/butter_wide121a73bef9d27bb534266c0a32e361e90ca73906.jpg
[RF 4.3]
http://i.ytimg.com/vi/x6WzyUgbT5A/maxresdefault.jpg
[RF 4.4]
https://will.illinois.edu/?ACT=29&f=nm-quiche-spinach-dinosaur-plate-b55f9488f0a71e29e7b6bc79900c66942462025a-s40-c85.jpg&fid=8&d=27057&
[RF 4.5]
http://content.animalnewyork.com/wp-content/uploads/sugar_printing.jpg
[RF 4.6]
http://media.salon.com/2010/02/is_this_machine_the_future_of_food-1280x960.jpg
[RF 4.7]
http://4.bp.blogspot.com/T6TrHw_ujJo/T8z7osKWP1I/AAAAAAAAAPc/cNAsWKQwHAk/s680/DSC_1023.JPG
[RF 4.8]
Printing Food. Proceedings of the 18th ;Solid Freeform Fabrication Symposium, Austin.

[RF 4.9]
Printing Food. Proceedings of the 18th ;Solid Freeform Fabrication Symposium, Austin.
[RF 4.10]
Printing Food. Proceedings of the 18th;Solid Freeform Fabrication Symposium, Austin.
[RF 4.11]
http://blogs.solidworks.com/solidworksblog/wpcontent/uploads/sites/2/2014/07/skull_cubes-7-600x324.jpg
[RF 4.12]
Printing Food. Proceedings of the 18th;Solid Freeform Fabrication Symposium, Austin.
[RF 4.13]
http://photo.sf.co.ua/g/125/6.jpg
[RF 4.14]
http://media.npr.org/assets/img/2014/01/13/3d_printed_sugar_lab_diamonds_wide-704c8e414233911e3bc5521e50e053ed9bbaac93.jpg
[RF 4.15]
http://www.digitaltrends.com/wp-content/uploads/2014/01/chefJet.jpg
[RF 4.16]
http://img1.mydrivers.com/img/20140112/332c8f7aeb1e4ed8ae1d352e4c8b73c2.jpg
[RF 4.17]
http://cdn1.3dsystems.v252n.o8.io/cdn/farfuture/JKtxQTBMcuJrrZE2zggXh4CrnZLnRg9Yw0PDqCxOAkQ/mtime:1395781628/sites/www.3dsystems.com/files/styles/ddd_printer-gallery_xxl/public/chefjet-blue-china-caketopper.jpg
[RF 4.18]
http://www.computerworld.com/common/images/site/features/2013/09/Sugarcubes.jpg
[RF 4.19]
http://www.naturalmachines.com/media/1/_orig/1393497935-2736.jpg
[RF 4.20]
http://www.naturalmachines.com/
[RF 4.21]
http://i.insing.com.sg/cms/1f/ce/e1/c6/20004695/foodini-3d_600x450_f2cc66abfe.jpg
[RF 4.22]
http://www.naturalmachines.com/media/1/o/1406198704-3284.jpg
[RF 4.23]
http://www.naturalmachines.com/media/1/o/1393858719-4193.jpg
[RF 4.24]
http://www.naturalmachines.com/media/1/o/1393497937-7276.jpg?t=1393511503
[RF 4.25]
http://www.naturalmachines.com/media/1/o/1393500446-2630.jpg?t=1393511527
[RF 4.26]
http://paradise.rca.ac.uk/wp-content/uploads/2012/03/AranDasalDELOWRES1.jpeg
[RF 4.1]
http://i.dailymail.co.uk/i/pix/2014/02/19/article-2563052-1BA3C17000000578-935_634x423.jpg
[RF 4.28]
http://www.apmservices.com/wp-content/uploads/2014/03/insect-au-gratin.jpg
[RF 4.29]
https://dublin.sciencegallery.com/edible/files/imagecache/exhibition-prev-440x330/insects_augratin_1.jpg
[RF 4.30]
http://e.fastcompany.net/multisite_files/codesign/imagecache/1280/article_feature/1280-3d-choc-printer-product-website-image.jpg

[RF 4.31]
http://www.machines-3d.com/images/Image/Various_-_Divers_1_1387551273.JPG
[RF 4.32]
http://itthing.com/wp-content/uploads/3dchocedge.png
[RF 4.33]
http://www.machines-3d.com/images/Image/Chocolate_Printer_Working_1_1387551339.JPG
[RF 4.34]
http://3.bp.blogspot.com/-1iZ1TzX90wg/T3McbX4qGeI/AAAAAAAABG8/Dbx0klaCFUY/s640/paste_assembled.jpg
[RF 4.35]
http://2.bp.blogspot.com/oQLcJRtERLY/T3MggVq2mGI/AAAAAAAABHM/wgqkNMczTZo/s400/All_paste_extruder_parts_printed_with_belt.jpg
[RF 4.36]
http://1.bp.blogspot.com/-lfycu5I2euY/T36pwVH0twI/AAAAAAAABOs/XjtLXdFduGU/s400/Syringe_in_extruder.jpg
[RF 4.37]
http://1.bp.blogspot.com/-xy7ZdUvejQw/T3Mt6UdgobI/AAAAAAAABJE/5Kb2Rdj2qZQ/s400/Second_print_Snow_002.jpg
[RF 4.38]
http://2.bp.blogspot.com/-NHxOcc_llo/T3MuN2FP7JI/AAAAAAAABJM/kbCx45meUdo/s400/layers_sugar_paste.jpg
[RF 4.39]
http://2.bp.blogspot.com/NHxOcc_llo/T3MuN2FP7JI/AAAAAAAABJM/kbCx45meUdo/s00/layers_sugar_paste.jpg
[RF 4.42]
http://www.naturalmachines.com/media/1/o/1393500442-9407.jpg?t=1393511526
[RF 4.43]
http://4.bp.blogspot.com/-EnRjQxhZW3c/UB2dvMtcpoI/AAAAAAAAAWk/_Wd4Wur_om0/s1600/IMG_1339.jpg
[RF 4.44]
http://www.3ders.org/images/burritob0t-3d-printer-food-mexican-food-2.jpg

[RF 5.1]
http://www.blogcdn.com/slideshows/images/slides/267/262/1/S2672621/slug/l/hss-storage-midas-150e553c53b7dff759d7c73ef1db50a4-200212288-1393497826-5402-1.jpg
[RF 5.2]
http://www.sandersonsbakery.co.uk/wp-content/uploads/2014/03/bigstock-mini-hamburgers-mini-burgers-33845711-2.jpg
[RF 5.62] http://www.designboom.com/cms/images/-Z67/cp3.jpg

[RF a1.1]
http://www.printrbottalk.com/forum/download/file.php?id=2189&mode=view
[RF a1.2]
http://makezineblog.files.wordpress.com/2012/11/sip4_roundup_torture_printrbotlc.jpg
[RF a1.3]
http://makezineblog.files.wordpress.com/2013/10/sip06_buyguide_solidoodle_pi.jpg
[RF a1.4]
http://makezineblog.files.wordpress.com/2012/11/sip4_roundup_torture_solidoodle.jpg

[RF a1.5]
http://ei8htohms.tinyparts.net/wp-content/uploads/2013/02/Jr-Back2.jpg
[RF a1.6]
http://makezineblog.files.wordpress.com/2012/11/sip4_torture_pbj_new.jpg
[RF a1.7]
http://fablab.waag.org/sites/all/files/110906_Ultimaker_photo50.jpg?1366378602
[RF a1.8]
http://makezineblog.files.wordpress.com/2012/11/sip4_roundup_torture_ultimaker.jpg
[RF a1.9]
http://makezineblog.files.wordpress.com/2013/11/sip06_buyguide_afiniah479_cropped.png
[RF a1.10]
http://makezineblog.files.wordpress.com/2012/11/sip4_roundup_torture_afinia.jpg
[RF a1.11]
http://cdn.shopify.com/s/files/1/0030/7372/files/M2.jpg?100123
[RF a1.12]
http://makezineblog.files.wordpress.com/2012/11/sip4_roundup_torture_m2.jpg
[RF a1.13]
http://www7.pcmag.com/media/images/334449-type-a-machines-series-1.jpg
[RF a1.14]
http://makezineblog.files.wordpress.com/2012/11/sip4_roundup_torture_typea.jpg
[RF a1.15]
http://makezineblog.files.wordpress.com/2013/10/sip06_buyguide_bukobot_pi.jpg
[RF a1.16]
http://makezineblog.files.wordpress.com/2012/11/sip4_roundup_torture_bukobot.jpg
[RF a1.17]
http://www4.pcmag.com/media/images/318991-3d-systems-cube-3d-printer.jpg
[RF a1.18]
http://makezineblog.files.wordpress.com/2012/11/sip4_roundup_torture_cube.jpg
[RF a1.19]
http://makezineblog.files.wordpress.com/2012/11/3d-printers_0007_mendelmaxpro.jpg
[RF a1.20]
http://makezineblog.files.wordpress.com/2012/11/sip4_roundup_torture_mendelmax.jpg
[RF a1.21]
http://makezineblog.files.wordpress.com/2013/10/sip06-felix20.jpg
[RF a1.22]
http://makezineblog.files.wordpress.com/2012/11/sip4_roundup_torture_felix.jpg
[RF a1.23]
http://makezineblog.files.wordpress.com/2012/11/3d-printers_0013_3dtouch.jpg
[RF a1.24]
http://makezineblog.files.wordpress.com/2012/11/sip4_roundup_torture_3dtouch.jpg
[RF a1.25]
http://ecx.images-amazon.com/images/I/81etrEb8Y7L._AA1500_.jpg
[RF a1.26]
http://makezineblog.files.wordpress.com/2012/11/sip4_roundup_torture_lulzbot.jpg
[RF a1.27]
http://makezineblog.files.wordpress.com/2013/10/sip06makerbotrep2_pi.jpg?w=620&h=465
[RF a1.28]
http://makezineblog.files.wordpress.com/2012/11/sip4_roundup_torture_replicator2.jpg

Anexo A

Impressoras tridimensionais de baixo custo

Impressoras 3D pessoais são uma forma de aplicação do fabrico aditivo de baixo custo. Este mercado está atualmente em pleno desenvolvimento e muito tem a oferecer aos seus interessados. Há sempre um novo modelo ou um novo software que surge de forma a melhorar os já existentes.

A qualidade de impressão e a confiança aliada às impressoras têm vindo a surgir exponencialmente nos últimos anos. Pelo que se compreende o aparecimento mais frequente impressoras no mercado (Wohlers, 2013).

Estas impressoras são ideais para empresas que estejam a entrar no mercado, quer no desenvolvimento de um produto, quer na produção. Elas prestam uma ajuda fundamental na otimização do trabalho de uma equipe de desenvolvimento de produto.

A revista Make (Winter, 2013), criou um guia das impressoras que se destacaram em 2013. Esta classificação divide-se em têS seguementos: as impressoras de entrada de gama (até 600€), as de gama média (entre os 600€ e 1500€) e as de gama alta (de 1500€ a 4000€). A elaboração desta classificação deve-se aos colaboradores da revista Make (edição de inverno de 2013), que avaliam 14 impressoras baseadas na técnica de FFF (fused filament fabrication; extrusão filamentar de plástico) que funde e extrude filamentos poliméricos na forma de objetos sólidos. O objetivo desta lista é ajudar o consumidor a tomar conhecimento das características das melhores impressoras e as que se adaptem às suas necessidades. Trata-se de uma breve descrição e no final são apontados os atributos mais específicos, confrontando-os com os das outras impressoras apresentadas segundo a gama que as integra.

A1.1

Entrada de gama (0€ - 600€)

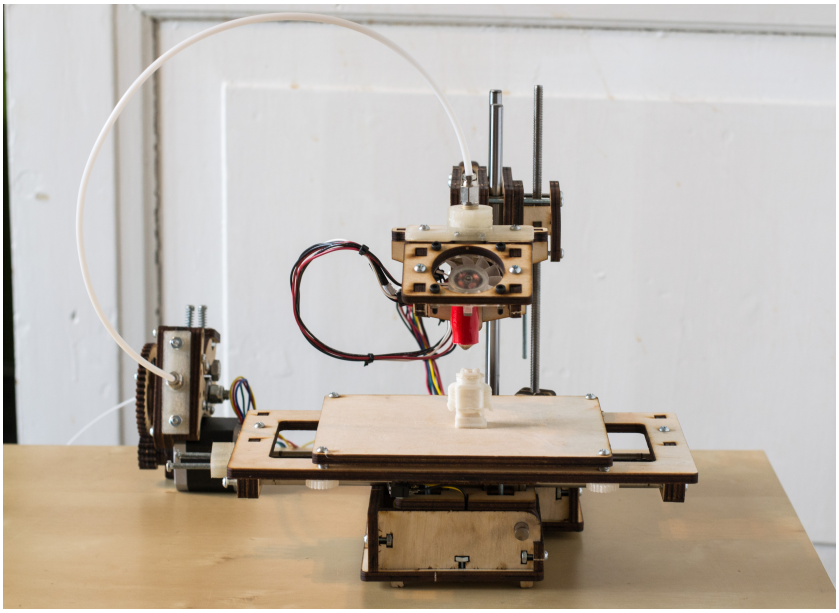
Printbot LC

A Printbot LC (fig. a1.1) foi desenvolvida com o propósito de ser a primeira impressora, de baixo custo, com alguma qualidade e portátil. Ao contrário de outras impressoras, que costumam ter uma cápsula para proteger a base de impressão e ou a extrusora, a Printbot LC porque não possui esta capa, transforma-se num máquina pequena, de 450 mm de largura e comprimento, pesando apenas 8 kg.

A conexão ao computador é feita por um cabo USB e em pouco tempo é calibrada e pronta a utilizar.

As peças provenientes desta impressora não são propriamente resistentes ou de grande resolução, mas não é de estranhar uma vez que se trata de uma impressora de entrada de gama (fig. a1.2).

a1.1



a1.1
Impressora
Printbot LC
[RF a1.1]

Características:

Volume de impressão (mm^3): 124 x 124 x 124

Velocidade de impressão (mm/s): 200

Material do filamento: ABS, PLA

Resolução (eixo dos zz) (mm): 0.4-0.1

Software: Pitrun/Pronterface

Software de corte: Slic3r, skeinforge

Sistema operativo: Windows, Mac, Linux

Open source: Sim

Preço (máquina pronta a utilizar) (€): 579

Fonte de inspiração: Original

Impressão sem auxílio de um computador: SD card

a1.2



a1.2
Exemplo de impressão Printbot LC
[RF a1.2]

Solidoodle 2

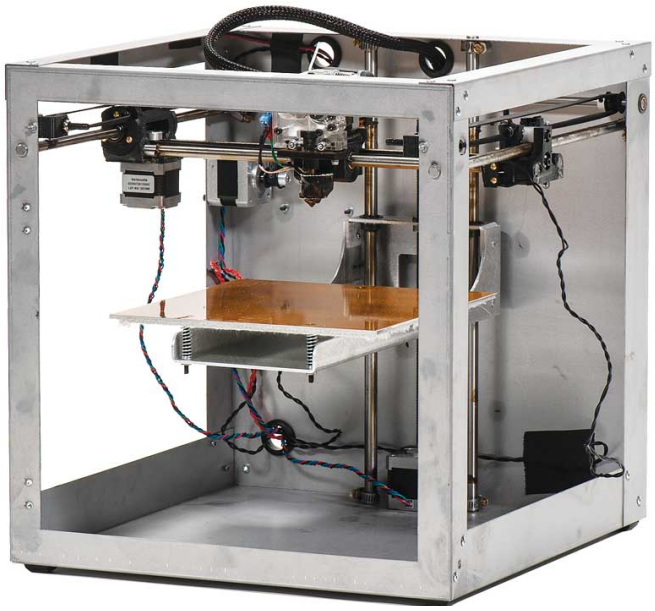
A Solidoodle 2 (fig. a1.3) é uma impressora inspirada nas linhas minimalistase destinada a operar em ambiente doméstico. Todos os componentes desagradáveis de uma impressora (fios, ligações, componentes mecânicos) encontram-se escondidos dentro da sua carapaça, tornando-a assim num aparelho atrativo ao olhar.

Embora se possa imprimir com dois materiais, o ABS e o PLA, apenas é aconselhado a utilização do ABS. Só imprime se a impressora estiver ligada ao computador, mas as peças impressas ficam aquém do desejado.

Esta máquina, apesar de algumas falhas, é bastante rápida e a plataforma de impressão sai da fábrica bem nivelada, não sendo necessários ajustes extras.

A Solidoodle 2 ainda não é uma impressora de grande qualidade, mas com pequenas alterações, a nível de software e design, pode facilmente tornar-se numa das melhores entre as impressoras de entrada de gama (fig. a1.4).

a1.3



a1.3
Impressora Solidoodle
[RF a1.3]

Características:

Volume de impressão (mm^3): 124 x 124 x 124

Velocidade de impressão (mm/s): 50

Material do filamento: ABS, PLA

Resolução (eixo dos zz) (mm): 0.1-0.3

Software: Printrun, Pronterface

Software de corte: Slic3r

Sistema operativo: Windows, Mac, Linux

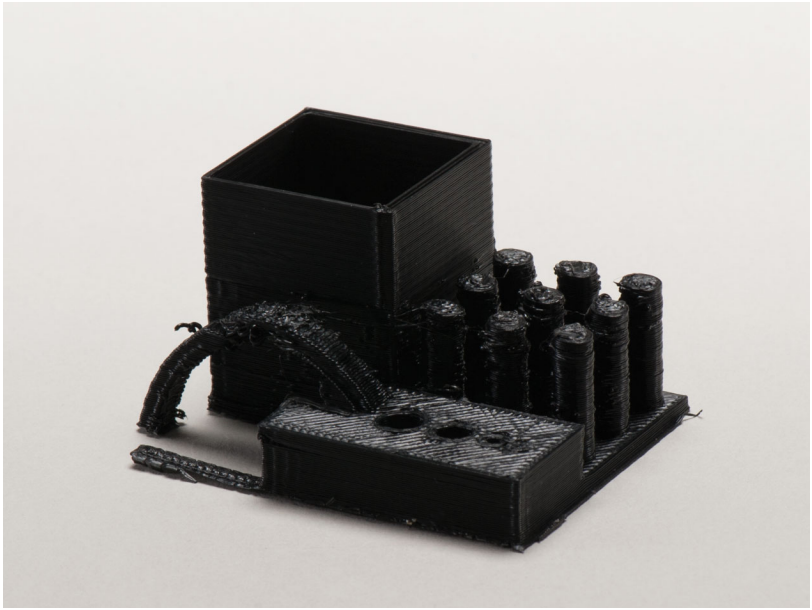
Open source: Sim

Preço (máquina pronta a utilizar) (€): 510€

Modelos de inspiração: Original

Impressão sem auxílio de um computador: Não

a1.4



a1.4
Exemplo de impressão Solidoodle
[RF a1.4]

Printrbot Jr.

A Printerbot Jr. (fig. a1.5) à semelhança da Printerbot LC, consegue ser mais pequena, mais leve e pode-se compactar, o que facilita o transporte, tornando-o mais cómodo.

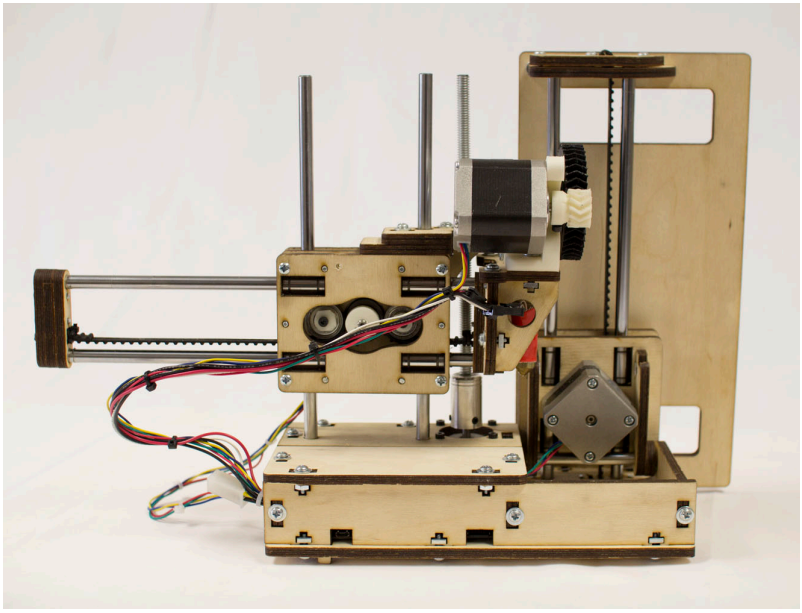
É a impressora mais barata do mercado e já vem completamente montada, sendo de fácil calibração, com a ajuda do manual de utilização disponível na internet.

Pode ser utilizada com uma bateria de lítio, o que a torna perfeita para impressões fora do ambiente doméstico, adaptando-se facilmente a qualquer lugar.

Embora o volume de impressão seja bastante reduzido, a qualidade das peças impressas são muito boas para uma impressora de baixo preço (fig. a1.6).

A Printbot Jr. define-se pelo tamanho, pelo preço e pela facilidade de transporte, tendo sido desenvolvida especialmente para estudantes, utilizadores casuais e amadores.

a1.5



a1.5
Impressora Printrbot Jr.
[RF a1.5]

Características:

Volume de impressão (mm^3): 101 x 101 x 101

Velocidade de impressão (mm/s): 100

Material do filamento: PLA

Resolução (eixo dos zz) (mm): 0.1

Software: Printrun, Pronterface

Software de corte: Slic3r

Sistema operativo: Windows, Mac, Linux

Open source: Sim

Preço (máquina pronta a utilizar) (€): 290

Modelos de inspiração: Original

Impressão sem auxílio de um computador: Não

a1.6



a1.6
Exemplo de impressão
Printrbot Jr.
[RF a1.6]

Comparação

Os critérios de comparação foram realizados numa escala de 0 a 5 em que 0 corresponde a muito mau e 5 a muito bom (tab. a1.1).

	Printbot LC	Soliddoodle 2	Printrbot JR.
Instalação	4/5	3/5	4/5
Documentação	4/5	4/5	2/5
Facilidade de utilização	3/5	3/5	5/5
Interface do utilizador	3/5	5/5	3/5
Software	3/5	3/5	3/5
Software de corte	3/5	3/5	3/5
Velocidade	4/5	4/5	4/5
Confiança	3/5	5/5	4/5
Qualidade de impressão	3/5	3/5	4/5
Precisão	3/5	2/5	3/5
Apoios	3/5	2/5	3/5
Ruído	3/5	4/5	4/5
Preço	4/5	5/5	5/5

Tab. a1.1
Comparação entre as impressoras de entrada de gama

Entre as impressoras de entrada de gama a Printbot Jr. é considerada como a melhor escolha, atendendo à sua velocidade, qualidade de impressão, preço e ruído. A base de impressão, no entanto, é bastante pequena representando uma grande desvantagem em relação às suas concorrentes diretas.

O facto de ser facilmente transportável e possuir uma bateria anexa é uma característica assinalável entre as impressoras tridimensionais.

Das três impressoras de entrada de gama pode-se concluir que a Printerbot Jr. é a que dispõe de maior rigor e definição na impressão.

A1.2

Gama Média (600€ - 1500€)

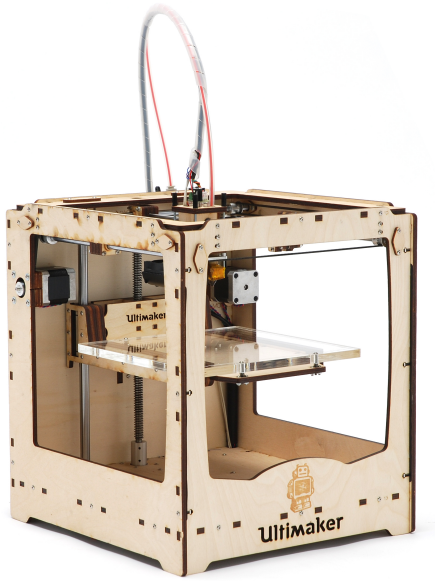
Ultimaker

A Ultimaker (fig. a1.7) é considerada um clássico das impressoras 3D, já com 3 anos de existência mas, mesmo assim, continua como uma das melhores impressoras de gama média do mercado.

Foi desenvolvida com o objetivo de imprimir rapidamente, e a componente mecânica baseia-se em otimizar a velocidade de impressão. A Ultimaker é vendida em Kit, sendo por isso necessário a sua montagem e calibração. Julga-se que esta ação demore entre 6 a 20 horas, consoante a habilidade do utilizador.

A Ultimaker, sendo corretamente calibrada, é tomada como a mais precisa entre as impressoras DIY (do it your self ; faça você mesmo).Tem a possibilidade de agregar uma bateria, o que facilita o seu transporte para qualquer lugar. No mercado de impressoras de baixo custo é considerada uma das melhores, dada a sua velocidade de impressão sem comprometer a resolução e a resistência de peças impressas (fig. a1.8).

a1.7



a1.7
Impressora Ultimaker
[RF a1.7]
.

Características:

Volume de impressão (mm^3): 210 x 210 x 210

Velocidade de impressão (mm/s): 150

Material do filamento: PLA, ABS

Resolução (eixo dos zz) (mm): 0.1-0.04

Software: Cura

Software de corte: Cura

Sistema operativo: Windows, Mac, Linux

Open source: Sim

Preço (máquina pronta a utilizar) (€): 1130 equipamento; 76 controlador

Modelos de inspiração: Original

Impressão sem auxílio de um computador: SD card (opcional)

a1.8



a1.8
Exemplo de impressão
Ultimaker
[RF a1.8]

Afinia H-Series

Pequena e leve a Afinia H-Series (fig. a1.9) é um objeto muito adequado para ocupar uma secretária e de acessível transporte.

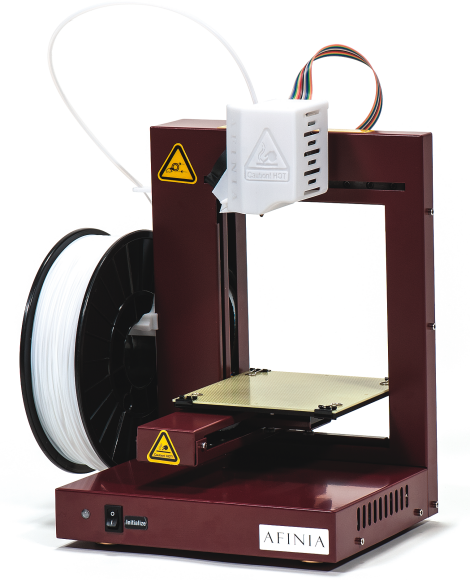
A falta de um painel de controlo na impressora constitui o seu ponto mais fraco, uma vez que tem apenas um botão de ligar/desligar, obrigando assim a ter um computador para controlar o processo de impressão.

No início, e durante a impressão de objetos, a máquina faz bastante ruído

A velocidade de impressão é lenta se a compararmos com as similares.

A Afinia H-Series oferece uma impressão de boa qualidade (fig. a1.10)., embora com algumas limitações.

a1.9



a1.9
Impressora Afinia H-Series
[RF a1.9]

Características:

Volume de impressão (mm^3): 140 x 140 x 135

Velocidade de impressão (mm^3/s): 3-30

Material do filamento: ABS, PLA

Resolução (eixo dos zz) (mm): 0.2

Software: Afinia 3D

Software de corte: Afinia 3D

Sistema operativo: Windows, Mac

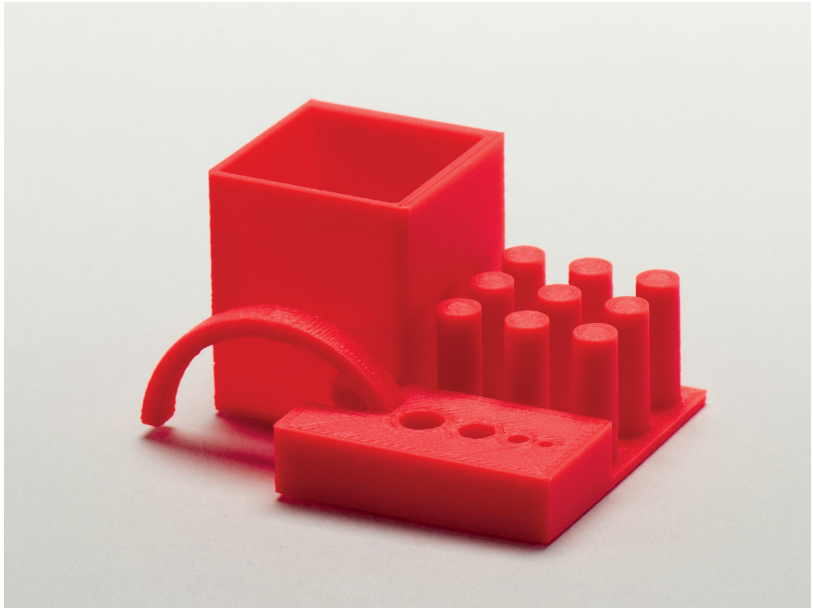
Open source: Não

Preço (máquina pronta a utilizar (€): 1100

Modelos de inspiração: PP3DP Up!

Impressão sem auxílio de um computador: Indefinido

a1.10



a1.10
Exemplo de impressão
Afinia H-Series
[RF a1.10]

MakerGear M2

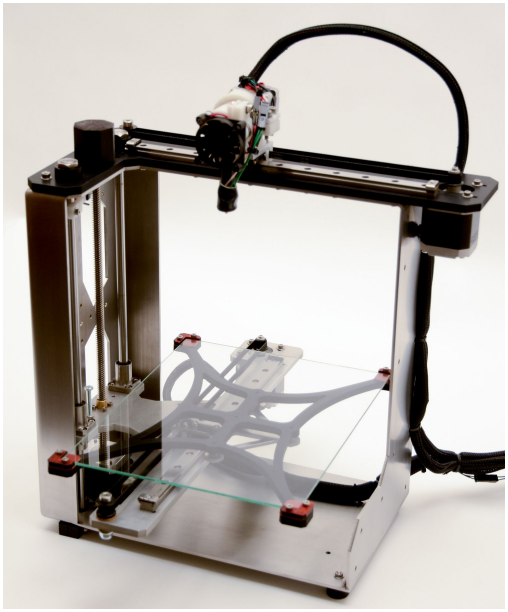
A MakerGear (fig. a1.11) é o modelo melhorado da Mosaic 3D Printer, que se destaca da sua antecessora pelos materiais utilizados na sua construção, como o aço inoxidável que lhe confere robustez. A área de impressão foi aumentada e tornou-a maior em relação às outras existentes no mercado (dentro da sua gama)

A MakerGear pode ser adquirida montada, ou por montar, mas uma vez que a diferença de preços não é significativa, compensa adquiri-la pronta.

É de fácil utilização e bastante intuitiva bastando apenas desembalar, ajustar o equipamento e instalar o software para ficar pronta a funcionar.

Esta impressora de estrutura robusta é capaz de produzir objetos de elevada qualidade, sendo considerada uma das melhores entre as impressoras de baixo custo (fig. a1.12).

a1.11



a1.11
Impressora MakerGear M2
[RF a1.11]

Características:

Volume de impressão (mm^3): 230 x 254 x 230

Velocidade de impressão (mm/s): 150

Material do filamento: ABS, PLA

Resolução (eixo dos zz) (mm): 0.2

Software: Printrun

Software de corte: Slic3r

Sistema operativo: Windows, Mac, Linux

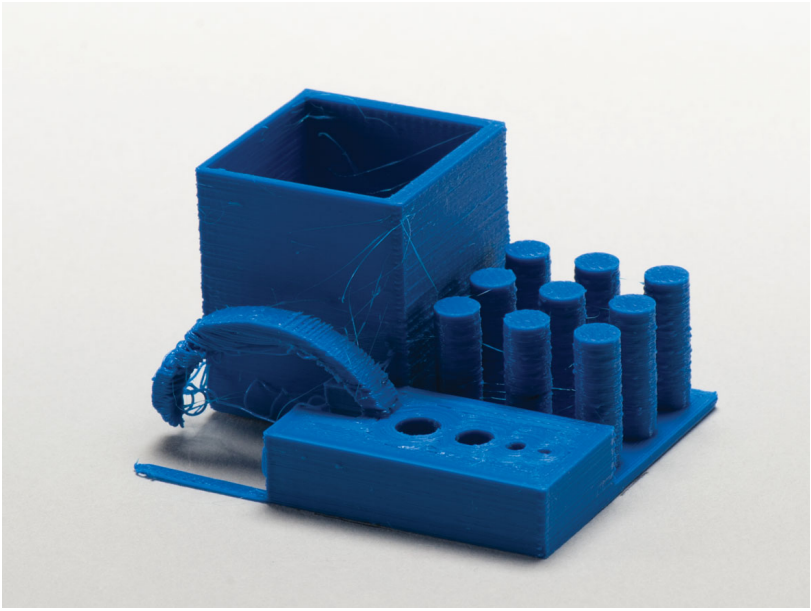
Open source: Sim

Preço (máquina pronta a utilizar)(€): 941(por peças) 1100 (montada)

Modelos de inspiração: RepRap/Mendel/Prusa

Impressão sem auxílio de um computador: SD card

a1.12



a1.12
Exemplo de impressão
MakerGear M2
[RF a1.12]

Type A Series 1

A base de impressão apresenta-se um pouco maior que as suas concorrentes. Pode imprimir objetos de maior volume.

Esta impressora imprime em PLA, o que se torna numa mais valia, dado que é um material esteticamente agradável e biodegradável.

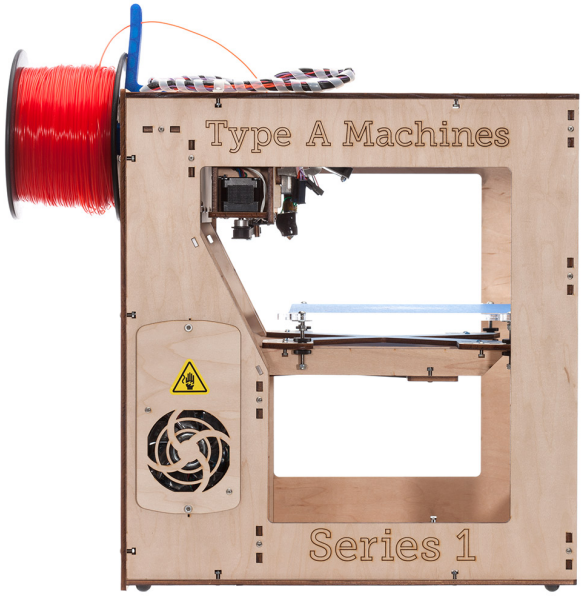
A velocidade de impressão da Type A (fig. a1.13) é outra característica sem nunca descurar da resolução das peças, imprimindo quase sem falhas, camada a camada.

Imprime com auxilio de um computador. É bastante barulhenta, tem falta de documentação no website e as suas instruções não são muito claras, para um modelo open source.

No geral, esta máquina satisfaz todos os requisitos de impressão.

A sua velocidade e área de impressão fazem da Type A uma impressora bastante eficiente e acessível para o utilizador (fig. a1.14).

a1.13



a1.13
Impressora Type A Series 1
[RF a1.13]

Características:

Volume de impressão (mm^3): 228 x 228 x 228

Velocidade de impressão (m/s): 90

Material do filamento: ABS, PLA, PVA

Resolução (eixo dos zz) (mm): 0.1

Software: Repetier/ Printrun

Software de corte: Slic3r, KISSlicer

Sistema operativo: Windows, Mac, Linux

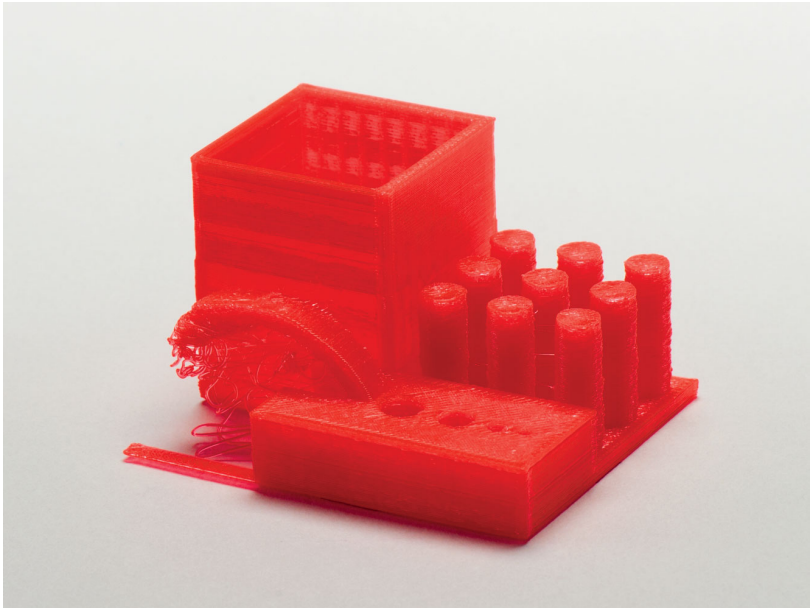
Open source: Sim

Preço (máquina pronta a utilizar) (€): 1015

Modelos de inspiração: Original com electrónica da EAMPS

Impressão sem auxílio de um computador: Não

a1.14



a1.14
Exemplo de impressão
Tipe A Series 1
[RF a1.14]

Bukobot 8

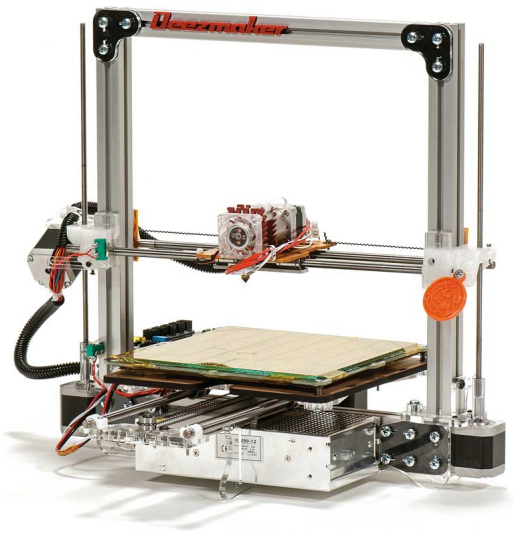
Esta impressora (fig. a1.15) é baseada em quatro impressoras de renome no plano da impressão tridimensional, a RepRap, a PrusaMendel, a Printrbot e a Wallace e junta ainda as ideias dos engenheiros criadores do projeto.

Tal como tantas outras impressoras, o ruído é um ponto fraco, mas sem causas de grandes perturbações no ambiente físico.

Os resultados da impressão são acima da média comparando com as restantes da sua gama (fig. a1.16).

Tem um design atrativo, com atributos capazes de atrair os aficionados ao movimento RepRap.

a1.15



a1.15
Impressora Bukobot
[RF a1.15]

Características:

Volume de impressão (mm^3): 203 x 203 x 203

Velocidade de impressão (mm/s): 120

Material do filamento: ABS, PLA, PVA

Resolução (eixo dos zz) (mm): 0.1 – 0.3

Software: Repetier Host

Software de corte: Slic3r

Sistema operativo: Windows, Mac, Linux

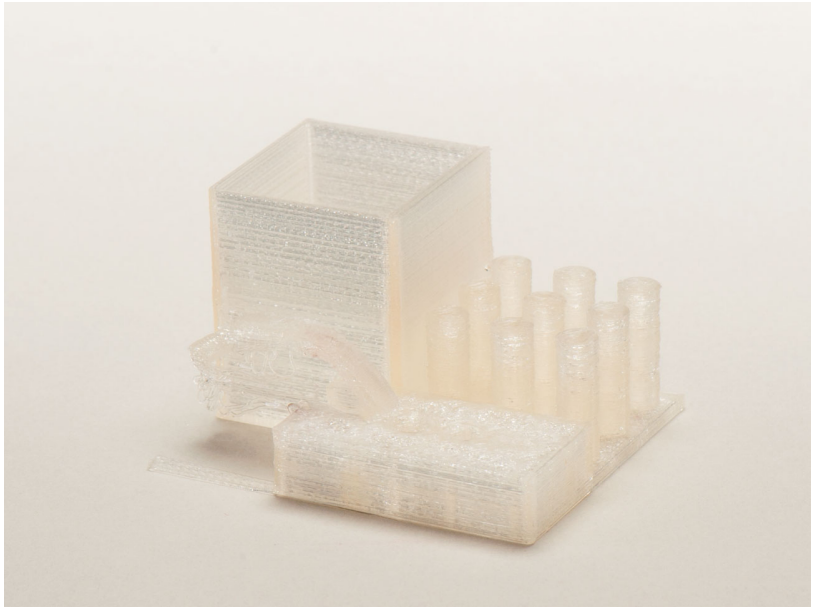
Open source: Sim

Preço (máquina pronta a utilizar) (€): 1000

Modelos de inspiração: RepRap, Pruse, Mendel, Printrbot, Wallace

Impressão sem auxílio de um computador: SD card

a1.16



a1.16
Exemplo de impressão
Bukobot 8
[RF a1.16]

Cube

À primeira vista o que reparamos quando olhamos para esta impressora, é o estilo e a sua configuração (fig. a1.17).

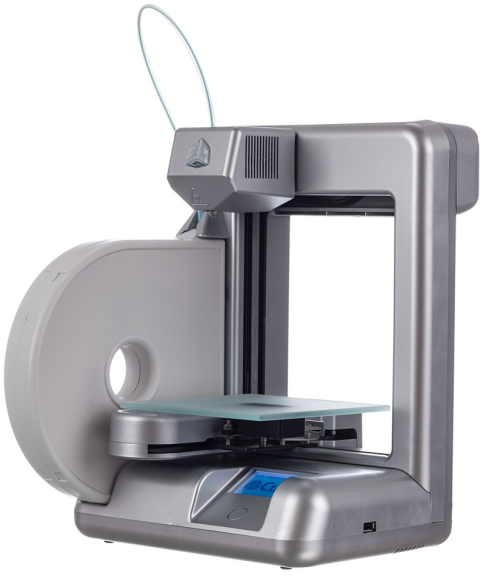
Uma das características mais importantes da Cube é a capacidade de impressão via USB e wi-fi.

Apresenta-se bastante resistente e com capacidade de imprimir continuamente, sem causar falhas ou defeitos de impressão. Poré, é bastante lenta e pode causar ruídos.

A cube funciona apenas com um filamento desenvolvido para ela, que é possível adquirir na 3DSystems, o que o torna um pouco mais dispendioso.

Esta impressora é considerada de qualidade mediana, sem grandes defeitos nem características excecionais (fig. a1.18). Trata-se, assim, de uma impressora confiável com um aspeto agradável.

a1.17



a1.17
Impressora Cube
[RF a1.17]

Características:

Volume de impressão (mm^3): 140 x 140 x 140

Velocidade de impressão (mm^3/s): 15

Material do filamento: ABS

Resolução (eixo dos zz) (mm): 0.25

Software: Cubity Client Software

Software de corte: Cubity Client Software

Sistema operativo: Windows (XP/SP3, Vista, 7)

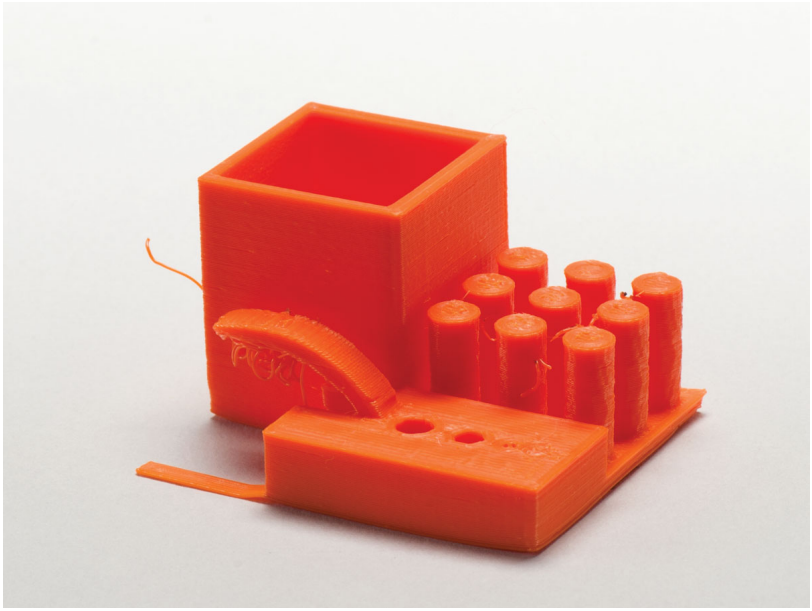
Open source: Não

Preço (máquina pronta a utilizar) (€): 940

Modelos de inspiração: Similar ao PP3DP Up!

Impressão sem auxílio de um computador: wi-fi, USB

a1.18



a1.18
Exemplo de impressão
Cube
[RF a1.18]

MendelMax Pro

A MendelMax Pro (fig. a1.19) é uma impressora desenvolvida pela Trinity Labs, com o objetivo de ser uma ajuda na produção industrial.

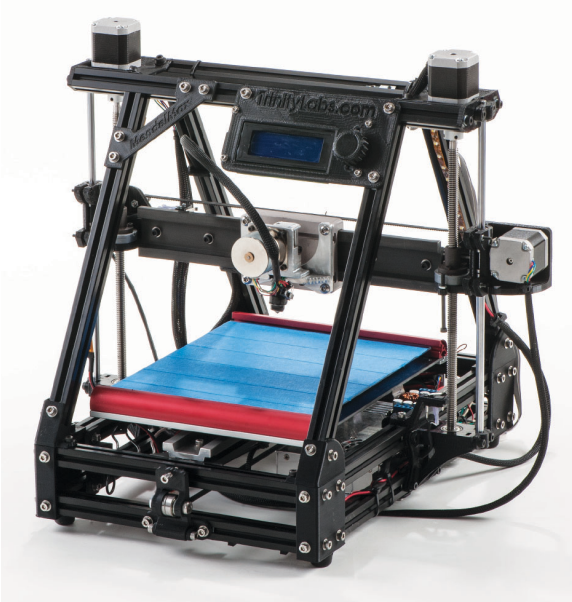
De aspeto muito industrial, esta impressora destaca-se pela velocidade de impressão (mais de 150 mm/s). Dispõe de um ecrã LED que indica o estado de impressão e LED's que iluminam a área de impressão enquanto está a funcionar.

As instruções são um pouco confusas, principalmente na parte da utilização do cartão SD.

Embora se trate de uma impressora bastante rápida, as suas faces verticais têm algumas deficiências, apresentando superfícies rugosas e pouco definidas.

Esta impressora foi criada para imprimir continuadamente e a grande velocidade (fig. a1.20). A falta de documentação e uma calibração pouco definida são as fragilidades que se lhe apontam.

a1.19



a1.19
Impressora MendelMax Pró
[RF a1.19]

Características:

Volume de impressão (mm): 229 x 254 x 177

Velocidade de impressão (mm/s): 150

Material do filamento: ABS, PLA, PVA

Resolução (eixo dos zz) (mm): 0.32-0.3

Software: Pronterface

Software de corte: Slic3r

Sistema operativo: Windows, Mac, Linux

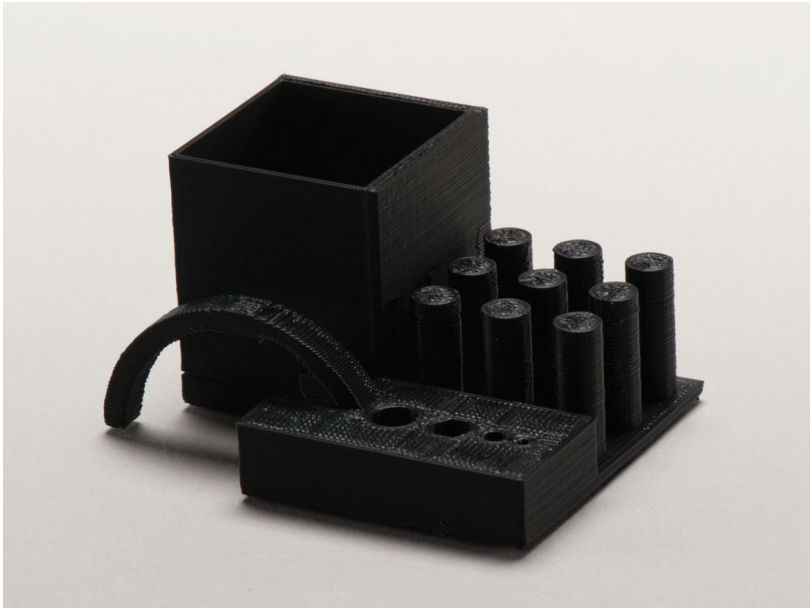
Open source: Sim

Preço (máquina pronta a utilizar) (€): 940€

Modelos de inspiração: RepRap, MendelMax

Impressão sem auxílio de um computador: SD card (opcional)

a1.20



a1.20
Exemplo de impressão
MendelMax Pro
[RF a1.20]

Felix 1.0

A Felix (fig. a1.2) é uma impressora que requer montagem. Não vem pronta a funcionar, e os seus compradores terão que a montar e calibrar sozinhos, com a ajuda das instruções anexas.

Algumas partes parecem difíceis de compreender mas com uma segunda leitura tudo fica percetível.

A calibração da máquina requer algum esforço, principalmente a quem não tem experiência neste tipo de montagem.

A velocidade de impressão é igual às suas concorrentes, mas apenas imprime um material, o que traz desvantagem para o mercado.

Se pretender apenas ter experiência em construção de impressoras e, ao mesmo tempo imprimir, com rapidez, sem ruído, esta impressora merece uma atenção especial (fig. a1.22).

a1.21



a1.21
Impressora Felix 1.0
[RF a1.21]

Características:

Volume de impressão (mm^3): 230 x 198 x 198

Velocidade de impressão (mm/s): 150

Material do filamento: PLA

Resolução (eixo dos zz): 0.05-0.35

Software: Repetier

Software de corte: Repetier

Sistema operativo: Windows

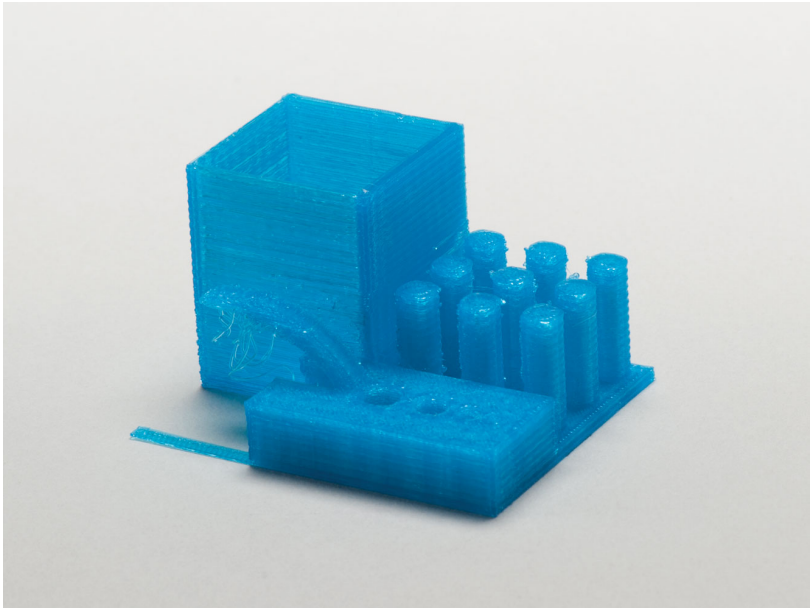
Open source: Não

Preço (máquina pronta a utilizar) (€): 844

Modelos de inspiração: Original

Impressão sem auxílio de um computador: Não

a1.22



a1.22
Exemplo de impressão
Felix 1.0
[RF a1.22]

Comparação

Os critérios de comparação, foram realizados numa escala de 0 a 5 em que 0 corresponde a muito mau e 5 a muito bom (tab. a1.2).

	Ultimaker	Afinia H-Series	MakerGear M2	Type A Series 1	Bukobot 8	Cube	MendelMax Pro	Felix 1.0
Instalação	5/5	5/5	4/5	3/5	4/5	5/5	4/5	3/5
Documentação	3/5	5/5	4/5	1/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Facilidade de utilização	4/5	4/5	4/5	4/5	3/5	5/5	4/5	3/5
Interface do utilizador	4/5	3/5	3/5	3/5	3/5	5/5	5/5	1/5
Software	4/5	4/5	3/5	3/5	3/5	3/5	3/5	3/5
Software de corte	4/5	5/5	3/5	3/5	3/5	3/5	3/5	3/5
Velocidade	5/5	2/5	4/5	4/5	5/5	1/5	5/5	3/5
Confiança	5/5	5/5	4/5	5/5	5/5	5/5	4/5	3/5
Qualidade de impressão	5/5	5/5	5/5	5/5	4/5	4/5	3/5	3/5
Precisão	5/5	5/5	5/5	4/5	4/5	2/5	2/5	4/5
Apoios	4/5	5/5	5/5	4/5	3/5	4/5	4/5	3/5
Ruído	4/5	4/5	2/5	2/5	3/5	2/5	2/5	5/5
Preço	5/5	4/5	4/5	5/5	4/5	4/5	4/5	3/5

Tab a1.2
Comparação entre as impressoras de gama média

Entre as impressoras de média gama aparecem duas que chamam à atenção: a Ultimaker e a Afinia.

Ambas são extremamente velozes e pouco ruidosas, características essenciais para uma impressora ter boa aceitação e sucesso.

A qualidade e resolução das impressões são irrepreensíveis, e ambas imprimem em ABS e PLA.

Existem pequenas diferenças no que toca à utilização. São elas que levam o utilizador a fazer a sua escolha.

Enquanto que a Afinia já se encontra montada e pronta a ser utilizada, a Ultimaker necessita de ser completamente montada (embora seja relativamente fácil para quem tenha experiência)

A Ultimaker pode imprimir sem recorrer ao computador e a Afinia precisa sempre de estar ligada. A Ultimaker tem um bateria associada, o que facilita o transporte.

A principal diferença existente entre as duas está na área de ocupação e no volume de impressão.

A Afinia é bastante compacta e simples, mas o volume das peças impressas são menores em relação ao volume das impressões da Ultimaker. Visualmente é uma impressora imponente, cujo aspeto físico evidencia uma considerável solidez, o que foi irrelevante aquando da sua criação.

Concluindo, ambas as impressoras são consideradas as melhores na média gama e o único fator de diferenciação é o tipo de utilização que lhe queremos dar; a Afinia no uso doméstico e experimental e a Ultimaker no profissional em maior escala.

A1.3

Gama Alta (1.500€ - 4.000€)

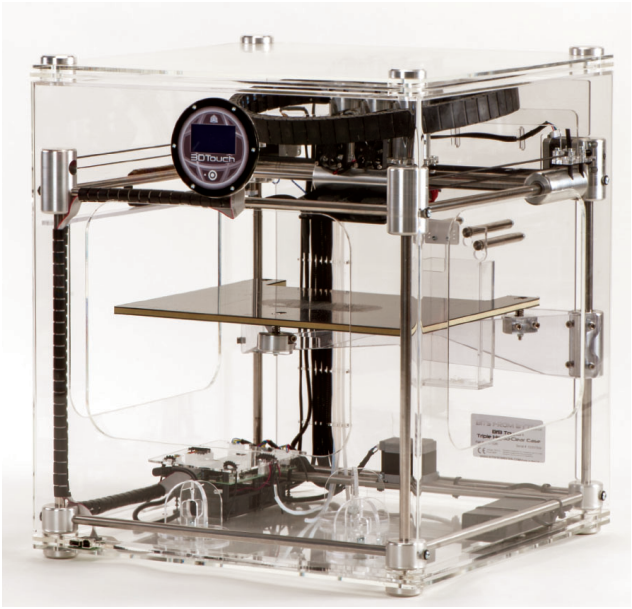
3DTouch

Trata-se de um aparelho visualmente agradável com uma dimensão apropriada para a impressão de média escala (fig. a1.23). Toda ela é construída com ligações metálicas que se encaixam e fazem da impressora um objeto harmonioso logo no primeiro olhar e ao mesmo tempo super sólido. As suas extrusoras têm um design singular assim como o seu painel "touche screen" foi essencialmente concebido a pensar no utilizador pela facilidade de interação.

Há uma grande dificuldade na remoção dos objetos da base, as texturas são pouco confusas; também há excesso de filamento a sair e que é complicado para peças de pequena dimensão, que não dispõem de pormenores suficientes.

Apesar de se tratar de uma impressora bastante dispendiosa e fisicamente imponente, a nível de qualidade de impressão e outras características relativas a peças impressas verifica-se que não corresponde à primeira perceção que obtemos (fig. a1.24).

a1.23



a1.23
Impressora 3DTouch
[RF a1.23]

Características:

Volume de impressão (mm^3): 185 x 266 x 200

Velocidade de impressão (mm^3/s): 15

Material do filamento: ABS, PLA, PLA solúvel

Resolução (eixo dos zz) (mm): 0.125

Software: Axon 2

Software de corte: Skeinforge

Sistema operativo: Windows

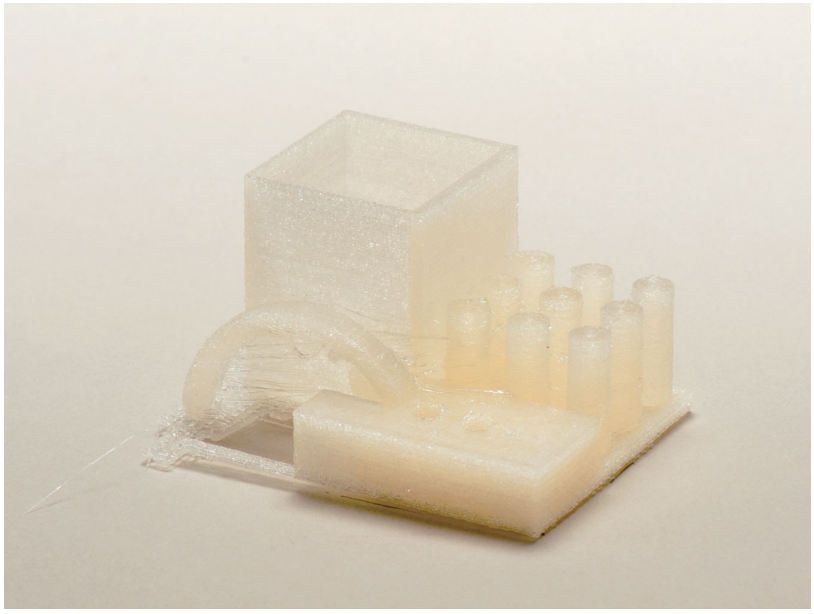
Open source: Não

Preço (máquina pronta a utilizar) (€): 3.168

Modelos de inspiração: RepRap Darwin

Impressão sem auxílio de um computador: USB

a1.24



a1.24
Exemplo de impressão
3DTouch
[RF a1.24]

Lulzbot AO-100

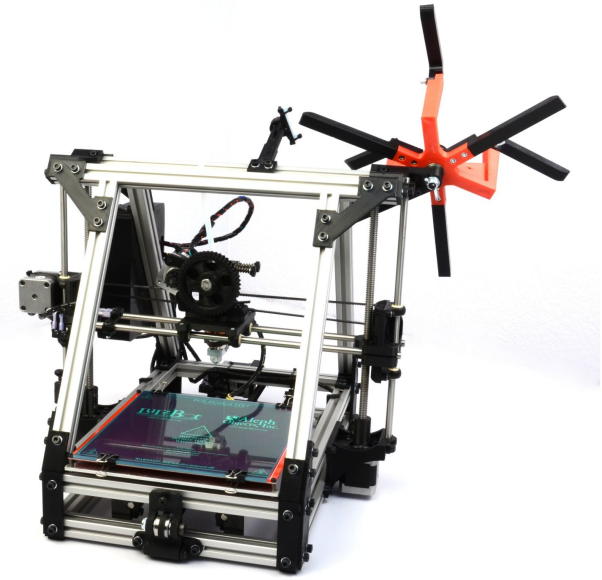
A LulzBot AO-100 (fig. a1.25) é uma impressora que se adquire quase pronta a funcionar, necessitando apenas de desembalar e montar partes que poderiam comprometer a sua própria segurança e acomodação na embalagem. Vem acompanhada de todas as ferramentas necessárias à montagem e do respetivo manual de instruções, numa linguagem clara facilitando a montagem a qualquer leigo.

Esta impressora requer uma contínua atualização de software e manutenção da extrusora e dos filamentos.

A qualidade e ruído da impressão encontram-se dentro da média e a velocidade, depois de calibrada, é bastante boa (fig. a1.26).

É considerada uma boa impressora, não fosse esta uma impressora de gama alta.

a1.25



a1.25
Impressora Lulzbot AO-100
[RF a1.25]

Características:

Volume de impressão (mm^3): 200 x 190 x 100

Velocidade de impressão (mm/s): 150 mm/s

Material do filamento: ABS, PLA

Resolução (eixo dos zz) (mm): 0.1-0.75 mm

Software: Pitrun

Software de corte: Slic3r

Sistema operativo: Windows, Mac, Linux

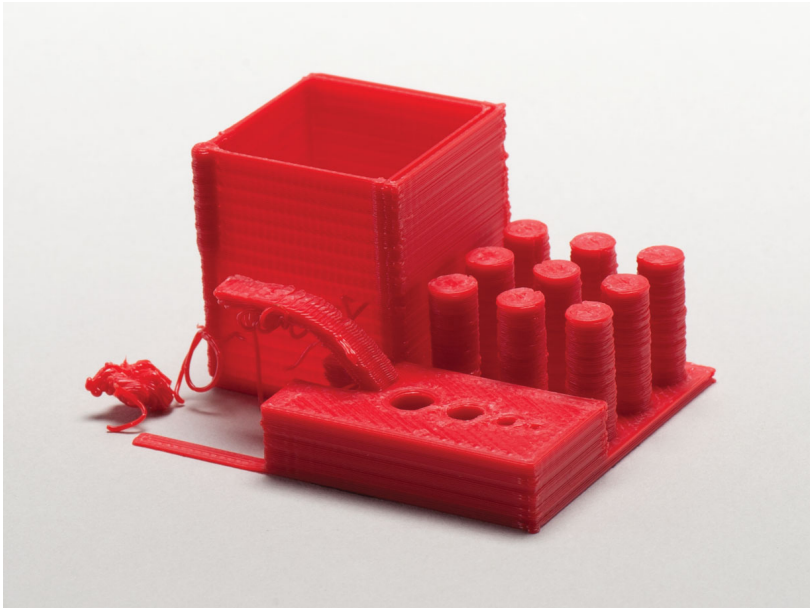
Open source: Sim

Preço (máquina pronta a utilizar): 1.800€

Modelos de inspiração: RepRap, MendelMax

Impressão sem auxílio de um computador: SD card

a1.26



a1.26
Exemplo de impressão
Lulzbot AO-100
[RF a1.26]

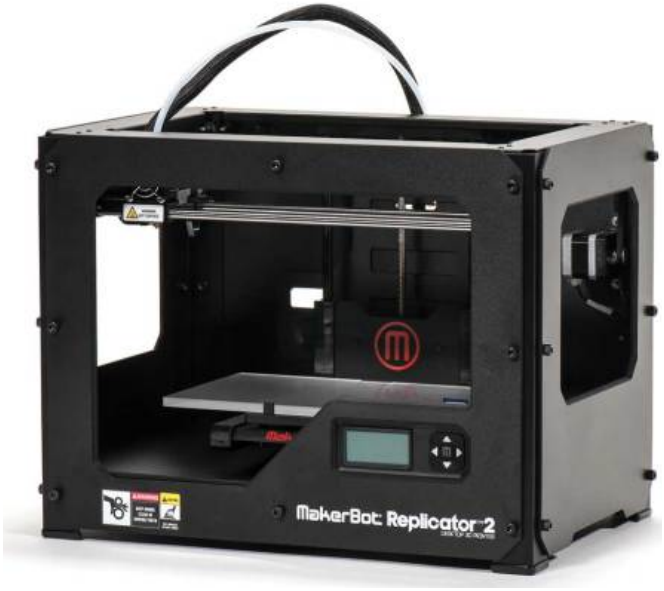
Replicator 2

A Replicator 2 (fig. a1.27) é o modelo aperfeiçoado da primeira Replicator. Trata-se de uma impressora mais rápida e silenciosa e imprime camadas mais finas. Estas melhorias transformam-na numa máquina que por si já era boa, mas agora ainda melhor. A dimensão do ecrã também aumentou o que torna mais fácil o controlo da máquina. Um extra da impressora é a escolha da luz interior para melhor se adaptar ao gosto pessoal do utilizador.

As peças saídas da impressora são de grande qualidade, quer a nível de resolução quer a nível de resistência (fig. a1.28).

Em suma, a Replicator 2 evoluiu em relação à sua antecessora, o que faz dela uma impressora viável para se adquirir.

a1.27



a1.27
Impressora Replicator 2
[RF a1.27]

Características:

Volume de impressão (mm^3): 284 x 152 x 155

Velocidade de impressão (mm/s): 80-100

Material do filamento: PLA

Resolução (eixo dos zz) (mm): 0.1-0.34

Software: MakerWare

Software de corte: MakerWare

Sistema operativo: Windows, Mac, Linux

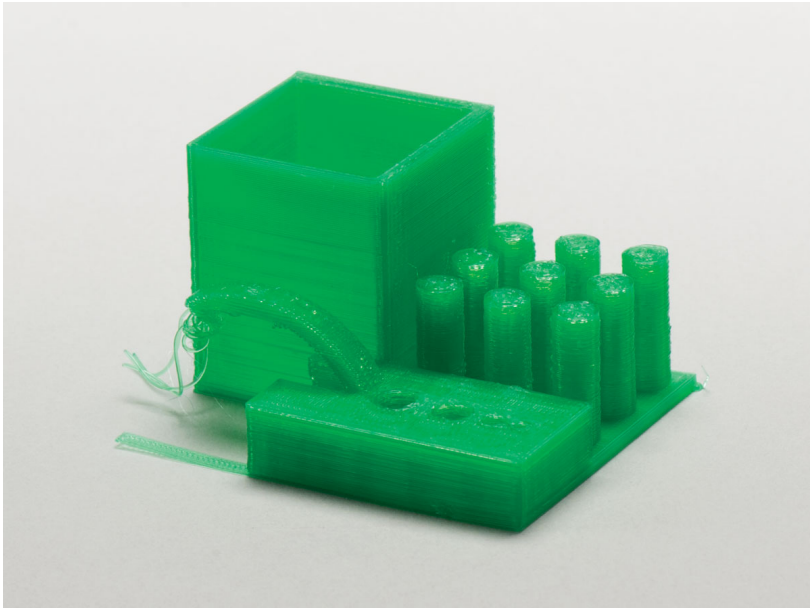
Open source: não

Preço (máquina pronta a utilizar) (€): 1.600

Modelos de inspiração: MakerBot, Replicator

Impressão sem auxílio de um computador: SD card

a1.28



a1.28
Exemplo de impressão
Replicator 2
[RF a1.28]

Comparação

Os critérios de comparação, foram realizados numa escala de 0 a 5 em que 0 corresponde a muito mau e 5 a muito bom (tab. a1.3).

	3DTouch	Lulzbot AO-100	Replicator 2
Instalação	5/5	5/5	4/5
Documentação	3/5	4/5	4/5
Facilidade de utilização	3/5	3/5	5/5
Interface do utilizador	5/5	3/5	5/5
Software	3/5	3/5	4/5
Software de corte	3/5	3/5	4/5
Velocidade	1/5	5/5	4/5
Confiança	5/5	5/5	4/5
Qualidade de impressão	3/5	3/5	4/5
Precisão	2/5	4/5	4/5
Apoios	4/5	2/5	5/5
Ruído	3/5	3/5	5/5
Preço	1/5	2/5	3/5

Tab. a1.3
Comparação entre as impressoras gama alta

A Replicator 2 é a mais barata das impressoras 3D de alta gama é simultaneamente considerada de elevada eficiência.

Para o utilizador trata-se da mais amigável no trabalho, e a sua instalação e funcionamento foram atributos considerados durante o seu desenvolvimento.

O volume de impressão também é outra característica que determinou a qualidade da Replicator 2 face às suas adversárias.

Das três impressoras de gama alta a Replicator 2 é a que mais se sobressai, sendo o aspeto e a ocupação de espaço outras mais valias.

É compacta, resistente e ao mesmo tempo consegue obter uma maior volumetria de impressão.

Anexo B

Fichas de materiais

ABS

Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)

Description

Image





Caption

1. ABS pellets. © Shutterstock 2. ABS allows detailed moldings, accepts color well, and is non-toxic and tough enough to survive the worst that children can do to it. © Gettyimages

The material

ABS (Acrylonitrile-butadiene-styrene) is tough, resilient, and easily molded. It is usually opaque, although some grades can now be transparent, and it can be given vivid colors. ABS-PVC alloys are tougher than standard ABS and, in self-extinguishing grades, are used for the casings of power tools.

Composition (summary)

Block terpolymer of acrylonitrile (15-35%), butadiene (5-30%), and styrene (40-60%).

General properties

Density	1,01e3	-	1,21e3	kg/m^3
Price	* 1,96	-	2,16	EUR/kg
Date first used	1937			

Mechanical properties

Young's modulus	1,1	-	2,9	GPa
Shear modulus	0,319	-	1,03	GPa
Bulk modulus	3,8	-	4	GPa
Poisson's ratio	0,391	-	0,422	
Yield strength (elastic limit)	18,5	-	51	MPa
Tensile strength	27,6	-	55,2	MPa
Compressive strength	31	-	86,2	MPa
Elongation	1,5	-	100	% strain
Hardness - Vickers	5,6	-	15,3	HV
Fatigue strength at 10^7 cycles	11	-	22,1	MPa
Fracture toughness	1,19	-	4,29	MPa.m^0.5
Mechanical loss coefficient (tan delta)	0,0138	-	0,0446	

Thermal properties

Glass temperature	87,9	-	128	°C
Maximum service temperature	61,9	-	76,9	°C
Minimum service temperature	123	-	73,2	°C
Thermal conductor or insulator?	Good insulator			
Thermal conductivity	0,188	-	0,335	W/m.°C
Specific heat capacity	1,39e3	-	1,92e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	84,6	-	234	µstrain/°C

Electrical properties

Electrical conductor or insulator?	Good insulator

Values marked * are estimates.
No warranty is given for the accuracy of this data

Electrical resistivity	3,3e21	-	3e22	µohm.cm
Dielectric constant (relative permittivity)	2,8	-	3,2	
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	0,003	-	0,007	
Dielectric strength (dielectric breakdown)	13,8	-	21,7	1000000 V/m

Optical properties

Transparency	Opaque			
Refractive index	1,53	-	1,54	

Processability

Castability	1	-	2	
Moldability	4	-	5	
Machinability	3	-	4	
Weldability	5			

Eco properties

Embodied energy, primary production	* 90,3	-	99,9	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	* 3,64	-	4,03	kg/kg
Recycle	✓			

Recycle mark



Supporting information

Design guidelines

ABS has the highest impact resistance of all polymers. It takes color well. Integral metallics are possible (as in GE Plastics' Magix.) ABS is UV resistant for outdoor application if stabilizers are added. It is hygroscopic (may need to be oven dried before thermoforming) and can be damaged by petroleum-based machining oils. ASA (acrylic-styrene-acrylonitrile) has very high gloss; its natural color is off-white but others are available. It has good chemical and temperature resistance and high impact resistance at low temperatures. UL-approved grades are available. SAN (styrene-acrylonitrile) has the good processing attributes of polystyrene but greater strength, stiffness, toughness, and chemical and heat resistance. By adding glass fiber the rigidity can be increased dramatically. It is transparent (over 90% in the visible range but less for UV light) and has good color, depending on the amount of acrylonitrile that is added this can vary from water white to pale yellow, but without a protective coating, sunlight causes yellowing and loss of strength, slowed by UV stabilizers. All three can be extruded, compression molded or formed to sheet that is then vacuum thermo-formed. They can be joined by ultrasonic or hot-plate welding, or bonded with polyester, epoxy, isocyanate or nitrile-phenolic adhesives.

Technical notes

ABS is a terpolymer - one made by copolymerizing 3 monomers: acrylonitrile, butadiene and styrene. The acrylonitrile gives thermal and chemical resistance, rubber-like butadiene gives ductility and strength, the styrene gives a glossy surface, ease of machining and a lower cost. In ASA, the butadiene component (which gives poor UV resistance) is replaced by an acrylic ester. Without the addition of butyl, ABS becomes, SAN - a similar material with lower impact resistance or toughness. It is the stiffest of the thermoplastics and has excellent resistance to acids, alkalis, salts and many solvents.

Typical uses

Safety helmets; camper tops; automotive instrument panels and other interior components; pipe fittings; home-security devices and housings for small appliances; communications equipment; business machines; plumbing hardware; automobile grilles; wheel covers; mirror housings; refrigerator liners; luggage shells; tote trays; mower shrouds; boat hulls; large components for recreational vehicles; weather seals; glass beading; refrigerator breaker strips; conduit; pipe for drain-waste-vent (DWV) systems.

Tradenames

Claradex, Comalloy, Cycogel, Cycolac, Hanalac, Lastilac, Lupos, Lustran ABS, Magnum, Multibase, Novodur, Polyfabs, Polylac, Porene, Ronfalin, Sinkral, Terluran, Toyolac, Tufrex, Ultrastyr

Values marked * are estimates.
No warranty is given for the accuracy of this data

PLA

Polylactide (PLA)

Description

Image



Caption

Polylactide food packaging. © Cargill Dow

The material

Polylactide, PLA, is a biodegradable thermoplastic derived from natural lactic acid from corn, maize or milk. It resembles clear polystyrene, provides good aesthetics (gloss and clarity), but it is stiff and brittle and needs modification using plasticizers for most practical applications. It can be processed like most thermoplastics into fibers, films, thermoformed or injection molded.

General properties

Density		1,24e3		kg/m^3
Price	*	1,65	1,98	EUR/kg
Date first used		1993		

Mechanical properties

Young's modulus		3,3	3,6	GPa
Shear modulus	*	1,2	1,29	GPa
Bulk modulus	*	5,7	6,3	GPa
Poisson's ratio	*	0,38	0,4	
Yield strength (elastic limit)		55	72	MPa
Tensile strength		47	70	MPa
Compressive strength		66	86	MPa
Elongation		3	6	% strain
Hardness - Vickers	*	17	22	HV
Fatigue strength at 10^7 cycles	*	22,2	27,7	MPa
Fracture toughness	*	3	5	MPa.m^0.5
Mechanical loss coefficient (tan delta)		0,06	0,09	

Thermal properties

Melting point		145	177	°C
Glass temperature		52	60	°C
Maximum service temperature	*	45	55	°C
Minimum service temperature		20	10	°C
Thermal conductor or insulator?		Good insulator		
Thermal conductivity		0,13	0,16	W/m.°C
Specific heat capacity		1,18e3	1,21e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	*	126	145	µstrain/°C

Electrical properties

Electrical conductor or insulator?		Good insulator		
Electrical resistivity	*	3e17	6e17	µohm.cm
Dielectric constant (relative permittivity)	*	3	3,5	

Values marked * are estimates.
No warranty is given for the accuracy of this data

Dissipation factor (dielectric loss tangent)	* 0,001	-	0,02	
Dielectric strength (dielectric breakdown)	* 15	-	17	1000000 V/m

Optical properties

Transparency	Transparent			
Refractive index	* 1,4	-	1,48	

Processability

Moldability	4	-	5	
Formability	* 4	-	5	
Machinability	* 4	-	5	
Weldability	* 3	-	4	

Eco properties

Embodied energy, primary production	* 49	-	54,2	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	* 3,43	-	3,79	kg/kg
Recycle	✓			

Recycle mark



Other

Supporting information

Design guidelines

PLA is a biopolymer that can be molded, thermoformed and extruded, much like any other thermoplastic. It is transparent and has FDA approval for food packaging. PLA film and sheet can be printed and laminated. Biopolymers are, however, expensive, costing 2 to 6 times as much as commodity plastics like polypropylene.

Technical notes

PLA is a thermoplastic derived primarily from annually renewable resources (maize, corn or milk). It is available in a number of grades, designed for ease of processing. In-line drying may be needed to reduce water content for extrusion and molding. The recommended molding temperature is 165 - 170 C.

Typical uses

Food packaging, plastic bags, plant pots, diapers, bottles, cold drink cups, sheet and film.

Tradenames

NatureWorks PLA, BOPLA

Further reading

See Reference link and Producer website.

Links

Reference

ProcessUniverse

Producers

Values marked * are estimates.
No warranty is given for the accuracy of this data

Pasta de açúcar SweetArt

CONTRIBUINTE Nº 504817426
CAPITAL SOCIAL 25.000,00 Euros
Matriculada Conservatória Registo Comercial de Mafra sob o nº 11705

SISTEMA HACCP

FICHA TÉCNICA DOS PRODUTOS DE PASTELARIA

FICHA TÉCNICA

DESIGNAÇÃO COMERCIAL DO PRODUTO: **PASTA DE AÇÚCAR SWEETART.**

CARACTERIZAÇÃO SUMÁRIA: Pasta de Açúcar Branca.

COMPOSIÇÃO: Açúcar, Amido de Milho, Glucose, Gordura vegetal, Sorbitol, Corante Branco E171, Conservantes, Gomas Naturais e Aroma de Limão.

FORMA DE APRESENTAÇÃO: Sacos de plástico de 0,250Kg a 2,5kg.

CONDIÇÕES DE CONSERVAÇÃO: Conservar em Local Fresco e Seco.

CONSUMIDOR ALVO: Pastelarias e Confeitarias.

MODO DE UTILIZAÇÃO: Amassar bem antes de utilização na modelagem.

PRAZO DE VALIDADE: Consumir de preferência antes do fim da data indicada no rótulo.

ROTULAGEM: Segundo as regras constantes da legislação em vigor sobre a matéria.

Rua Vale de Mafra lote 3, Venda do Pinheiro, 2665-506
Telef: 219668952 - fax: 219668952

U.PORTO
FACULDADE DE BELAS ARTES
UNIVERSIDADE DO PORTO

FACULDADES PARTICIPANTES:

FACULDADE DE ENGENHARIA

Impressão tridimensional; Oportunidades no Design Industrial

Marta Barros

