



ESTUDO DO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO ABERTO (OPEN DESIGN) NA PERSPETIVA DA FABRICAÇÃO ADITIVA

RUI JORGE SOARES DA SILVA

julho de 2020



ESTUDO DO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO ABERTO (OPEN DESIGN) NA PERSPETIVA DA FABRICAÇÃO ADITIVA

RUI JORGE SOARES DA SILVA

Junho de 2020

ESTUDO DO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO ABERTO (OPEN DESIGN) NA PERSPETIVA DA FABRICAÇÃO ADITIVA

Rui Jorge Soares Silva
1150606

2020

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica – Gestão Industrial



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

ESTUDO DO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO ABERTO (OPEN DESIGN) NA PERSPETIVA DA FABRICAÇÃO ADITIVA

Rui Jorge Soares Silva
1150606

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Professor Doutor Hélio Cristiano Gomes Alves de Castro, Professor adjunto convidado do Instituto Superior de Engenharia do Porto e coorientação do Professor Doutor Paulo António da Silva Ávila, Professor Coordenador do Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

2020

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica – Gestão Industrial

POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

JÚRI

Presidente

Manuel Jorge Dores de Castro

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Hélio Cristiano Gomes Alves de Castro

Professor Adjunto Convidado, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Co-orientador

Paulo António da Silva Ávila

Professor Coordenador, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

Cátia Filipa Veiga Alves

Professora Convidada equiparada a Professora Auxiliar, Departamento de Produção e Sistemas, Escola Engenharia, Universidade do Minho

AGRADECIMENTOS

À minha família, particularmente aos meus pais, por todo o apoio que me foi transmitindo ao longo de todo este período, acompanhando me nas dificuldades do dia a dia.

Ao Engenheiro Hélio Cristiano Gomes Alves de Castro pela disponibilidade, acompanhamento e interesse desde o primeiro momento em que abracei este projeto, e que me fez acreditar na exploração de um tema que era desconhecido para mim.

Aos meus amigos e colegas da faculdade, que comigo partilharam diversas experiências, agradeço a ajuda e a amizade vivenciadas ao longo destes cinco anos.

PALAVRAS CHAVE

Projeto aberto, Impressão 3D, Fabricação aditiva, CAD, Indústria 4.0.

RESUMO

A indústria passou por revoluções industriais até chegar aos dias de hoje, evidenciando sempre um constante crescimento e evolução colocando à prova de forma quase diária os I&D de cada empresa que muitas das vezes não tem o número de recursos necessários para enfrentar todas estas exigências. Numa altura em que a nível industrial se vive muito do paradigma de implementação da indústria 4.0, o fenómeno da globalização é agora mais que nunca essencial para esta permuta de conhecimentos que permite fazer uma quebra com o passado e promover o desenvolvimento tecnológico.

A fabricação aditiva surge assim, com maior preponderância nestes últimos anos, passando a ser vista como uma solução para fazer face aos métodos de fabrico tradicionais, devido ao seu baixo custo para a produção de pequenos lotes de peças e a capacidade de ser utilizada e potencializada no combate a um dos maiores problemas das empresas que é a luta contra a redução de stocks.

Ao longo deste projeto, procurou-se estudar a fabricação aditiva e a sua evolução e posteriormente o impacto que as comunidades de projeto aberto tem nesta tecnologia. Conseguiu-se apurar então que os projetos abertos, são já uma realidade muito mais estabelecida, do que possamos imaginar. É de realçar também que ao nível de hardware, atualmente já existe uma grande percentagem dos consumidores que recorre a projetos abertos para adquirir a sua impressora, tal como se verifica em menor escala ao nível dos softwares CAD.

Assim, conseguiu-se ao longo deste projeto demonstrar a importância destes projetos, sendo errado perspetivar que surgiram para dominar os mercados onde se inserem, mas sim como uma alternativa que tem por objetivo, não ser referida como projeto de reposição, mas sim como de inovação, onde se é capaz de permitir a evolução de desenvolvedores, que adquirem assim mais competências, bem como dar voz aos utilizadores das mais diversas áreas para que de forma congregada e numa comunidade se consiga promover e produzir alternativas muito válidas a produtos já existentes na indústria, muitas das vezes inalcançáveis a uma parte da população.

KEYWORDS

Open design, 3D printing, Additive manufacturing, CAD, Industry 4.0.

ABSTRACT

Industry has been through many revolutions till today, always evidencing a constant growth and evolution putting to the test almost daily the R&D of each company that most times don't have the number of necessary resources to face all the requirements. At a time when, in an industry level, you live a lot from the paradigm of implementation of industry 4.0, the globalization phenomenon is now more than ever essential for this exchange of knowledge that allows to break from the past and promote the technology development.

So the additive manufacturing arises, with greater preponderance in the last couple of years, starting to be seen as a solution to face the methods of traditional manufacture, its low cost for the production of small batches of pieces and its ability to be used and potentiated in the fight against one of the worst problems in the companies that is the stock reduction.

Throughout this project, it was sought to study the additive manufacture and its evolution and posteriorly, the impact that open source communities have in this technology. It was managed to find out that the projects with open source are already a reality much more established than it was imagined. It also must be highlighted that in an hardware level, it already exists a large percentage of consumers who resort to open source projects to acquire their printer.

Therefore, throughout this project, it was managed to demonstrate the importance of this projects, being wrong envision that they emerged to take over the markets where they belong, but as an alternative that aims to not be referred as a replacement project but as for innovation, where is capable of allowing the evolution of developers that acquire more skills, as well as give voice to the users of the most varied areas so that in a congregated way and in community it is possible to promote and produce alternatives very valids for already existent products in industry, often unattainable to a certain part of the population.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

Termo	Designação
PIB	Produto interno bruto
I&D	Investigação e Desenvolvimento
EPO	<i>European Patent Organisation</i>
FDM	Fabricação de filamentos fundidos por deposição
FFF	Fabricação de filamentos fundidos
SLA	<i>Stereolithography</i>
DLP	<i>Digital light processing</i>
SLS	<i>Selective laser sintering</i>
CAD	Computer Aided Design

Lista de Unidades

Termo	Designação
N	Tamanho da amostra

Lista de Símbolos

Termo	Designação
%	Percentagem
\$	Dólar

GLOSSÁRIO DE TERMOS

Termo	Designação
<i>Fabricação aditiva</i>	Método de fabrico onde um modelo tridimensional é criado por sucessivas adições de camadas de material
<i>Hardware</i>	O conceito engloba todos os dispositivos físicos e equipamentos utilizados no processo de informações.
<i>Projeto aberto</i>	É um modelo de desenvolvimento que promove o licenciamento livre para o design ou esquematização de um produto, e a sua livre comercialização com possibilidade de consulta e modificação do produto fornecido
<i>Software</i>	Sequência de instruções a serem seguidas e/ou executadas, na manipulação, redirecionamento ou modificação de um conjunto de dados.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - AS QUATRO REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS (MD,2019)	31
FIGURA 2 - EVOLUÇÃO DO PIB (BAIROCH, 1982).	32
FIGURA 3 - DOMÍNIO DE MERCADO DURANTE A PRIMEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL (TIMMER, 2012)	33
FIGURA 4 - MÁQUINA HIDRÁULICA DE FIAÇÃO (WIKI,2020)	34
FIGURA 5 - MÁQUINA A VAPOR ALIMENTADA A CARVÃO (WIKI,2020)	34
FIGURA 6 - ROBOTIZAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CARROS (WIKI,2020)	35
FIGURA 7 - PRINCÍPIOS DA INDÚSTRIA 4.0 (THE BOSTON CONSULTING GROUP (BCG) ET AL., 2015)	36
FIGURA 8 - SISTEMA CYBER-FISICO DA INDÚSTRIA 4.0 (HEINER LASI. HANS GEORG KEMPER. PETER FELTKE. THOMAS FELD. MICHAEL HOFFMANN, 2014)	39
FIGURA 9 - I&D COMO FORMA DE INOVAÇÃO (VOIS,2018)	41
FIGURA 10 - TIPOS DE I&D (UN & ASAKAWA, 2015).	41
FIGURA 11 - PERCENTAGEM DE INVESTIMENTO EM I&D POR PAÍS (HERNÁNDEZ ET AL., 2015)	45
FIGURA 12 - EVOLUÇÃO DO INVESTIMENTO EM I&D (SCOREBOARD, 2018)	46
FIGURA 13 - TOP 20 DE INVESTIMENTO EM I&D DAS EMPRESAS (HERNÁNDEZ ET AL., 2015)	46
FIGURA 14 - TIPOLOGIAS DE INOVAÇÃO (VOIS, 2018).	48
FIGURA 15 - COMBINAÇÕES DA INOVAÇÃO (HUIZINGH, 2011).	49
FIGURA 16 - EXEMPLO DE PROCESSO DE CONCEÇÃO E VENDA DE UM PRODUTO (BASMER ET AL., 2015).	51
FIGURA 17 - PRODUÇÃO ABERTA VS OUTRAS TIPOLOGIAS PRODUTIVAS	52
FIGURA 18 - PLACA ARDUINO (ARDUINO,2020)	53
FIGURA 19 - SMARTPHONES MODULARES (PMD,2018)	54
FIGURA 20 - ÍCONE MOZILLA THUNDERBIRD (THUNDERBIRD,2020)	55
FIGURA 21 - IMPRESSORA 3D - CHARLES HULL (TV3DPAM,2015)	60
FIGURA 22 - CUSTOS IMPRESSÃO 3D VERSUS MOLDAÇÃO POR INJEÇÃO (JEREMY, 2017)	64
FIGURA 23 - CICLO DE HYPE DE GARTNER (BAKKER & BUDDE, 2012)	69
FIGURA 24 - CICLO DE ADOÇÃO DA TECNOLOGIA SEGUNDO TEORIA DO ABISMO (GEOFFREY A.MOORE, 1991)	72
FIGURA 25 - CICLO DO ABISMO DA TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D (EY, 2019)	74
FIGURA 26 - ACEITAÇÃO DA TECNOLOGIA COMO PROCESSO NOVO OU ADICIONAL	75
FIGURA 27 - DISTRIBUIÇÃO DOS INVESTIMENTOS NA TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D	76
FIGURA 28 - GRÁFICOS DE EVOLUÇÃO DE VISITANTES E EXPOSITORES NA FORMNEXT	77
FIGURA 29 - TENDÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DA FABRICAÇÃO ADITIVA	78
FIGURA 30 - ESTADO DE UTILIZAÇÃO DE IMPRESSÃO 3D POR PAÍS	79
FIGURA 31 - ESTADO DE UTILIZAÇÃO DE IMPRESSÃO 3D POR RAMO INDUSTRIAL	80
FIGURA 32 - FINALIDADE DA UTILIZAÇÃO DAS IMPRESSORAS 3D POR PARTE DAS EMPRESAS	81
FIGURA 33 - EVOLUÇÃO DO MERCADO DA TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D	82
FIGURA 34 - EVOLUÇÃO DO NÚMERO DE PATENTES (2004-2018) (OMPI, 2019)	84
FIGURA 35 - DISTRIBUIÇÃO DAS PATENTES EM RESIDENTES E NÃO RESIDENTES	85
FIGURA 36 - COMPARAÇÃO PATENTES ENTRE PAÍSES (OMPI, 2019)	85

FIGURA 37 - COMPARAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO PATENTES 2008-2018	86
FIGURA 38 - EVOLUÇÃO DE PATENTES NA FABRICAÇÃO ADITIVA 2007-2018	87
FIGURA 39 - NÚMERO DE PATENTES NA FABRICAÇÃO ADITIVA POR PAÍS	88
FIGURA 40 - DISTRIBUIÇÃO DE PATENTES ENTRES EMPRESAS/INSTITUIÇÕES NA FABRICAÇÃO ADITIVA	89
FIGURA 41 - Nº DE IMPRESSORAS 3D VENDIDAS	92
FIGURA 42 - MERCADO DE IMPRESSORAS 3D EM MILHÕES DE DÓLARES	93
FIGURA 43 - DISTRIBUIÇÃO DO MERCADO PARA IMPRESSORAS DE USO DOMÉSTICO A NÍVEL MUNDIAL (MILHÕES DE DÓLARES)	94
FIGURA 44 - DISTRIBUIÇÃO DOS INVESTIMENTOS EM IMPRESSORAS DE USO DOMÉSTICO A NÍVEL MUNDIAL (%)	95
FIGURA 45 - DISTRIBUIÇÃO DO MERCADO PARA IMPRESSORAS INDUSTRIAIS A NÍVEL MUNDIAL (MILHÕES DE DÓLARES)	96
FIGURA 46 - MUNDIAL DISTRIBUIÇÃO DOS INVESTIMENTOS EM IMPRESSORAS DE USO DOMÉSTICO A NÍVEL MUNDIAL (%)	97
FIGURA 47 - NÚMERO DE IMPRESSÕES, COM RECURSO A IMPRESSORAS INDUSTRIAIS	98
FIGURA 48 - NÚMERO DE IMPRESSÕES, COM RECURSO A IMPRESSORAS DE USO DOMÉSTICO	98
FIGURA 49 - NÚMERO TOTAL DE IMPRESSÕES PELAS DEZ IMPRESSORAS MAIS USADAS EM AMBAS AS VERTENTES	99
FIGURA 50 - DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DE IMPRESSORES POR TIPO DE IMPRESSORA	100
FIGURA 51 - PERCENTAGEM DE VENDAS DE IMPRESSORAS 3D POR TECNOLOGIA ASSOCIADA	100
FIGURA 52 - COMPARAÇÃO DE UTILIZAÇÃO PROFISSIONAL E DE <i>HOBBIE</i>	103
FIGURA 53 - COMPARAÇÃO SOFTWARE GRATUITO VS PAGO (2018-2020)	104
FIGURA 54 - % DE MERCADO DE SOFTWARES CAD	105
FIGURA 55 - NÚMERO DE UTILIZADORES FREECAD (2002 - 2020)	106
FIGURA 56 - NÚMERO ACUMULADO DE UTILIZADORES DO FREECAD (2002-2020)	107
FIGURA 57 - NÚMERO DE UTILIZADORES BRL-CAD (2004 - 2020)	107
FIGURA 58 - NÚMERO ACUMULADO DE UTILIZADORES DO BRL-CAD (2004-2020)	108
FIGURA 59 - NÚMERO DE UTILIZADORES LIBRECAD (2010- 2020)	109
FIGURA 60 - NÚMERO ACUMULADO DE UTILIZADORES DO LIBRECAD(2010-2020)	109

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - EXEMPLOS DE DESAFIOS DO I&D NA INDÚSTRIA 4.0 (MONOSTORI, 2014).	43
TABELA 2 - QUADRO EXPLICATIVO DAS COMBINAÇÕES DA INOVAÇÃO (HUIZINGH, 2011)	49
TABELA 3 - EVOLUÇÃO TRIFÁSICA DA IMPRESSÃO 3D (MATIAS & RAO, 2015).	61
TABELA 4 - RESUMO COMPARATIVO ENTRE IMPRESSÃO 3D E MÉTODOS DE FABRICO TRADICIONAIS	66
TABELA 5 – AS 5 FASES CICLO DE HYPE DE GARTNER	70
TABELA 6 - AS GRANDES FASES DA TEORIA DO ABISMO	72
TABELA 7 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS PATENTES (DE ALMEIDA ET AL., 2011)(COHEN, 2001)(BASBERG, 1987) -	83
TABELA 8 - VALOR DE R^2 POR SOFTWARE	110

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	27
1.1	Enquadramento Geral.....	27
1.2	Objetivos.....	27
1.3	Estrutura da dissertação.....	28
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	31
2.1	Inovação e evolução da indústria.....	31
2.1.1	As quatro grandes revoluções industriais.....	31
2.1.1.1	Primeira e segunda Revolução industrial.....	33
2.1.1.2	Terceira Revolução industrial.....	35
2.1.1.3	Quarta Revolução industrial.....	36
2.2	I&D das empresas.....	40
2.2.1	Visão Global.....	40
2.2.2	Desafios do I&D na indústria 4.0.....	43
2.2.3	Investimento em I&D.....	45
2.3	Open Design.....	48
2.3.1	Inovação Aberta.....	48
2.3.2	Produção aberta.....	50
2.3.3	Vantagens e desvantagens.....	55
2.4	Open design como pilar do I&D das empresas no mundo da Indústria 4.0.....	58
2.5	Fabricação Aditiva.....	59
2.5.1	História, evolução e aplicações.....	59
2.5.2	Impressão 3D vs Métodos de Fabrico Tradicionais.....	62
3	DESENVOLVIMENTO.....	69
3.1	Estrutura económica da fabricação aditiva.....	69
3.2	Fabricação aditiva nas comunidades de projeto aberto.....	83
3.2.1	Patentes na fabricação aditiva.....	83
3.2.2	Projeto Aberto de Hardware.....	92
3.2.3	Software de projeto aberto.....	102
3.3	Análise crítica sobre os projetos abertos em fabricação aditiva.....	111

4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	117
4.1	Conclusões	117
4.2	Proposta de trabalhos futuros.....	118
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO	121
5.1	Artigos em revistas internacionais	121
5.2	Outras fontes de informação	126

INTRODUÇÃO

- 1.1 Enquadramento Geral
- 1.2 Objetivos
- 1.3 Estrutura da dissertação

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento Geral

Este projeto surge no âmbito da dissertação do mestrado, do ramo de Gestão Industrial, do curso de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia do Porto. Como tal para a realização da dissertação, procurar-se-á estudar o desenvolvimento do projeto aberto (open design) na perspetiva da fabricação aditiva.

O projeto aberto é visto por muitos como um fenómeno de mercado, porém atualmente, ainda prevalecem algumas reservas uma vez que, para além de se apresentar como um mercado extenso, ainda não se conseguiu perceber muito bem os seus contornos(Tooze et al., 2014).

Este conceito estabelece-se através do facto de cada empresa que busca a inovação, não o conseguir fazer de forma isolada. Assim, as organizações hoje em dia tem de se envolver, procurar parcerias de forma a desenvolver não só parceiros de negócio, bem como absorver ideias e utilizar recursos de forma a cimentar a sua posição e assim estabelecer-se de forma competitiva no mercado(Huizingh, 2011).

Porém e quando falamos de recursos como os I&D das empresas é necessários perceber a evolução de métodos de fabrico atuais, como a fabricação aditiva quando comparada com métodos já enraizados na indústria e perceber o impacto que as comunidades de projeto aberto poderão ter neste tipo de estruturas e na evolução tecnológica(Scott & Leader, 2017).

Como tal, tentaremos ao longo desta dissertação dissecar de forma mais sucinta estes temas, tentando perceber o alcance deste novo conceito, bem como, as suas vantagens competitivas e desta forma perceber também onde se encontram as suas limitações e fraquezas.

1.2 Objetivos

O principal objetivo desta dissertação passa por tentar encontrar uma relação entre a fabricação aditiva e o projeto aberto e perceber o real impacto de ambos os conceitos na evolução da tecnologia, para tal e para viabilizar tudo isto, houve a necessidade de se definir os seguintes objetivos:

- Analisar e compreender melhor o conceito de projeto aberto com recurso a autores especializados no tema.
- Proporcionar a ligação deste conteúdo a outros já existentes na indústria, promovendo melhorias e assim definir uma melhoria aos conceitos atualmente convencionados.
- Promover a aplicabilidade do conceito de projeto aberto nos centros de custo I&D e da fabricação aditiva, tentando partir do pressuposto comparativo do atual mercado, tentando promover a entrada do projeto aberto ou melhorando sistemas já existentes com utilização híbrida do mesmo.
- Criar uma análise crítica dos resultados obtidos, sugerindo possíveis melhorias futuras, bem como trabalhos futuros que podem ser desenvolvidos nesta área.

1.3 Estrutura da dissertação

Assim e ao longo desta dissertação foi usada uma metodologia de investigação descritiva com recolha de dados por levantamento, que originou a seguinte estrutura:

Introdução: Neste capítulo será apresentado o tema em questão com um breve enquadramento, os objetivos do desenvolvimento do trabalho, a estrutura e os métodos utilizados no projeto.

Revisão Bibliográfica: Este capítulo destina-se à parte teórica, tendo como pressuposto e base livros e artigos publicados, que permitem fundamentar e fornecer os conceitos teóricos necessários para o desenvolvimento do projeto, e assim enquadrar também o leitor.

Desenvolvimento: Esta etapa refere-se à parte prática, onde se tentara promover um estudo do impacto do open design e projeto aberto na fabricação aditiva, utilizando o estudo realizado no capítulo anterior.

Conclusões: Nesta fase, é feita a conclusão dos resultados alcançados e apresentam-se as sugestões para futuras melhorias, bem como possíveis estudos futuros.

Bibliografia: Neste capítulo apresentam-se todas as fontes bibliográficas que permitiram fortalecer o estudo e o conhecimento que formou a base desta dissertação.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 2.1 Inovação e evolução da indústria
- 2.2 I&D das empresas
- 2.3 Open Design
- 2.4 Open design como pilar do I&D das empresas no mundo da Indústria 4.0
- 2.5 Fabricação Aditiva

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Inovação e evolução da indústria

2.1.1 As quatro grandes revoluções industriais

Ao longo da história observamos inúmeras vezes que ocorrem avanços tecnológicos, aos dias de hoje tal fenómeno ocorre quase diariamente, porém e nos últimos três séculos observamos na indústria avanços significativos que mudaram o paradigma da época em que se inseriram e catapultaram a indústria para novos patamares, tendo ficadas caracterizadas como revoluções industriais (Nuvolari, 2019).

De uma forma geral, considera-se que ocorreram quatro revoluções industriais como ilustra a Figura 1.

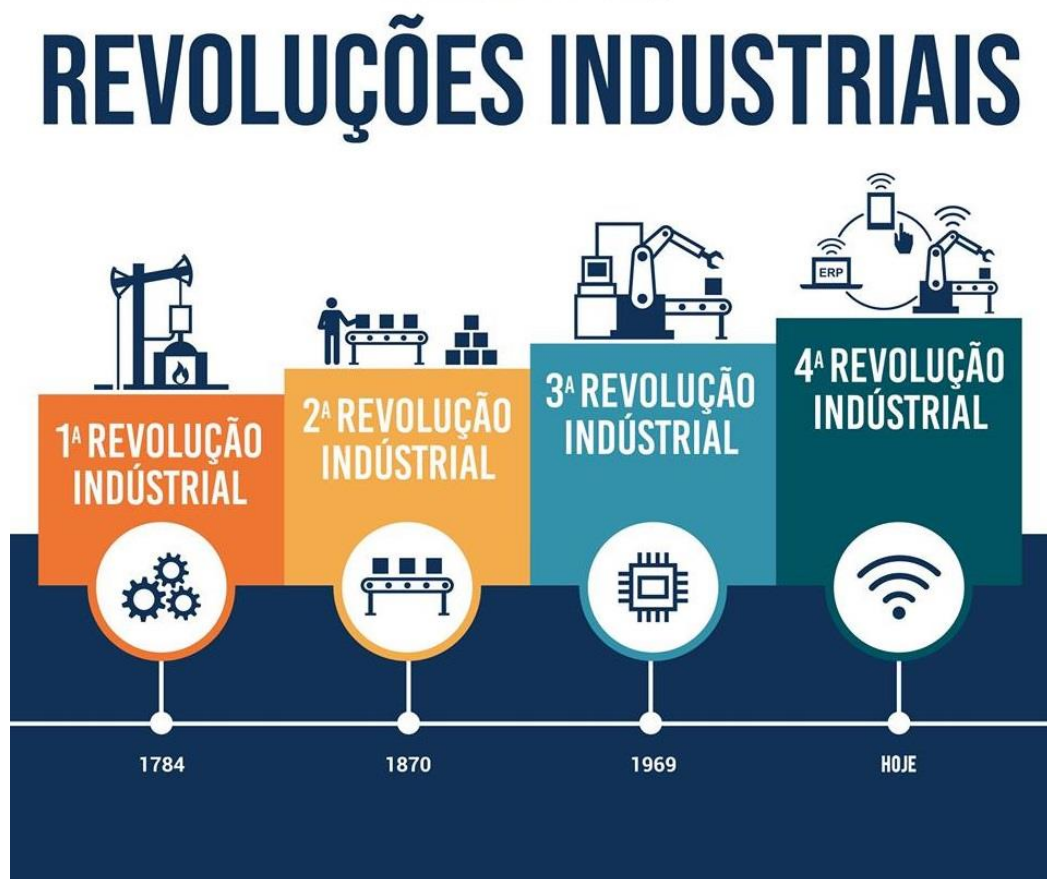


Figura 1 - As quatro revoluções industriais (MD,2019)

Todas as revoluções industriais para além de implicarem uma evolução tecnológica, permitem também uma evolução social e principalmente económica proporcionando desde então uma melhoria das condições de vida das pessoas.

Foi também possível observar o surgimento do PIB, que caracteriza a soma de todos os bens internos de um país, dando a conhecer assim dados que permitem quantificar o seu estado de desenvolvimento (Bairoch, 1982).

Como é possível observar na Figura 2, verificamos que até à primeira revolução industrial o PIB era constante, porém e quando começam a ocorrer as revoluções observamos que este dispara, havendo então países mais ricos e mais desenvolvidos. Porém é de notar também que estas revoluções, vieram demonstrar a diferença de realidades entre países pobres e ricos, onde o grau de desenvolvimento, não é o mesmo ocorrendo por vezes fenómenos de países pelos quais ainda não se atingiram parâmetros e avanços tecnológicos atuais (Bairoch, 1982).

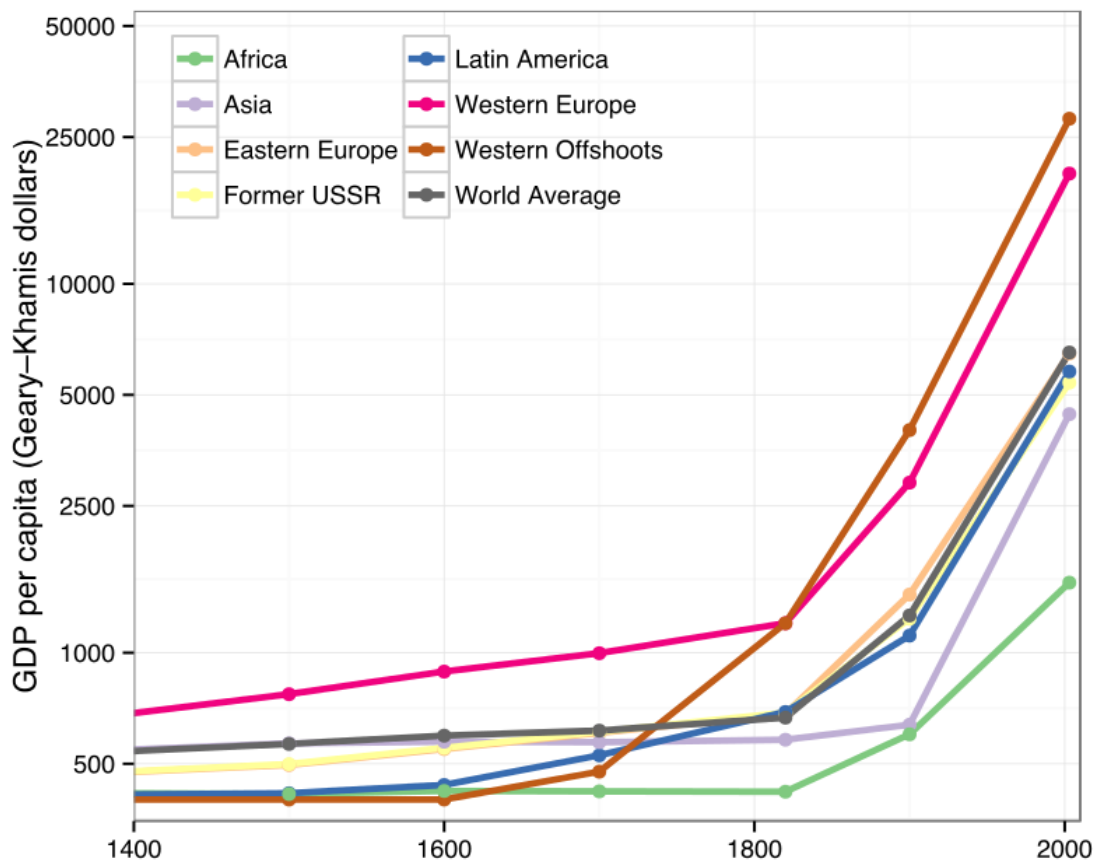


Figura 2 - Evolução do PIB (Bairoch, 1982).

Assim e quando falamos de uma revolução industrial percebemos que está interligada com fatores políticos e económicos, ou seja, estas permitem a evolução ou a estagnação da indústria e influenciam diariamente a estabilidade das pessoas bem como a economia (Antràs & Voth, 2003).

2.1.1.1 Primeira e segunda Revolução industrial

A primeira revolução industrial denominada por Mecanização caracteriza a transição entre o processo de produção manual para uma produção mecanizada, ou seja, onde o operário deixa de produzir integralmente o produto de forma artesanal e passa a controlar e a utilizar as máquinas para as diferentes fases de produção (Trew, 2014).

Esta primeira revolução teve como ponto de partida Grã-Bretanha, tendo depois alastrado a toda a Europa, uma vez que os mercados europeus eram neste período os maiores comerciantes a nível mundial e também porque possuíam terrenos por todo mundo tornando assim mais fácil a sua expansão comercial (Timmer, 2012).

Assim e neste período alguns países conseguiram dominar o mercado como demonstra a Figura 3.

Relative Share of World Manufacturing Output, 1750-1900

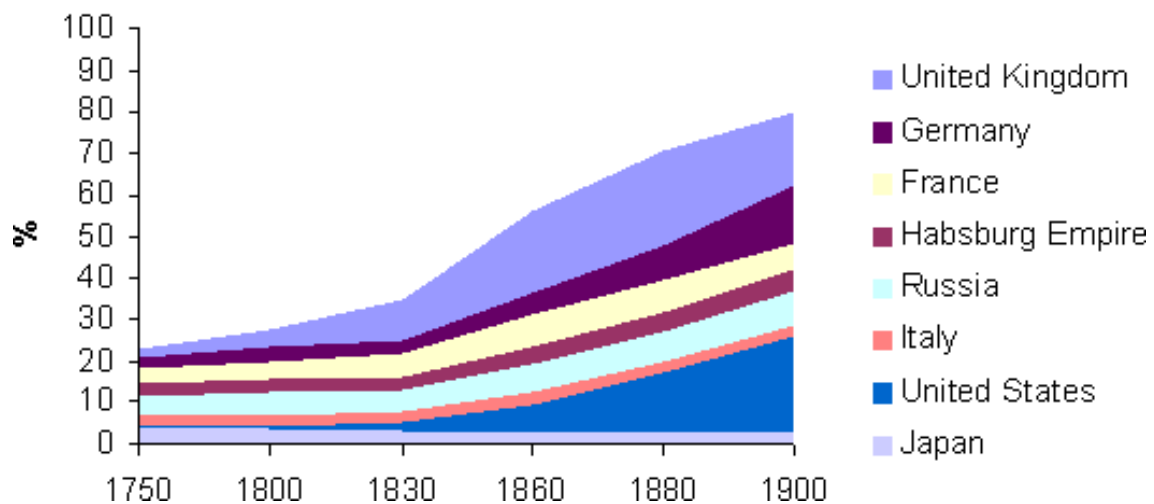


Figura 3 - Domínio de mercado durante a primeira revolução industrial (Timmer, 2012)

Através disto, foram inúmeros os avanços tecnológicos que ocorreram, tais como o surgimento da máquina a vapor, a fição mecanizada na indústria têxtil como ilustram a Figura 4 e a Figura 5.



Figura 5 - Máquina a vapor alimentada a carvão (WIKI,2020)



Figura 4 - Máquina Hidráulica de Fiação (WIKI,2020)

Para além destas duas grandes evoluções destaca-se também a fabricação de ferro e a invenção das máquinas de ferramentas que incluíam a máquina de corte e de fresagem (Bruland & Smith, 2013).

Associado a esta primeira revolução, está o fenómeno do êxodo rural, uma vez que as pessoas começaram a dirigir-se para as urbanizações em busca de trabalho. Surge também nesta altura o conceito de trabalho como hoje conhecemos em que as pessoas oferecem força física e disponibilidade durante o dia de trabalho em função de uma remuneração (Timmer, 2012).

A segunda revolução industrial surge com grande desenvolvimento na indústria química, elétrica, petrolífera e metalúrgica e ficou denominada pela eletrização da indústria. Considera-se que esta segunda revolução ocorre e tem por base, o aperfeiçoamento das tecnológicas da primeira revolução (Ravasoo, 2014).

O grande indicador desta revolução e que permite a indústria adquirir novos contornos prende-se com as invenções tecnológicas como o motor de combustão interna, prensa móvel, telefone, rádio, lâmpada elétrica, entre outros (Ravasoo, 2014).

Nesta fase, surgem as primeiras linhas de montagem que permitem revolucionar a indústria do ponto de vista de maior cadência de produção e redução de custos, uma vez que algum trabalho passa a ser simplificado pelo uso de maquinaria (Halton, 1982).

Ao invés da primeira revolução, nesta fase o consumo de carvão mineral passa para um segundo plano com a utilização do gás e petróleo como combustíveis principais para gerar a energia. Uma vez que o petróleo confere um ganho de potência elevado às máquinas, este passou a ser utilizado aumentando assim a eficiência na produção industrial (Halton, 1982).

2.1.1.2 Terceira Revolução industrial

A terceira revolução industrial, ou Revolução digital, foi liderada pelos Estados Unidos da América que ganham grande preponderância como potência económica nesta fase (Rifkin, 2012).

Nesta terceira revolução, começa a surgir a necessidade de se reduzir o uso de fontes de energia poluidoras, surgindo assim a importância da produção de energia eólica e hídrica, uma vez, que são formas de produção de energia mais limpas (Andreas, 2009).

Também na indústria, ocorreu uma grande evolução tecnológica onde a força humana começa a ser substituída por máquinas robóticas automatizadas e computadores, como podemos observar na Figura 6, tornando assim, o processo mais barato e eficiente. Desta evolução surge, no entanto, um aumento do desemprego a nível mundial. Aliado a tudo isto e devido à crescente evolução e facilidade de mobilidade entre países, começam a ser fabricados produtos, com peças provenientes de todas as partes do mundo (Rifkin, 2012).



Figura 6 - Robotização do processo de produção de carros (WIKI,2020)

Para além de todas estas evoluções destaca-se também a evolução dos computadores e softwares, bem como satélites de comunicação que revolucionam por completo os sistemas de informação e comunicação, passando a estar tudo apenas à distância de um clique (Andreas, 2009).

2.1.1.3 Quarta Revolução industrial

A quarta Revolução industrial é denominada de Indústria 4.0, e é uma inovação além que assumiu uma grande preponderância na produção industrial, revolucionando assim tudo aquilo que era feito, iniciando assim uma quarta revolução industrial (Kurt, 2019).

A revolução industrial imposta pela indústria 4.0 assenta segundo alguns autores em 9 pilares, como podemos ver na Figura 7, que conjugados tornam esta inovação única e com capacidade de modificar a indústria, fazendo-a evoluir (Snudden, 2019).



Figura 7 - Princípios da Indústria 4.0 (The Boston Consulting Group (BCG) et al., 2015)

Informações e análises

Atualmente as empresas recolhem um grande conjunto de informações que permite uma otimização da qualidade de produção, uma vez que nos permite, através da abrangência dos dados dos mais variados equipamentos, assim como do processo de produção corrigir falhas, encontrar defeitos de uma forma mais perspicaz, economizando assim energia e recursos (The Boston Consulting Group (BCG) et al., 2015).

Robôs autónomos

Os robôs já são uma realidade na indústria, desde a terceira revolução industrial, uma vez que conseguem simplificar tarefas, que para os humanos são complexas e arriscadas, tentando também minimizar acidentes de trabalho e lesões laborais (Heiner Lasi. Hans Georg Kemper. Peter Feltke. Thomas Feld. Michael Hoffmann, 2014).

Porém, o mundo da robótica está em constante evolução, caminhando para se tornarem cada vez mais autónomos, com grande flexibilidade, adaptando-se assim às mudanças do processo produtivo. Assim e através desta evolução será possível a mão de obra humana trabalhar lado a lado com os robôs, transmitindo o Know-how e executando de uma forma mais barata, e com maior qualidade (The Boston Consulting Group (BCG) et al., 2015).

Simulação

No âmbito da engenharia de conceção de produto, as simulações 3D já usadas atualmente, irão obter maior preponderância, a partir do momento em que começarem a ser utilizadas em tempo real, ou seja, espelhar no mundo físico e real os dados recolhidos no mundo virtual (Syam & Sharma, 2018).

Através dessa recolha de dados será possível, quase instantaneamente, testar novas configurações de forma virtual, tendo em conta os dados do mundo real e assim diminuir os tempos necessários para a evolução das configurações de produção de um produto, bem como aumentar a qualidade de produção (The Boston Consulting Group (BCG) et al., 2015).

Sistemas de integração

A maioria das empresas na indústria, não estão totalmente integradas, uma vez que raramente há uma ligação entre os fornecedores e clientes, entre os departamentos e o chão de fábrica. Assim o objetivo é fazer com que as empresas se tornem mais coesas e as funções e as capacidades da mesma sejam visíveis a todos através da integração dos dados, automatizando assim também estas informações. Tudo isto pode ser possível através da criação de sistemas de redes que contém informação privada e partilhada apenas entre os demais *stakeholders* (The Boston Consulting Group (BCG) et al., 2015).

Interconexão digital

Nos dias atuais, ainda não há uma interligação total entre os sensores, máquinas e outros dispositivos de análise de dados. De facto, este conceito permite fazer uma ligação entre os mais variados objetos físicos e o mundo virtual (Virat, Bindu, Aishwarya, Dhanush, & Kounte, 2018).

Através deste conceito por exemplo na indústria farmacêutica será possível ao utente conseguir localizar logo onde há o medicamento que procura, ao invés do tradicional método de se descolar a uma farmácia na esperança de que ela tenha o que necessita. Assim e através deste pilar será possível codificar tudo aquilo que nos rodeia e assim globalizar o conhecimento e o acesso a ele (Baines, Nørgaard, Babar, & Rossing, 2019).

Cibersegurança

Quando o objetivo passa por promover uma integração total nas empresas, toda a rede de informação tem de estar protegida. Uma vez que esta rede de informação contém dados do sistema industrial, bem como linhas de produção e as suas especificidades, é necessário proteger ao máximo toda esta informação de forma a que os concorrentes não a usem, perdendo assim a vantagem competitiva. Esta proteção pode ser conseguida através de um sistema que gere a identidade e acesso dos diferentes usuários à informação, tornando assim o sistema restrito e ao alcance apenas de quem o deve realmente usar (Heiner Lasi. Hans Georg Kemper. Peter Feltke. Thomas Feld. Michael Hoffmann, 2014).

Nuvem de armazenamento

Para ser possível obter um sistema integrado é necessário recorrer a uma nuvem de informação onde se partilha todas as informações. Assim será possível partilhar toda a informação e aceder a ela em milissegundos, facilitando assim o uso dos dados na melhoria dos processos (Plaga et al., 2019).

Fabricação aditiva

Uma das bases da indústria 4.0 é adotar a fabricação aditiva, como por exemplo, a impressão 3D para produzir pequenos lotes de produtos que permitirão em alguns casos reduzir as distâncias de transporte e o custo de posse de stock através da descentralização da produção procurando ter vários centros de fabricação aditiva (Heiner Lasi. Hans Georg Kemper. Peter Feltke. Thomas Feld. Michael Hoffmann, 2014).

Por exemplo a indústria aeronáutica olha para esta alternativa como uma fonte de diminuição dos gastos uma vez que produzirá as aeronaves com menor peso estrutural, reduzindo assim os custos de titânio utilizado (The Boston Consulting Group (BCG) et al., 2015).

Realidade aumentada

Os sistemas de realidade aumentada, suportam uma variedade de serviços e pode ser consultado através de dispositivos moveis. Com o evoluir desta tecnologia será possível no futuro tomar decisões em tempo real em função das informações fornecidas, bem como procedimentos para o trabalho a realizar. Isto pode ser conseguido por exemplo através de dispositivos como óculos de realidade aumentada, que conterà a informação que necessita no seu campo de visão (Heiner Lasi. Hans Georg Kemper. Peter Feltke. Thomas Feld. Michael Hoffmann, 2014).

Outra Forma de promover esta realidade virtual tem sido por exemplo o caso da Siemens que promove um treino virtual do operador em softwares que simulam o contexto de trabalho e tomadas de decisão sob pressão e emergências. Através desta realidade virtual será possível interagir e conhecer as especificidades da máquina bem como aceder a dados relativos e planos de manutenção (The Boston Consulting Group (BCG) et al., 2015).

Através destes pilares a indústria 4.0 tenta congregiar tudo aquilo que rodeia uma empresa quer externamente quer internamente, como representa a Figura 8.

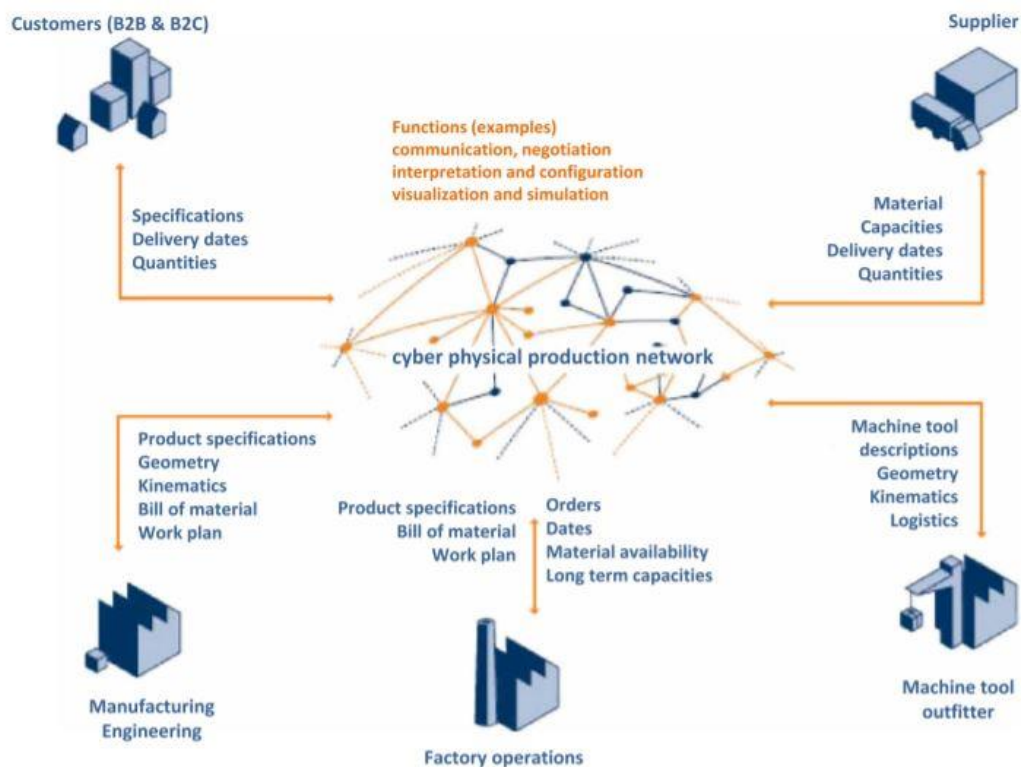


Figura 8 - Sistema cyber-físico da indústria 4.0 (Heiner Lasi. Hans Georg Kemper. Peter Feltke. Thomas Feld. Michael Hoffmann, 2014)

Em suma, podemos concluir que os conceitos associados à indústria 4.0 promovem uma revolução no sistema produtivo através de recursos tecnológicos. A evolução destes sistemas poderá permitir agregar de funções de planeamento, desenvolvimento, modelagem, conceção e manutenção num sistema de informação altamente dinâmico e versátil que levará as empresas a outro nível de competitividade (Heiner Lasi. Hans Georg Kemper. Peter Feltke. Thomas Feld. Michael Hoffmann, 2014).

2.2 I&D das empresas

2.2.1 Visão Global

A indústria a cada dia que passa, tem uma maior capacidade de competir de forma mais rápida e eficaz às constantes evoluções presentes no mercado. Porém nem sempre foi possível tal rapidez e resposta à evolução. Ao longo dos anos os e a partir de um dado momento começou-se a acreditar e estabelecer como padrão de melhoria continua, o facto de a inovação ser um dos princípios base da indústria. Como tal empresas desenvolveram mecanismos e ideologias que sustentassem esse princípio e que permitisse assim, que fosse possível aproveitar toda a capacidade que a inovação tecnológica oferece. Assim, surgiu o I&D, *Investigação e desenvolvimento*, que era visto como uma fonte de despesa, rapidamente se percebeu que era errada essa visão, uma vez que apesar de toda essa despesa este conceito quando corretamente aplicada e por profissionais especializados identifica e ajuda as empresas a compreender onde se localizam os seus ganhos, bem como a promover e melhorar o seu produto (Eisenbeiß & Boerner, 2010).

A inovação e o I&D interligam-se pelo facto de para qualquer tipo de inovação que ocorra num processo ou produto, apenas ocorre aliado a uma pesquisa forte, à criação de soluções, e aplicação de medidas de desenvolvimento que assentam nestes pressupostos. Porém o I&D de uma empresa pode surgir através da criação de um departamento com essas funções com mão de obra altamente especializada, ou então através da subcontratação desse serviço de I&D a empresas externas (Mansfield, 1984).

Porém sempre que falamos em inovação e I&D, temos de referir que o conceito de inovação engloba o I&D, ou seja, o I&D e apenas um dos métodos que permite que ocorra a inovação, como sugere a Figura 9, uma vez que a grande vantagem competitiva de uma empresa obtida pelo I&D, apenas surte sucesso na primeira fase da difusão da inovação, uma vez que após essa fase muitas empresas concorrentes conseguem replicar e assim almejar melhorias (Shefer & Frenkel, 2005).



Figura 9 - I&D como forma de inovação (VOIS,2018)

Maioria das vezes, quando falamos de I&D associamos muitas vezes a um departamento criado nas empresas que tem por missão desenvolver e melhorar um determinado produto, porém nem sempre é isso que observamos, ou seja, o I&D pode se apresentar ao serviço de uma empresa com diferentes missões e principalmente sem funcionar como um serviço local sediado na empresa (Raymond & St-Pierre, 2010).

O I&D numa empresa pode ser interno ou externo, ou seja, subcontratado a outros ou então com um departamento local chefiado pela empresa e não por entidades externas. Porém e apesar desta divisão há quatro formatos de colaboração mais usais no I&D que podem representar inovação como nos apresenta a Figura 10 (Raymond & St-Pierre, 2010).

Contextual Knowledge Distance Relative to the Focal Firm	Position in Knowledge Chain Relative to the Focal Firm	
	Upstream	Downstream
Close	R&D collaboration with suppliers	R&D collaboration with competitors
Far	R&D collaboration with universities	R&D collaboration with customers

Figura 10 - Tipos de I&D (Un & Asakawa, 2015).

Na primeira coluna da Figura 10, observamos a distância entre o conhecimento e desenvolvimento em relação à empresa mãe. A distância subdivide se em perto e longe.

I&D colaboração com fornecedores

Esta parceria dos quatros formatos aqui descritos é potencialmente a melhor uma vez que existe uma maior proximidade e conhecimento dos fornecedores em relação ao contexto da empresa. Os fornecedores atualmente são considerados parceiros muito importantes da empresa e as suas relações passaram a ser de longo prazo de forma a promover o entrosamento entre a empresa e fornecedores. Esta relação desenvolve-se mais quando o fornecedor entrega peças não padronizadas, uma vez que é necessário envolver-se no processo produtivo, estudá-lo e analisá-lo juntamente com a empresa e

assim promover melhorias e inovações. Quanto maior for o grau de conhecimento e ligação entre ambos, será possível não só satisfazer as necessidades da empresa promovendo a inovação e o melhoramento do que é fornecido, bem como da estabilidade que permitirão encontrar melhores contrapartidas para o fornecedor (Un & Asakawa, 2015).

I&D colaboração com competidores

A parceria entre competidores não se estabelece de uma forma efetiva, uma vez que poucos são os casos em que a informação sobre processos e inovações são disponibilizadas de forma pública, ocorrendo mais atualmente esse estudo por parte dos competidores através de engenharia de produto e tentando reverter o processo construtivo e assim perceber onde se encontra a inovação e otimização de um produto. Porém, e em certos casos, como por exemplo a Toyota, algumas das suas filosofias de inovação são disponibilizadas a todos, quer sejam competidores ou não. É exatamente neste ponto que se estabelece a parceria, a partir do momento em que os competidores analisam essas informações e tem a capacidade e recetividade de as aceitar e perceber, essencialmente onde podem tirar vantagem competitiva ao adaptar o que de melhor acreditam que há nessas informações ao seu processo. Por vezes, surge a ideia de que a competitividade se estabelece somente, na base do segredo das informações porém quando tal não acontece, estabelecesse uma melhoria em perspectiva para todos, não só para quem fornece essas informações e irá ter a oportunidade de outras pessoas olhar o processo de fora e sugerir possíveis melhorias, bem como no caso de quem acede as informações utilizá-las para sua própria melhoria (Un & Asakawa, 2015).

I&D colaboração com universidades

Este tipo de envolvimento com as universidades é interessante porque promove uma basta ligação a diferentes áreas e assim, a uma ampla gama de conhecimentos. Porém, quando pensamos neste tipo de associação, rapidamente percebemos que o contexto universitário limita de certa forma a evolução uma vez que não estão inseridos na dinâmica e no contexto da empresa, e uma vez que o principal objetivo das universidades passa por transmitir conhecimentos de uma determinada área e não o satisfazer de objetivos de uma determinada empresa. Assim este tipo de I&D assume-se como uma alternativa menos eficaz e viável uma vez que o conhecimento e o contexto necessários nem sempre estão focalizados com o que a empresa pretende (Un & Asakawa, 2015).

I&D colaboração com clientes

Os clientes são também eles uma importante parceria de desenvolvimento, em alguns casos uma vez que nem sempre o conhecimento do produto existe, havendo apenas o conhecimento do funcionamento do mesmo e não do seu processo produtivo.

Porém, um cliente olha para a ótica de um produto e apenas sugere melhorias funcionais, ou seja, os clientes são fulcrais nesta parceria para o desenvolvimento do produto e não para melhoramento do processo, uma vez que em geral o desconhecem. Assim os clientes assumem-se como uma das mais importantes parcerias para desenvolvimento e inovação do produto (Un & Asakawa, 2015).

Assim e de uma forma geral, o I&D pode-se estabelecer de diversas formas, uma vez que a melhoria e desenvolvimento do produto e processo ocorrem devido a vários fatores, onde a opinião de várias áreas é essencial para o desenvolvimento (Un & Asakawa, 2015).

2.2.2 Desafios do I&D na indústria 4.0

O I&D apesar de ser atual tem alguns desafios pela frente de forma a enquadrar-se da forma mais correta na indústria 4.0, desafios esses que estão ilustrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Exemplos de Desafios do I&D na indústria 4.0 (Monostori, 2014).

Desafios	Contextualização
Adaptação contextual	Quando surge uma revolução industrial existe um conjunto de conceitos que surge e se forma que tem de ser adaptados muitas das vezes à realidade empresarial, por isso e aliado a tudo isto há muitas informações relativas a desenvolvimentos que devem ser anexados e guardados numa base de dados disponível a todos onde é possível ser exposto diferentes visões e desenvolvimentos por cada pessoa que acede. Este sistema apesar de já estar presente em muitas empresas necessita de ser melhorado e ao mesmo tempo protegido, uma vez que contem informações importantes. Esta base de dados permite assim globalizar a informação dentro da empresa, e assim evitar que muitas das vezes o trabalho seja duplicado por falta de informação relativa ao desenvolvimento de outros anteriormente.

Sistemas produção cooperativos	Um dos desafios do I&D passa por tentar criar um algoritmo de apoio à decisão capaz aliar os brainstormings humanos, e decisões irrefletidas que daí advém, cada vez menos passíveis de ocorrer. Esta evolução seria fundamental uma vez que as relações humanas muitas vezes afetam as tomadas de decisão prejudicando o decorrer das ações futuras e que muitas vezes condicionam o bom funcionamento numa empresa. Esta ferramenta seria útil também para retirar pressão e desresponsabilizar quem toma as decisões atualmente e que muitas das vezes, vê uma má decisão perpetuar se e nunca se dissipar do ambiente industrial.
Identificação e previsão de sistemas dinâmicos	Alargar as ferramentas de identificação e previsão disponíveis, desenvolvendo assim novos métodos que permitam ser alterados em função de suposições suaves do sistema dinâmico. Tornar também estes métodos preditivos mais reais, onde as bases de suposição não acarretam um grande peso na decisão, mas sim, serem considerados apenas como mais uma suposição que condiciona a previsão.
Programação e calendarização rígida	Devem ser canalizados esforços para desenvolver e melhorar o cronograma de execução de tarefas, de forma a tornar estes mais precisos e reduzir os distúrbios inerentes à produção. Aliado a tudo isto a precisão destas ferramentas permite também que haja uma melhor orçamentação de produtos, uma vez que quanto mais preciso e rigoroso esta calendarização se desenvolver, os custos são minimizados e por sua vez aumenta-se os índices de maximização do lucro inerente ao processo produtivo.
Fusão dos sistemas reais e virtuais	Desenvolver novas estruturas capazes de sustentar a fusão dos sistemas reais e virtuais, tendo como base o objetivo de se alcançar um sistema de produção inteligente robusto capaz de se adaptar as mudanças e a ambientes industriais diferentes. Aliado a tudo isto desenvolver ferramentas capazes de tornar o chão de fábrica cada vez mais eficiente e capaz de lidar com imprevistos naturais que um sistema produtivo está sujeito, como por exemplo, rutura de stock, falta de mão de obra, entre outros.

Simbiose de humanos e robôs

Criação de sistemas que permitirá a fusão do trabalho humano e robotizado como um só, sem dano para o humano. Desenvolvimento de algoritmo que se estabelece de forma sensorial ao longo do processo, e que consegue compensar certas dinâmicas humanas em ambiente real. Esta simbiose é uma questão necessária de ser automatizada porque cria uma panóplia de opções novas na indústria proporcionando uma grande evolução nos atuais sistemas produtivos.

Todos estes desafios são apenas um esboço de alguns dos desafios que se impõe aos I&D da industria, muitos deles impulsionados por toda esta inovação que advém da industria 4.0 e que estão a tornar possível se alargar horizontes, e assim, ir em busca de soluções cada vez mais eficientes que reduzam os desperdícios (Oesterreich & Teuteberg, 2016).

2.2.3 Investimento em I&D

O I&D apesar de traduzir em avanço tecnológico, acarreta muitas vezes um custo elevado, não só pela mão de obra qualificada que necessita bem como pelo suporte financeiro necessário para o desenvolvimento tecnológico (Lewis & Tan, 2016).

Porém e de forma a tornar tudo isto mais factual podemos ver através da Figura 11, o investimento a nível mundial no I&D.

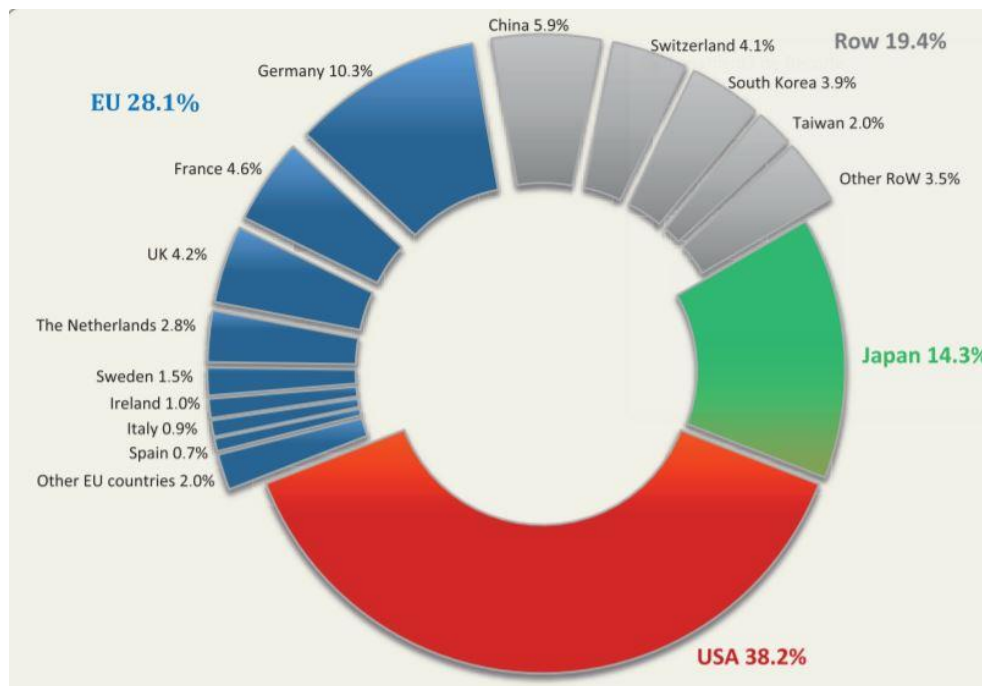


Figura 11 - Percentagem de investimento em I&D por país (Hernández et al., 2015)

Podemos observar então que existe uma diferença enorme de investimento do Estados Unidos da América para os restantes países, onde o continente europeu não consegue ultrapassar o poderio dos americanos (Hernández et al., 2015).

Porém quando comparado estes resultados de 2015 com o gráfico da Figura 12, podemos afirmar que houve um grande crescimento por parte da Europa ultrapassando os Estados Unidos da América no investimento em I&D, porém e como é possível observar a China que tem surgido como futura maior potencia mundial prevê um crescimento de 20% ano de investimento I&D prometendo assim balancear a distribuições destas percentagens entre Europa, USA e China (Scoreboard, 2018).

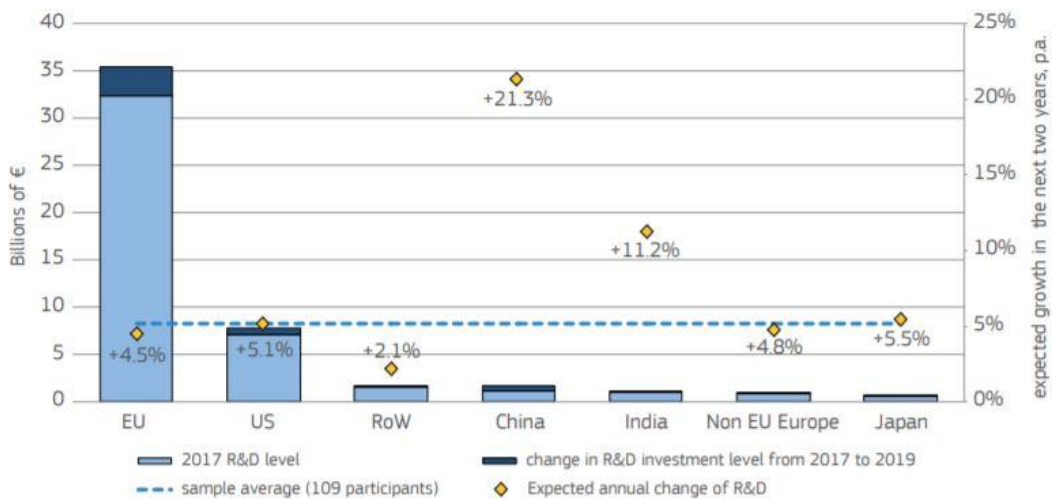


Figura 12 - Evolução do investimento em I&D (Scoreboard, 2018)

No capítulo das empresas, existem empresas que tem investimentos avultados no desenvolvimento, estando esse dinheiro investido maioritariamente nas empresas automobilísticas como podemos observar na Figura 13 (Hernández et al., 2015).

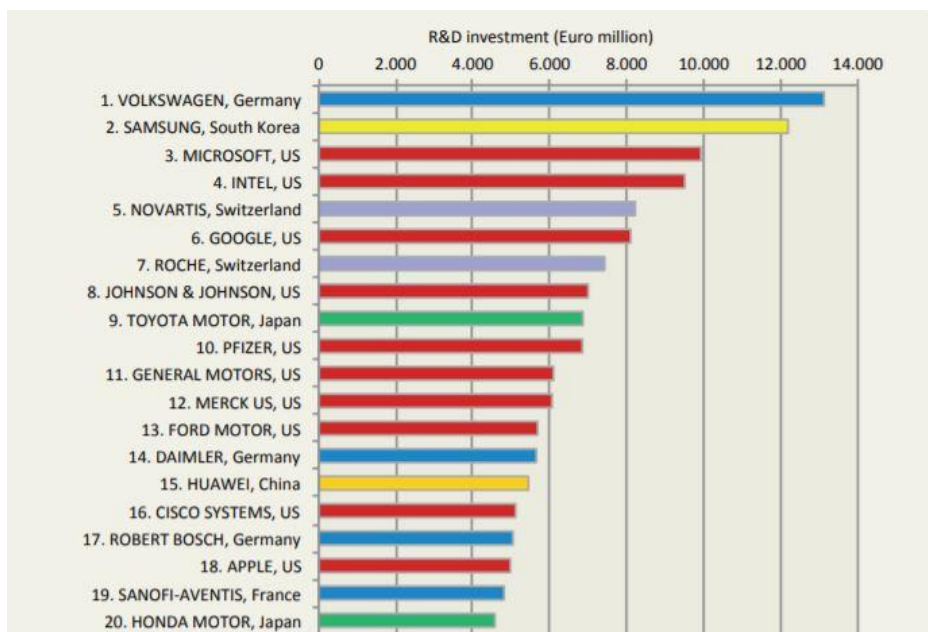


Figura 13 - Top 20 de investimento em I&D das empresas (Hernández et al., 2015)

Assim e de uma forma simplificada podemos concluir que o investimento em I&D tende a evoluir e a ser cada vez maior em todas as regiões do mundo, surgindo cada vez mais a necessidade de diferentes empresas dos vários países se adaptarem a esta realidade uma vez que só assim se conseguem afirmar no mercado industrial altamente competitivo (Hernández et al., 2015).

2.3 Open Design

2.3.1 Inovação Aberta

A inovação tal como a conhecemos é um conceito já formado, que, porém, nos surpreende diariamente uma vez que é utilizada em diferentes áreas e traduz de uma forma geral uma evolução interessante. Porém, atualmente muitos artigos referem a divisão do conceito de inovação em inovação aberta e inovação fechada, como nos apresenta a Figura 14 (Marques, 2014).

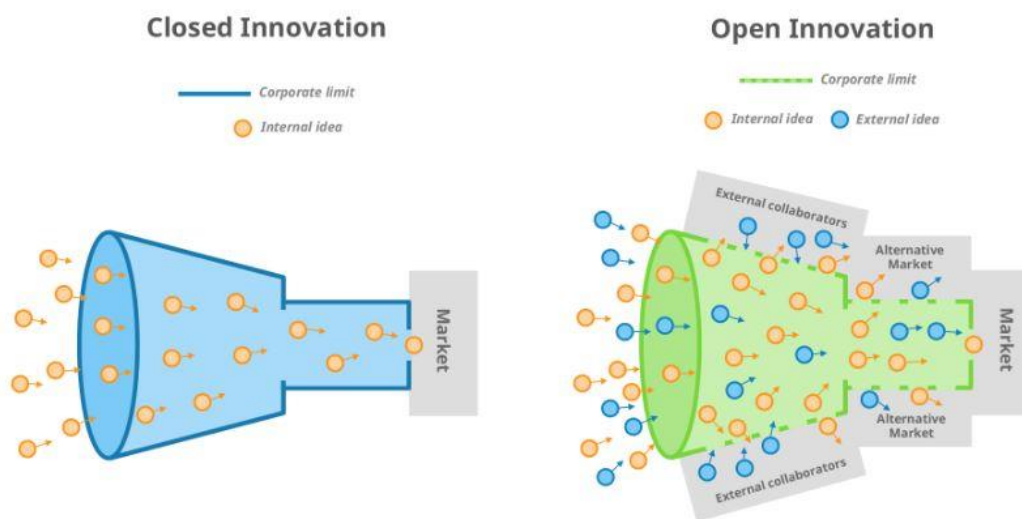


Figura 14 - Tipologias de inovação (VOIS, 2018).

Quando falamos de inovação fechada, falamos de forma indireta de uma indústria com características mais tradicionais, isto é, uma indústria que se baseia na ideia de que o conhecimento interno é promotor de novos conhecimentos através da evolução interna que gera novos negócios. As informações são retidas nos limites da empresa e nunca são divulgadas com terceiros (Almirall & Casadesus-Masanell, 2010).

Como observamos à esquerda da Figura 14, o funil delimitado por paredes bem definidas demonstram um processo de desenvolvimento fechado, porém seguro, uma vez que a informação se encontra retida (Saebi & Foss, 2015).

Por sua vez quando falamos em inovação aberta referimo-nos à entrada e saída de conhecimento, de certa forma intencional para acelerar o processo de evolução e inovação interno. Porém este conceito difere muito pouco do conceito original de inovação, sendo apenas uma grande mudança de mentalidade, onde se está disponível para receber e dar informação, ao invés de bloquear o conhecimento e guardá-lo apenas a quem detém a informação e que muitas das vezes não consegue progredir por falta dessa partilha (Greco, Locatelli, & Lisi, 2017).

Na figura 15 à direita, podemos ver a imagem associada a esta inovação aberta, onde abandonamos o funil da inovação fechada e passamos a um sistema híbrido edificado por uma peneira, que traduz a passagem de informação relevante do exterior para o contexto da empresa. Porém é de realçar que este sistema híbrido traduz um sistema balanceado em que se denota claramente que nem todas as informações podem ser partilhas com o exterior, mas onde a entrada de conhecimento externo é fonte negocial para a indústria (Huizingh, 2011).

Assim, este conceito tem se estabelecido como um vantagem competitiva para todas as partes que usufruem diretamente dela, traduzindo-se em ganhos quer a nível de conhecimento, mas essencialmente no crescimento do mercado em que se inserem (Ibrahimov, 2018).

Porém quando falamos de inovação podemos também estabelecer combinações entre aquilo que é o nosso processo de inovação e a informação do exterior em função da sua abertura ou não no contexto em que se encontram como representa a Figura 15 (Huizingh, 2011).

Innovation Process:	Innovation Outcome:	
	Closed	Open
Closed	1. Closed innovation	3. Public Innovation
Open	2. Private Open Innovation	4. Open Source Innovation

Figura 15 - Combinações da inovação (Huizingh, 2011).

Assim, como podemos observar na Figura 15 é possível estabelecer 4 combinações através destes pressupostos como nos indica de forma mais resumida a Tabela 2:

Tabela 2 - Quadro explicativo das combinações da inovação (Huizingh, 2011)

1 ^o Combinação	Típica indústria tradicional onde não há espaço à partilha de conhecimentos e informações com exterior. Também a base da pirâmide de uma empresa desconhece tais informações ficando essas centralizadas nos gestores de topo, que gerem e procuram criar inovação através da pesquisa interna, sem feedback da comunidade, fornecedores e clientes.
------------------------------	--

2º Combinação	Nesta combinação percebemos que apesar de haver uma partilha de informação exterior, que se constitui como peça fundamental para a inovação, todos os resultados alcançados ou melhorias não são partilhadas no sentido inverso. Nesta opção acabasse por tentar o melhor de dois mundos, não sendo por isso o método mais interessante, uma vez que única e exclusivamente se serve da abertura do mercado para obter melhorias.
3º Combinação	Nesta combinação apesar do resultado estar disponível ao público em geral o processo de obtenção dessa mesma inovação não é divulgado, ficando assim retida toda a informação relativa ao conceber de um produto, estratégia ou filosofia desenvolvida.
4º Combinação	Solução que tende para a globalização pretendida pela indústria 4.0. Neste caso toda a informação está disponível e de fácil acesso a quem desejar contribuir para a melhoria e assim, tornar a empresa uma fonte de recolha de ideias e medidas concretas por parte de quem esta de fora da empresa, tais como clientes, fornecedores, entre outros.

Assim podemos perceber que apesar de a inovação representar sempre uma descoberta ou melhoria, ela pode ser obtida de formas diferentes, sendo todas elas validas porém com diferentes graus de facilidade e velocidade (Rauter, Globocnik, Perl-Vorbach, & Baumgartner, 2019).

2.3.2 Produção aberta

A produção de um produto atualmente é apenas uma pequena parte de um processo de inovação, como demonstra a Figura 16, uma vez que este espelha apenas a concretização de um trabalho e estudo intensivo na sua obtenção. Assim e na indústria moderna um produto passa cada vez mais por muitas e variadas etapas no processo de desenvolvimento, processo esse que é realizado em ambiente virtual (como por exemplo: simulações, ensaios, etc)(Rauter et al., 2019).

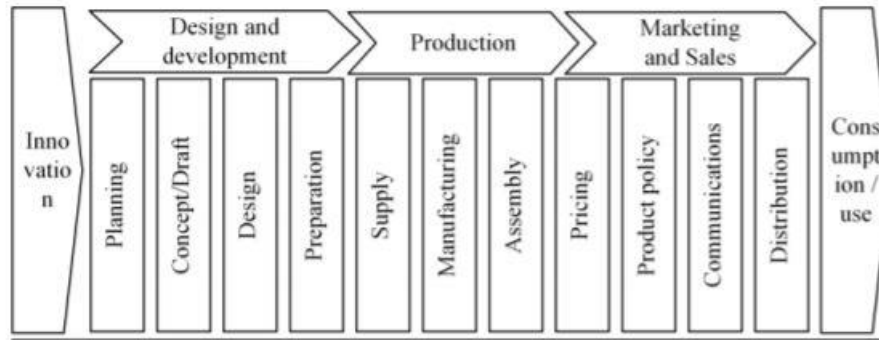


Figura 16 - Exemplo de Processo de concepção e venda de um produto (Basmer et al., 2015).

Cada vez que o produto avança uma etapa na sua cadeia de desenvolvimento, está a ocorrer a criação de valor de forma virtual e independente da localização onde é gerado, uma vez que surge através de um processo cooperativo e descentralizado, acessível por todos os envolvidos através de base dados na rede (Basmer et al., 2015).

Apesar de ainda ser um conceito recente, a inovação aberta apresenta-se como um novo paradigma de gestão, uma vez que as implementações desta inovação aberta ao ambiente industrial podem surgir múltiplas vantagens. Quando associamos este conceito a um sistema produtivo surge a produção aberta (Castro, Putnik, Castro, & Bosco Fontana, 2019).

Quando falamos de produção aberta estabelecemos um sistema produtivo que tem por base a partilha, colaboração em projetos de desenvolvimento de um produto com recurso a tecnologias diversas (Bhargava, 2018).

Assim, cada vez mais esta implementação permite nos abandonar a diretiva da concepção de um produto, que se estabelece pelo desenho, produção e por fim distribuição, passando a haver um contacto maior entre quem desenvolve (designers) e o consumidor que acima de tudo conhece o produto e sabe as suas lacunas que muitas das vezes os designers desconhecem (Troxler & Wolf, 2017).

Este tipo de produção aberta, apesar de ser um conceito inovador e diferenciado, não se aplica a todo o tipo de negócio uma vez que há outras filosofias mais indicadas em certos momentos. Por exemplo quando falamos de uma produção de um produto standard e em grandes quantidades, esta filosofia não se enquadram tão bem, uma vez que a produção em massa oferece claramente maior cadência e eficácia de produção. Por sua vez, quando falamos na produção de produtos diferenciados e em que o cliente pretende a concepção do mesmo há imagem e semelhança da sua liberdade criativa, a aplicabilidade da filosofia da produção aberta é a mais correta, como nos sugere a Figura 17 (Uhlemann, Costa, & Charpentier, 2020).

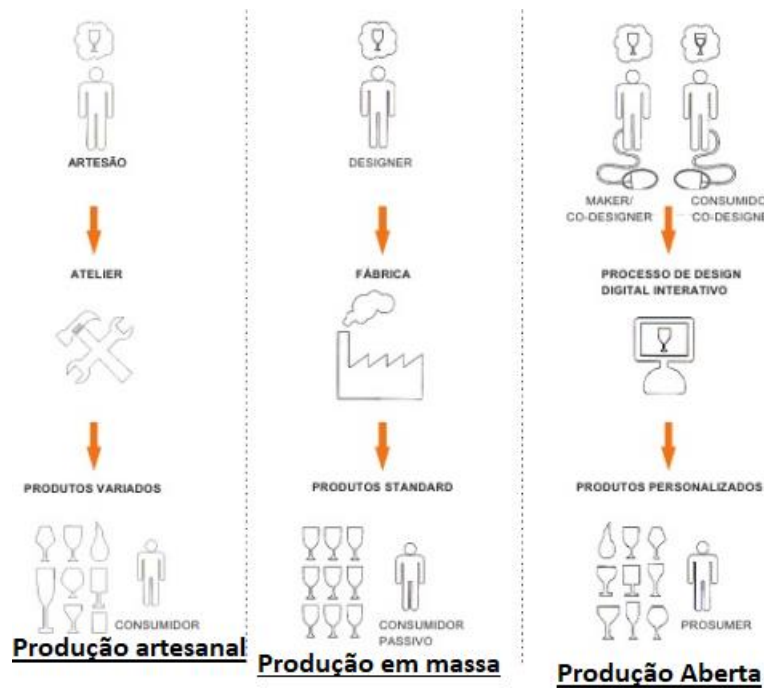


Figura 17 - Produção aberta vs outras tipologias produtivas

Assim quando falamos de produção aberta, e mais concretamente do conceito de abertura, este remete-nos para conceção de um produto com recurso a softwares de vários tipos tendo sempre como fundamento a partilha de informações entre consumidor e criador (Uhlemann et al., 2020).

Podemos também definir algumas tipologias de projeto aberto que se adequam a um sistema produtivo, tais como o projeto aberto de software e o projeto aberto de hardware.

Quando falamos de projeto aberto hardware, falamos de um projeto em que a informação foi disponibilizada ao público em geral, de tal forma que qualquer pessoa possa criar, modificar, distribuir e usar consoante aquilo que pretende e idealiza, pondo de parte a reinvenção (T. Kim & Shin, 2016).

Basicamente e de uma forma mais sintética, é concedida uma licença que estabelece e concede a qualquer pessoa os direitos produtivos e de distribuição de forma gratuita permitindo que esta estude e desenvolva ainda mais. Esta vertente surge mais recentemente que a vertente de software uma vez que é importante notar que o hardware se diferencia do software no sentido de que recursos físicos devem sempre ser empregados na produção de bens físicos, sendo então considerado uma extensão clara da liberdade e abertura do código transformando assim o domínio do software em produtos físicos, que são maioritariamente fornecidos e desenvolvidos por setores não

comerciais como comunidades, ONGs e universidades (Moritz, Redlich, Grames, & Wulfsberg, 2017).

Apesar de o projeto ser aberto e acessível por parte de toda a gente de forma gratuita, este requer licenças de utilização. Estas licenças permitem salvaguardar no contexto do projeto aberto hardware a capacidade de ser possível submeterem-se cópias, a distribuição, construção, modificação e venda dos projetos (Siegle, Hale, Newman, & Voigts, 2015).

Exemplos de aplicação de projeto aberto de hardware

Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrónica com hardware livre que permite criar diversas ferramentas a baixo custo, flexíveis e com acesso e facilidade ao uso por profissionais e inexperientes. Este hardware disponibiliza a toda a comunidade a possibilidade de comprar componentes, alterá-los e até mesmo vendê-los ao público em geral (McRoberts, 2011).

Na Figura 18, temos um exemplo de placa arduino comercializada que pode ser alterada por qualquer pessoa.

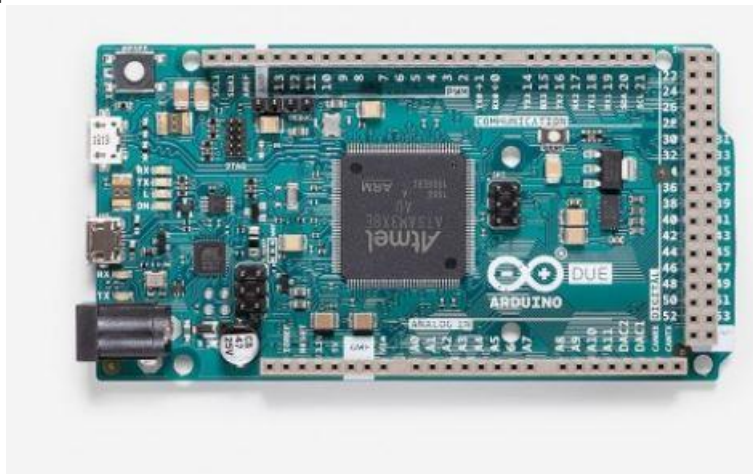


Figura 18 - Placa Arduino (ARDUINO,2020)

Outro exemplo da aplicação de projeto aberto hardware era o projeto Ara, promovido pela google que consistia em desenvolver uma plataforma aberta com hardware livre para a criação de smartphones modulares como demonstra a Figura 19. Assim seria possível cada pessoa formar o seu próprio smartphone, e no futuro trocar componentes avariados ou defeituosos, proporcionando um aumento do ciclo de vida do aparelho, promovendo assim uma redução dos desperdícios (Hankammer, Jiang, Kleer, & Schymanietz, 2016).



Figura 19 - Smartphones Modulares (PMD,2018)

Por outro lado, temos o projeto aberto de software que consiste num software com o seu código disponibilizado há comunidade que fornece o direito de o estudar, modificar e distribuir que esta ao alcance de todos de forma gratuita. O código fornecido de base pode ser modificado ao ponto de se oferecerem melhorias, ou até mesmo grandes mudanças com recursos novos, sendo geralmente desenvolvidos por um grupo de pessoas de forma associativa (Bonaccorsi & Rossi, 2003).

De uma forma geral, os programadores preferem este tipo de software livre, ao invés de softwares protegidos pelas seguintes razões:

- **Controlo:** os programadores preferem este tipo de software uma vez que conseguem examinar ao pormenor o código garantindo que este não está a fazer aquilo que não é pretendido. Permite também que se possa alterar aquilo que não gostam, e até mesmo alterá-lo ao ponto de o poder comercializar (Bonaccorsi & Rossi, 2003).
- **Treino:** A comunidade opta por este tipo de software livre uma vez que são de acesso ao público e de forma gratuita, o que permite por exemplo à comunidade estudantil melhorar as suas capacidades de programação. Neste âmbito é lhes também muito fácil partilhar com outros estudantes o seu trabalho e assim obter comentários e críticas que permitem desenvolver as suas capacidades. Este método de treino permite muitas das vezes também decifrar erros e partilhá-los de forma a evitar erros futuros idênticos (Bonaccorsi & Rossi, 2003).
- **Estabilidade:** este tipo de software confere maior estabilidade para o criador uma vez que há uma garantia que em projetos a longo prazo as suas ferramentas não desaparecerão ou ficarão danificadas por mudanças do criador original (Bonaccorsi & Rossi, 2003).

Exemplos de aplicação de projeto aberto software

Um exemplo de projeto aberto software é o Mozilla Thunderbird, representado na Figura 20, que é uma aplicação de e-mail gratuita com várias funcionalidades diferentes no mercado em que se insere. Para além de toda a vertente programática possui vários mecanismos de segurança que traduzem uma maior confiança para o utilizador. Em relação a todos os competidores diretos possui uma interface organizada e limpa é um programa bastante leve (Carvalho, Balasubramanyan, & Cohen, 2009).



Figura 20 - Ícone Mozilla Thunderbird (THUNDERBIRD,2020)

Outro exemplo é o LibreOffice, que é uma plataforma concorrente do *office* que tem ganho cada vez mais seguidores por introduzir novas funcionalidades que satisfaz em geral os utilizadores intermédios. Aliado a isso também o facto de oferecer o uso da nuvem de armazenamento tal como a Google e a Microsoft (Gamalielsson & Lundell, 2014).

Como podemos observar, o projeto aberto tem vindo a conquistar o seu espaço no mercado, uma vez que são de fácil acesso e gratuitos, constituindo se assim numa alternativa cada vez mais recorrente nos dias de hoje, onde cada vez mais a globalização promove estas tecnologias (Monostori, 2014).

2.3.3 Vantagens e desvantagens

Apesar de haver um otimismo e mediatismo com a indústria 4.0 e todos os conceitos que surgem paralelamente à mesma, todos estão sujeitos a aspetos bons e menos bons, como é o caso da produção aberta. Assim e de forma esclarecedora, serão apresentadas as vantagens e desvantagens associadas.

Vantagens

- Custo de propriedade em geral gratuito ou muito pequeno (Heron, Hanson, & Ricketts, 2013).

- Promovem soluções inovadoras que permitem cobrir as necessidades efetivas da comunidade, uma vez que elas são partilhadas por todos na fase de desenvolvimento do código (Durkovic, Vukovic, & Rakovic, 2008).

- Fonte de suporte para problemas maiores uma vez que o suporte é a comunidade que está sempre preparada para a resolução eficaz dos mesmos (Heron et al., 2013).

-Fácil personalização do software, uma vez que não é obrigatório cumprir requisitos de proteção do código original, como em softwares proprietários (Apostu, Puican, Ularu, & Suci, n.d.).

- Quebram se barreiras entre os criativos profissionais e amadores, uma vez que através da promoção da partilha sem precedentes muitas das vezes quebram se barreiras desnecessárias podendo-se obter visões de quem tem menos experiência, ou até mesmo identificar talentos que estavam escondidos. Sendo por isso também um elo importante no recrutamento qualificado de uma empresa (Heron et al., 2013).

Desvantagens

- Apesar de ser um conceito inovador este não explora de momento a indústria produtiva toda uma vez que o seu enquadramento continua muito focado em certos “nichos” de mercado, onde a produção personalizada é mais patente. Porém, na indústria de massa e artesanal ainda não se encontram melhorias com a utilização deste modelo (Durkovic et al., 2008).

- Segurança por vezes escassa, uma vez que ao ser de projeto aberto existe uma maior facilidade para pessoas mal-intencionadas o invadirem. Assim, é necessário investir noutros métodos para garantir a segurança (Apostu et al., n.d.).

- Uma vez que quando falamos de produção aberta, falamos de uma partilha intelectual com a comunidade, e apesar de isto ser a base desta abertura, ainda é um tópico muito sensível e que deve ser salvaguardado. Alguns autores referem que se deve edificar esta abertura numa base granular, ou seja, criar múltiplos níveis dentro da empresa onde a informação circula e procura na comunidade uma ajuda, resguardando, porém, muito desse conhecimento mais específico. Assim e de forma resumir procura-se aumentar a criação de valor com essa abertura, mas nunca esquecendo que a competitividade não permite uma total abertura, nem a partilha da informação toda. Acaba por ser encontrar um meio termo, contrariando um pouco esta ideia de abertura total sugerida (Durkovic et al., 2008).

- Muitos dos softwares de projeto aberto ainda não são concebidos para todas as plataformas existentes, quebrando assim a sua expansão a todos os interessados (Durkovic et al., 2008).

2.4 Open design como pilar do I&D das empresas no mundo da Indústria 4.0

Quando falamos de inovação aberta ou design aberto percebemos a ligação destes conceitos com a indústria 4.0 e outros conceitos da evolução da indústria e do trabalho, como podemos ver na enumeração seguinte:

- As mudanças sociais e económicas que tem ocorrido nos padrões de trabalho nos últimos séculos demonstram que cada vez os profissionais qualificados pretendem carreiras evolutivas com base na sua experiência e currículo, ao invés do emprego vitalício de outrora, que confere estabilidade profissional, mas não permite muitas das vezes a progressão de carreira desejada. Assim as empresas encontram soluções para alcançar o talento que necessitam através de profissionais externos que não necessitam de estar vinculados de forma efetiva e exclusiva com a empresa (Dahlander & Gann, 2010).

- A globalização permitiu expandir o mercado e a sua variedade, porém limita-o do ponto de vista que enaltece uma maior segregação e divisão do trabalho. Assim o talento deixa de estar focalizado e passa estar espalhado. Apesar de deixar de haver marcas de referência, e passar a haver inúmeras empresas qualificadas para o mesmo trabalho, esta globalização permite ao consumidor final uma evolução maior que vai ao encontro dos desejos e vontades do cliente (Dahlander & Gann, 2010).

- Uma vez que tudo passa a estar disponível em rede, houve a necessidade de criar departamentos e organizações capazes de filtrar e assim atribuir descobertas e inovações a quem de facto as promoveu antes que todos tenham acesso. Assim estas organizações permitem que as ideias sejam patenteadas e negociadas (Enkel, Gassmann, & Chesbrough, 2009).

- Por ultimo, a abertura de ideias e as novas tecnologias sejam interligadas e assim que se encontrem novas formas de coloração com as empresas, em sistemas de redes que tornam as distancias geográficas desprezáveis, permitindo que a informação se encontra à distancia de um clique (Dahlander & Gann, 2010).

Porém e através desta ligação podemos também perceber uma ligação entre o I&D e a abertura, uma vez que ambos estão conectados. Esta conexão, apesar de não ser facilmente perceptível surge do facto do I&D interno surgir como uma alternativa com custos mais baixos à compra de recursos e ideias do mercado. Esta alternativa apesar de representar um investimento significativo em I&D de forma a desenvolver uma estrutura organizacional forte e com processo inovador, quando vem trabalhada permite abrir portas à inovação de forma muito mais barata, atingindo na mesma uma economia de escala que qualquer empresa procura (Enkel et al., 2009)(Dahlander & Gann, 2010).

Apesar de todo este investimento e das potencialidades que daí advém a indústria desde os primórdios que procura encontrar recursos fora dos seus limites, ou seja através da abertura a inovação exterior, como por exemplo na descoberta e desenvolvimento da iluminação elétrica surgiu através do recombinação de ideias e invenções anteriores que permitiram engenheiros e cientistas recriar o conceito através das bases anteriores e assim inovarem num produto de acesso e uso comum aos dias de hoje (Hargadon, 2003).

Assim e com a evolução dos tempos o I&D passará a ter um papel preponderante na integração de parceiros externos com potencial, uma vez que estes são mais uma das muitas fontes de conhecimento necessário à evolução. Podemos então afirmar que o I&D é um complemento necessário à abertura de ideias e recursos, porém sem ser posta em causa a sua importância e foco no desenvolvimento interno uma vez que estas duas ferramentas em conjunto podem produzir resultados muito satisfatórios.

Porém, quando existe alguma limitação financeira para o investimento em I&D esta abertura a ideias exteriores pode ser fundamental para a empresa acompanhar o progresso, e assim de certa forma não ficar para trás no desenvolvimento dos seus recursos (Dahlander & Gann, 2010).

2.5 Fabricação Aditiva

2.5.1 História, evolução e aplicações

A fabricação aditiva caracteriza-se pelo uso de equipamentos que permitem fabricar objetos por adição de material, sendo esta adição por camadas, iniciada sempre de um modelo tridimensional obtido por um software de apoio à produção e conceção. Associado a este tipo de fabricação aditiva existem tecnologias como fusão a laser, fundição a vácuo e moldagem por injeção. Assim e interligado a este conceito está a prototipagem rápida, e uma vez que ela é uma ferramenta de apoio na impressão 3D, pois a sua informação incrementada resulta nesse processo. Quando falamos do conceito de “prototipagem” referimo-nos ao facto de ser um processo muito lento para uso de produção em massa, quando comparado com outras tecnologias que produzem grandes quantidades a baixo custo. Por sua vez quando referenciamos como “rápido” promovemos o facto de ser fácil produzir uma cópia de um determinado objeto, com recurso à simplicidade de escrever num programa de computador que controla a forma do objeto (Berman, 2012).

A fabricação aditiva ganhou contornos em 1986, quando Charles Hull patenteou a máquina estereolitografia, ilustrada na Figura 21, denominada atualmente como máquina de impressão 3D, que consistia na impressão de objetos físicos através de dados digitais. Esta tecnologia tinha como material de base os foto polímeros que a partir da emissão de laser UV no polímero líquido, este tornava-se plástico em forma sólida com o formato de design moldado pretendido. Nesta primeira fase ainda não se trabalhava a impressão 3D tal como hoje, porém surgiam defeitos como desgaste nas

peças provenientes do material a trabalhar e também os custos de produção eram elevados (Matias & Rao, 2015).



Figura 21 - Impressora 3D - Charles Hull (TV3DPAM,2015)

Porém em 2005, em Inglaterra, surge um projeto denominado RepRap que tem por objetivo a criação de impressoras 3D com capacidade para ser usada para prototipagem e fabricação rápidas. Estas máquinas foram criadas com recurso a uma comunidade de projeto aberto, de forma a que fosse possível padronizar e tornar estes tipos de equipamento acessíveis a todos. Através deste projeto foi possível distribuir unidades baratas que permitiram que cada pessoa criasse os seus modelos para produtos complexos que depois ficam ao dispor da comunidade (Jones et al., 2011).

Em 2008, a realidade da fabricação aditiva torna-se uma ferramenta importante para a medicina ao ser capaz de produzir próteses e outro tipo de implantes, permitindo que o corpo não as rejeite, tornando-se assim uma ferramenta importante no combate aos mais variados problemas ao nível da saúde. Estimasse que até 2050 em todo mundo mais de 850 mil pessoas necessite de um transplante de uma válvula do coração, que através do desenvolvimento desta ferramenta, é possível obter por impressão 3D, reduzindo assim a complexidade de fabrico e os custos associados (Coulter et al., 2019).

A partir deste ponto percebeu-se que as potencialidades da impressora 3D eram infindáveis, uma vez que começaram a surgir desenvolvimentos em áreas totalmente distintas. Em 2011 a *Urbee* cria um marco histórico na engenharia ao lançar o primeiro carro impresso em 3D, logo no ano a seguir surge um desenvolvimento que coloca em causa o uso doméstico uma vez que é lançada a primeira pistola imprimível, que levantava serias questões de segurança. Em 2014, na China surge a primeira casa impressa em 3D, revelando assim uma importância na construção arquitetónica para além da importância em maquetes. Neste mesmo ano a NASA experimenta produzir roupa e comida impressa (Matias & Rao, 2015).

Nos últimos anos, e como em qualquer tecnologia nova e diferente das existentes, temos verificado um crescimento rápido, quer no modo funcionamento e suas funcionalidades, bem como, no aumento de flexibilidade das máquinas, havendo já modelos que pesam menos de 1Kg. Por outro lado foram criadas também máquinas de impressão 3D de maior robustez capazes de produzir mais que um objeto em simultâneo aumentando assim a cadência produtiva de um mercado que tem um tempo de produção de elevadas horas (Matias & Rao, 2015).

Assim quando nos referimos há tecnologia de impressão 3D, podemos perceber que esta tecnologia teve uma evolução faseada em três partes distintas, como demonstra a seguinte Tabela 3:

Tabela 3 - Evolução Trifásica da impressão 3D (Matias & Rao, 2015).

1º Fase	Arquitetos, artistas e designers de produto, foram os grandes promotores desta tecnologia numa primeira fase uma vez que promoveram o modelo através do uso para criar protótipos, maquetes ou novos modelos de design permitindo alavancar a evolução inicial da Impressão 3D. Atualmente a maioria das impressões ainda advém da fabricação de protótipos e maquetes.
2º Fase	Nesta segunda fase evolutiva as impressoras 3D adquiriram uma maior capacidade na criação de produtos acabados. A aplicação deixa de ser em pequena escala e passa para grande escala onde ocorrem produções maiores e de produtos mais complexos, com diferentes tamanhos e estilos e cores, que permitem acrescentar ao mercado uma variabilidade de produto interessante para o cliente.
3º Fase	Nesta terceira fase, assistimos ao fenómeno de globalização em que a impressora 3D passa a ser de propriedade e em que cada um a partir do local onde tem o dispositivo consegue aceder online e baixar os ficheiros necessários para produzirem localmente o que pretendem. Esta etapa incrementou uma evolução gigante uma vez que apesar de se perceber que é uma tecnologia limitada em alguns aspetos é realmente forte na produção de peças de substituição necessárias a qualquer utilizador no dia a dia. Isto tudo alavancado de forma geral em comunidades de projeto aberto e em softwares livres.

Podemos então concluir que as principais aplicações da impressora 3D são:

- Moldes para fabricação;
- Utensílios de uso doméstico;
- Protótipos;
- Peças de substituição
- Miniaturas, por exemplo para projetos de arquitetura;
- Órgãos para a medicina
- Arte e design, onde se fabricam pequenas joias e adereços;

2.5.2 Impressão 3D vs Métodos de Fabrico Tradicionais

A impressão 3D, como qualquer outra tecnologia de fabrico tem vantagens e desvantagens associadas, assim e através de sete tópicos será feita uma comparação desta tecnologia de fabricação moderna com as técnicas de fabricação tradicionais.

- **Flexibilidade**

Ao nível da flexibilidade podemos afirmar que num método tradicional, muitas das vezes é necessário a criação de ferramentas de apoio, tal como, molde, matriz e gabarito o que implica que seja necessário para uma peça ou produto muitas das vezes criar ferramentas adicionais, que tornam o processo menos flexível. Por sua vez, na impressão 3D estes casos de necessidade de ferramentas podem ser impressos juntamente com a peça não criando alterações significantes ou dano físico na peça (Tserovski et al., 2019).

Por outro lado, as impressões 3D vieram acrescentar inúmeras possibilidades até agora difíceis ou até mesmo inconcebíveis como por exemplo, peças dentro de peças e mecanismo funcionais com engrenagens impressas no interior da peça. Outra das vantagens é as cavidades ocas em peças sólidas facilmente impressa, cavidades essas complexas em métodos tradicionais. Destaca-se ainda o facto de ser possível produzir uma peça com materiais totalmente distintos, cor, textura e propriedades mecânicas que tornam estas características todas juntas uma das maiores vantagens da impressão 3D, e que faz acreditar que a sua expansão e evolução pode ser de facto determinante para se atingir outros patamares a nível industrial (Tserovski et al., 2019).

Por fim e nas atuais circunstâncias do mercado moderno, a impressão 3D mais uma vez demonstra que esta tecnologia concebe ao utilizador uma opção que mais nenhuma oferece, como por exemplo acesso a softwares gratuitos que permitem editar desenhos CAD e assim configurar a peça que pretendemos com a cor, formato entre outras características que pretendemos. Assim e associado a este conceito de flexibilidade temos a possibilidade de fabricar para um só modelo de peça diferentes variantes tornando assim a oferta/procura muito mais satisfatória para o cliente (Martelli et al., 2016).

- Velocidade

Uma das vantagens da impressão 3D é o facto de ser uma tecnologia de prototipagem rápida, e tal como o próprio nome indica esta permite que as peças possam ser produzidas de forma mais rápida, em comparação com os métodos tradicionais de fabricação. Os projetos complexos podem ser transferidos e usados através de modelos CAD, e impresso em pouco tempo permitindo validar o modelo e design (Ford & Despeisse, 2016).

Por métodos tradicionais estaríamos a falar de dias ou até mesmo semanas de desenvolvimento e de processo até a obtenção de um protótipo, porém quando falamos de uma produção em massa de grandes quantidades tal não se verifica e os métodos tradicionais ainda superam a longo termo de produção (Attaran, 2017).

- Custo

Neste ponto encontramos uma das maiores desvantagens de uma maior aplicação da impressão 3D, e também a falta da sua massificação na produção. Se por um lado a nível de protótipos a impressão 3D continua a incrementar não só ganhos a nível temporal, uma vez que consegue processar os pedidos de forma mais rápida, também a nível de custos esta opção para pequenas produções é mais barata uma vez que incorre num uso de menor quantidade de maquinaria, de menos desperdício de material e também por não requerer o uso de ferramentas adicionais para o fabrico da peça como em alguns métodos tradicionais (D. S. Thomas & Gilbert, 2015).

Assim e numa comparação com um método tradicional como a moldação por injeção, e como demonstra a Figura 22, podemos verificar que ao longo da massificação da produção os custos da moldagem por injeção são menores (Jeremy, 2017).

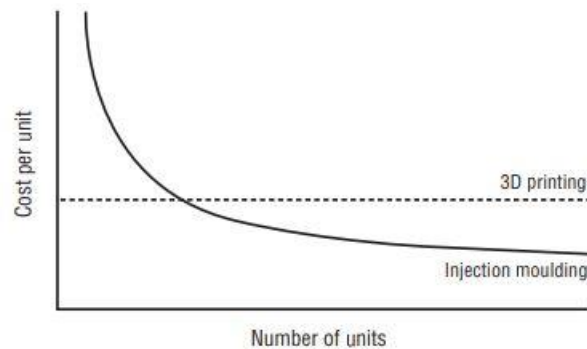


Figura 22 - Custos impressão 3D Versus moldação por injeção (Jeremy, 2017)

A explicação dos custos iniciais avultados, quando comparado com impressão 3D provém do facto de na injeção ser necessário a criação de ferramentas, e isso combinado com a velocidade de um processo tradicional traduz numa fase inicial um custo muito maior. Porém quando começamos a produzir cada vez mais ocorre uma diminuição dos custos que origina a que o processo de injeção compense muito mais para grandes volumes, ao invés dos pequenos volumes produtivos onde a impressão 3D tem custos associados menores (D. Thomas, 2016).

- Qualidade

Este tópico remete-nos para uma das maiores dificuldades da impressão 3D, uma vez que está comprometida uma certa limitação há qualidade final de uma peça, uma vez que, como cada camada é depositada em cima da última esta induz-se como uma fraqueza, que pode ser contornada tentando manter-se paralela em relação ao sentido de impressão, porém e submetendo a criação do design a esta restrição estamos a criar problemáticas na criação da peça e na garantia da sua qualidade, que é fundamental a nível industrial (Mani et al., 2015).

Outra das fraquezas inerentes ao processo de impressão é a linha entre camadas que se denota, e que pode ser corrigida, mas que retira toda a vantagem temporal em relação aos métodos tradicionais que não surgem com esse defeito (H. Kim, Lin, & Tseng, 2018).

Porém, uma das vantagens mais recentes é imprimir com recurso a sistemas de laser de grande capacidade para imprimir em altas resoluções, porém estes acrescentam um maior custo ao produto final. Além de tudo isto esta tecnologia é complexa uma vez que não é usada de forma recorrente e que só faz sentido

de ser aplicada em empresas com alto grau de industrialização onde o custo associado possa ser diluído (H. Kim et al., 2018).

- Repetibilidade

Num processo de fabricação tradicional, como por exemplo a moldagem por injeção, existe sempre uma percentagem de defeituoso por lote que acabam por ser rejeitados. Esta percentagem com a evolução dos tempos tende cada vez mais para um valor perto de zero. Porém quando falamos da impressão 3D, e apesar do processo ser um pouco mais complexo, uma vez que as peças são impressas de forma consecutiva, ocorre uma das grandes vantagens que é a possibilidade de detetar em tempo real os erros uma vez que todo o processo pode ser monitorado localmente. Apesar desta grande vantagem para um lote ter a mesma percentagem de defeitos é necessário garantir calibrações recorrentes, garantir correções nas peças que tendem a desgaste na impressão e um ambiente controlado (Fahad & Hopkinson, 2012).

- Acessibilidade

A acessibilidade indica-nos a facilidade que uma pessoa ou empresa tem para obter os meios necessários neste caso para a criação de uma peça ou produto. Neste caso em particular, e nos últimos anos devido a um crescimento no mercado da impressão 3D tem surgido cada vez mais modelos acessíveis a uma grande parte da população, devido ao seu custo baixo quando comparado com máquinas de fabricação industriais com valores em alguns casos 100 vezes maiores. Assim e quando falamos de grandes empresas muitas das vezes esta diferença não é impeditiva, em caso de pequenas empresas tal não passa assim tão despercebido (Nelaturi, Behandish, Mirzendehtdel, & de Kleer, 2019).

- Sustentabilidade

Neste ponto surge uma das maiores vantagens da impressão 3D, uma vez que ao contrário dos métodos de fabricação subtrativa, onde ocorre a remoção de material de um bloco inicial, gerando assim grandes volumes de material residual. Por sua vez a impressão 3D em geral usam apenas um material, e por norma podem ser reutilizados de forma a reduzir os desperdícios. Assim, podemos afirmar que uma das vantagens entre este método de fabrico aditivo e os tradicionais é a redução de desperdícios na conceção da peça e consequentemente em caso de defeito na possibilidade de reciclagem, ao invés de muitos métodos tradicionais em que as peças defeituosas não podem ser reaproveitadas de forma tão eficiente (Sreenivasan, Goel, & Bourell, 2010).

Podemos então concluir através destes parâmetros que os fatores de destaque na impressão 3D são a velocidade, flexibilidade e o custo. Porém estes fatores são apenas vantajosos, aos dias de hoje, em produção de pequenas quantidades, sendo superadas pelos métodos tradicionais em grandes quantidades produtivas uma vez que o custo dilui ao longo do tempo e a velocidade e flexibilidade tendem a diminuir numa produção em massa, para além dos problemas de ajuste e desgaste que daí provém. Assim, percebemos em grande parte o porquê de ainda não haver uma grande aposta a nível mundial por parte das grandes empresas, uma vez que ainda não se deu um grande passo competitivo, que passa pela diminuição deste défice em relação aos métodos tradicionais nas produções em massa (Tserovski et al., 2019).

Assim e de forma a resumir toda esta informação foi elaborada a Tabela 4 que indica qual dos processos tem vantagem em cada um dos sete pontos já trabalhados.

Tabela 4 - Resumo comparativo entre impressão 3D e métodos de fabrico tradicionais

Características	Fabricação aditiva (impressão 3D)	Métodos Fabrico Tradicionais
Velocidade	Velocidade maior em protótipos e produções pequenas	Velocidade maior para produções em massa
Custo	Custo baixo para pequena produção	Custo Baixo para produções em massa
Flexibilidade	Maior flexibilidade	Menor flexibilidade
Repetibilidade	Possibilidade de detetar erros em tempo real de produção	Percentagem de defeito em lotes existe, mas é menor que na impressão 3D onde é preciso garantir várias especificidades
Qualidade	Necessário proceder a retrabalho para maior qualidade	Qualidade final melhor e mais consistente
Acessibilidade	Maior acessibilidade ao nível do preço de compra da impressora 3D	Acessibilidade reduzida devido a custo elevados de maquinaria
Sustentabilidade	Pouca formação de resíduos e elevada reutilização dos mesmos	Muitos resíduos industriais

DESENVOLVIMENTO

- 3.1 Estrutura Económica da fabricação aditiva
- 3.2 Fabricação aditiva nas comunidades de projeto aberto
- 3.3 Análise crítica sobre os projetos abertos em fabricação aditiva

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Estrutura económica da fabricação aditiva

Quando uma nova tecnologia surge ela é capaz de gerar perante a indústria em que se insere, reações e expectativas muitas das vezes elevadas demais para algo tão embrionário. A todo este processo surge o ciclo de *hype* de Gartner, ilustrado na Figura 23, que traduz as expectativas de uma determinada tecnologia em função do tempo (Bakker & Budde, 2012).

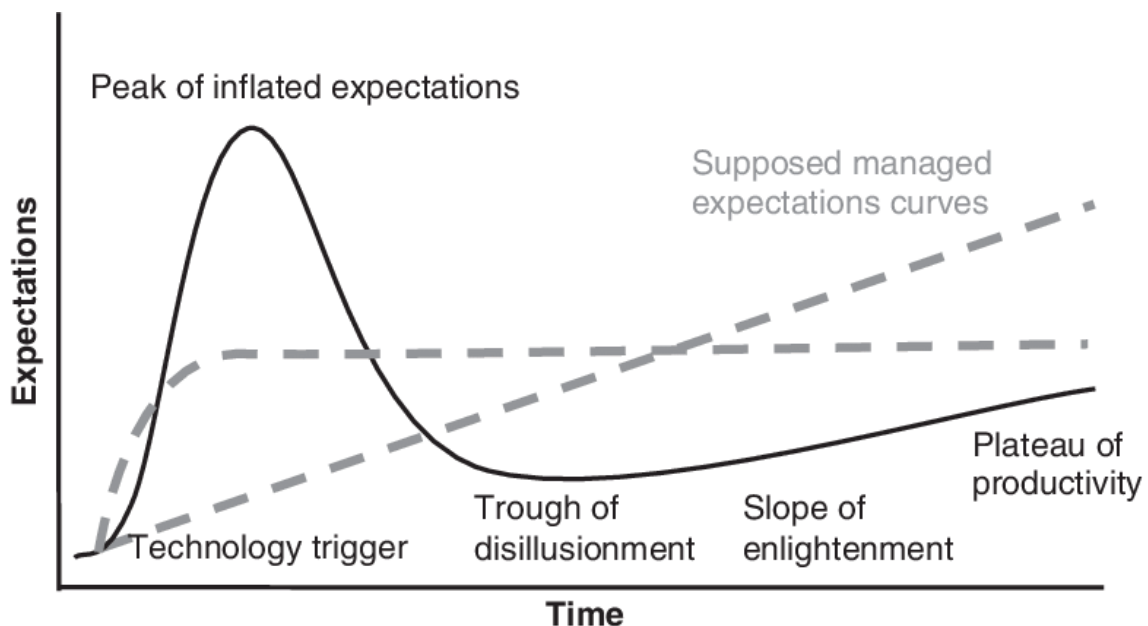


Figura 23 - Ciclo de hype de Gartner (Bakker & Budde, 2012)

Esta ferramenta tenta posicionar as tecnologias emergentes que estuda, numa escala de tempo e assim tendo em conta várias considerações optar por investimentos estratégicos nos momentos adequados. Porém quando observamos este gráfico podemos constatar que ele é meramente ilustrativo uma vez que representa as diferentes fases em momentos exatos, porém, tal não acontece no dia a dia, mas reflete o que acaba por ocorrer ao longo do percurso de uma nova tecnologia até à sua implementação de forma mais recorrente a grande escala. Assim acaba por subdividir-se por 5 fases em que a tecnologia passa de ser muito falada e pouco usada, para um estado em que todos a usam e cada vez menos falam dela (Bakker & Budde, 2012).

Assim, e como podemos verificar o ciclo acarreta cinco momentos diferentes como nos traduz a Tabela 5 (Linden & Fenn, 2003):

Tabela 5 – As 5 Fases ciclo de hype de Gartner

Acionador da Tecnologia	Nesta primeira fase muitas das vezes ainda não há produto concretizado, apenas existem protótipos, porém a aprovação do conceito perante a comunidade científica promove que a tecnologia comece a desenvolver e crie um ciclo de confiança que leve à aposta de investidores que pretendem obter lucros rápidos com o desenvolvimento da tecnologia. Assim surgem grandes campanhas publicitárias de promoção que fazem com que as expectativas sejam muito altas nesta fase e desfasadas do conteúdo que realmente existe.
Pico de expectativas inflamadas	Este é o ponto onde as expectativas atingem o pico da inflação, uma vez que muitas vezes a história de sucesso proveniente da primeira fase é confrontada com dezenas de fracassos comprovados pela comunidade científica, que fazem com que as expectativas tendam a partir deste ponto a cair de forma abrupta. Nesta fase surgem os produtos de primeira geração com preços muitas vezes mais elevados porque é necessário amortizar o investimento de empresas no desenvolvimento da tecnologia que maioria das vezes é muito superior ao custo de produção do produto.
Fosso da desilusão	Depois das tecnologias atingirem o pico da sua ilusão ocorre o fenómeno inverso onde as descrenças provenientes dos fracassos surgem, colocando várias questões. O interesse diminuiu à medida que o I&D não consegue solucionar problemas, que muitas das vezes levam a atrasos na entrega e na resposta perante os problemas. Nesta fase é necessário dar feedback positivo a todos os fracassos que surgem, mas num espaço de tempo curto, de forma a que não ocorra uma estagnação que faça desacreditar ainda mais quem investe e pretende avançar para produção num futuro.

Rampa de esperança

É neste momento que começam a surgir efeitos da pesquisa I&D, e começam a ser implementadas as soluções para problemas anteriores e muitas empresas começam a perceber que podem potencializar-se através da utilização da tecnologia. Nesta fase as empresas mais conservadoras tendem a ficar recuadas e a não avançar para investimentos. Porém é nesta fase que as empresas mais inovadoras tendem a fazer os seus investimentos, e assim, este é um ponto fulcral para se ganhar uma vantagem competitiva aos concorrentes que podem beneficiar da tecnologia.

Planalto da produtividade

Os protótipos das primeiras fases passam a ser efetivados com todas as correções que se foram feitos ao longo do processo, entrando agora num planalto de produtividade onde o produto/ tecnologia adquire a sua relevância no mercado em função da aceitação do cliente. Nesta altura o investidor irá perceber se o seu investimento de facto obteve retorno ou se ainda depende de melhorias futuras.

Quando as empresas decidem avançar para investimentos baseados no risco, perante tecnologias emergentes que parecem ter o potencial para se afirmar no mercado é necessário perceber que, em qualquer situação potencialmente vantajoso existe o risco de a tecnologia não ser viabilizada ao ponto de se tornar um produto forte, considerando-se assim um fracasso como é o caso das *Tv's 3Ds*, dos *google glass* entre outros modelos (Bakker & Budde, 2012).

No caso da impressão 3D, atualmente estima-se que esta se encontre na fase da rampa de esperança e poderá estar a uma distância temporal de 2 a 5 anos de entrar no planalto de produtividade e assim potenciar toda a tecnologia à comunidade. Assim é previsível que dentro de 5 a 10 anos quase todos os consumidores desta tecnologia tenham uma impressora em casa, uma vez que o mercado se desenvolveu não só pela via lucrativa como, essencialmente pela comunidade aberta que se tem gerado e cada vez mais surge com alternativas a nível de software CAD e de hardware. Como ocorre numa grande parte das tecnologias e não sendo esta exceção, é provável que sobrevalorizámos numa primeira fase o potencial da impressão 3D a curto prazo e de seguida subvalorizámos a longo prazo, algo que poderá acontecer logo que se entre no período de planalto produtivo (Kietzmann, Pitt, & Berthon, 2015).

Acompanhando isto surge também a teoria do abismo, que se dedica a estudar e mostrar de forma gráfica que o ciclo de vida de adoção de uma tecnologia está longe de ser contínuo e que passa também ela por cinco a seis grandes fases distintas, como nos apresenta a Figura 24 (Geoffrey A. Moore, 1991):

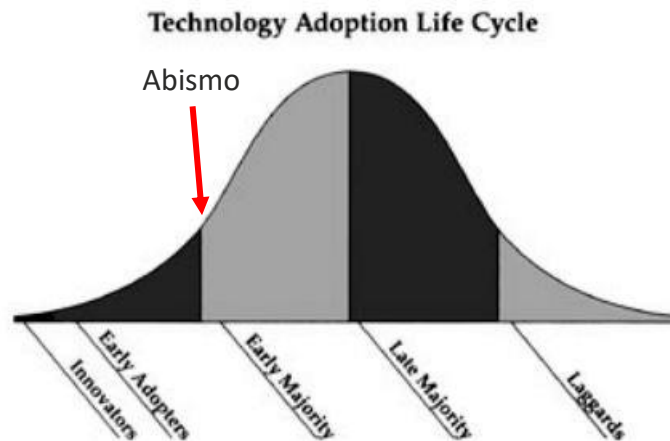


Figura 24 - Ciclo de adoção da tecnologia segundo teoria do abismo (Geoffrey A.Moore, 1991)

Estas fases ao invés do ciclo de *hype* de Gartner estabelecem uma maior ligação com a população alvo da tecnologia, tendo por base um estudo mais da capacidade de adoção pela população alvo, que propriamente com a especulação de investidores de risco, como observamos na Tabela 6 (Geoffrey A.Moore, 1991):

Tabela 6 - As grandes fases da teoria do abismo

Inovação e
Adoção inicial

Esta primeira fase compreende todos envolvidos na criação da tecnologia e os entusiastas que acreditam na viabilidade da tecnologia. Nesta fase as vendas são pequenas uma vez que os mercados de produção em massa não adotam com facilidade inovações, e existe uma grande dificuldade de conquistar o público alvo, uma vez que o desejo de obter o “produto completo” ainda não existe. Esta insegurança surge através de muitas dúvidas relativamente à segurança do cliente perante uma solução muitas das vezes ainda por limar e solidificar, que retém o cliente uma vez que não pretende arriscar a menos que sejam criadas condições de segurança e de suporte para a sua primeira experiência e utilização, como ocorrem em feiras de inovação. São essencialmente a fase visionária do mercado, ou seja, o arranque para as empresas que inovaram na criação e uso da tecnologia.

Abismo

Apesar de não ser considerada uma fase, é um ponto essencial e de ligação inicial às três seguintes uma vez que o abismo representa a fase de conseguir transpor entre criadores e visionários a tecnologia a outro patamar de aceitação que leva a adoção da mesma por parte de muitos outros. Tornando assim cada vez menos a tecnologia em causa um pequeno nicho para algo que tem potencial e que já é visto como potencialidade generalizada e não como possibilidade.

**Adoção inicial
maioritária**

Este grupo de pessoas adotam a inovação apenas após terem certezas, são considerados como a população pragmática uma vez que adotam a inovação após terem certezas de que tal tecnologia tem um histórico de sucesso. No fundo o investimento apenas ocorre quando há garantias que pode ser possível viabilizar negócios. Esta fase raramente se constituiu como a fase em que o público é formador de opinião.

**Adoção
maioritária
tardia**

Este grupo é definido como os conservadores, só que ao invés dos anteriores que procuram muitas das vezes a vantagem competitiva perante os parceiros, apenas procuram garantir retorno do seu investimento, numa tecnologia já formada e com garantias.

É um dos grupos extremamente cautelosos e apenas investem quando a sensibilidade do preço cai e deixa de ocorrer a especulação, ou seja, quando o preço da tecnologia estabiliza. Uma vez que são conservadores, a mudança de tecnologia para além das questões económicas também é retardada ao máximo, uma vez que tendem a resistir a mudanças que podem fazer adotar uma posição, mas de risco.

**Adoção
Retardatária**

Nesta fase encontram-se os céticos, normalmente congrega o conjunto de população alvo que não segue modas e que tem dificuldade em se adaptar a novas situações. Apenas consomem novos produtos quando já não tem mais alternativas, neste caso o preço não é necessariamente um entrave, apenas o fator de desconforto de utilização de uma nova tecnologia provoca alguma retração. No fundo e quando falamos de um produto, apenas ocorre a troca por um produto melhor, quando o atual apresenta defeitos ou deixa de ser produzido.

No nosso caso da tecnologia de fabricação aditiva o gráfico apresenta-se nesta fase como sugere a Figura 25.

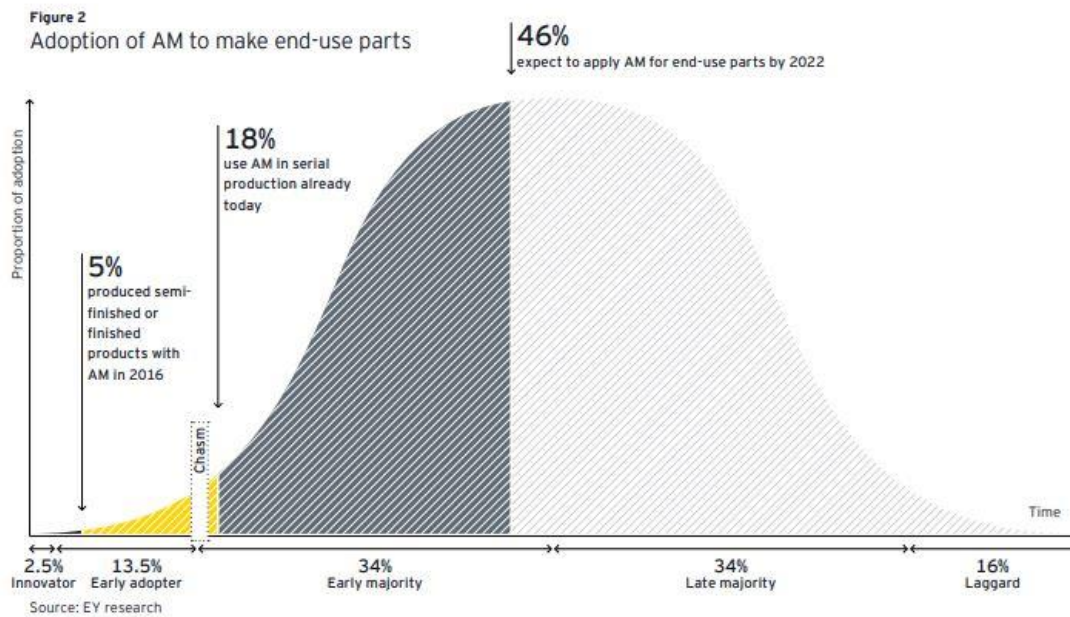


Figura 25 - Ciclo do abismo da tecnologia de impressão 3D (EY, 2019)

De acordo com o estudo de aceitação da tecnologia de fabricação aditiva podemos observar que em 2016 apenas 5% das empresas usavam a fabricação aditiva para finalizar peças, porém aos dias de hoje, 18% das empresas usam a tecnologia com essa finalidade o que representa um aumento de três vezes mais que no ano 2016. Porém e mais importante que estes 18%, é o facto de ter ultrapassado o ponto de abismo que é fundamental para a expansão da tecnologia, uma vez que foi aceite por um número bastante alargado de empresas penetrando assim o mercado e deixar de ser visto como um tecnologia de potencial, e passar a ser uma tecnologia de capacidades adquiridas e de uso. Os 18% representam assim a transição e antevem grandes perspectivas, uma vez que nesta fase é possível prever um crescimento e aceitação do produto perante o público alvo muito grande, tornando assim a fabricação aditiva uma ferramenta que fica ao dispor de mais empresas, uma vez que começa a haver confiança por parte das empresas que a tecnologia está consolidada e segura (Geoffrey A. Moore, 1991)(EY, 2019).

Assim e até 2022 é de esperar segundo as previsões que a fabricação aditiva seja usada para finalizar peças por 46% das empresas ficando perto de atingir a penúltima fase, perspectivando assim neste momento, que a tecnologia se encontra na rampa de lançamento para a aceitação total por parte da indústria e do público alvo (Geoffrey A. Moore, 1991)(EY, 2019).

Assim e de acordo com estas duas teorias de aceitação da tecnologia conseguimos perceber que elas nos indicam em ambos os casos que a fabricação aditiva já largou aquele estigma de ser algo inovador, mas sem resultados. Ambas as previsões acabam por moldar-se e apresentar o prazo de 2 a 5 anos como o período em que a tecnologia terá maior impacto e conquistará maior público e o seu lugar na indústria, e assim a partir daí chegar a toda a indústria de forma mais generalizada por não ser já uma aposta de risco, mas sim um dado adquirido (Geoffrey A. Moore, 1991)(EY, 2019).

Apesar de tudo, quando surge uma nova tecnologia ela pode ser adotada na indústria de duas formas distintas, uma através da substituição direta em relação a um processo tradicional ou através do seu uso como forma a complementar as tecnologias e processos já utilizados. Assim e dos 46% de uso de tecnologia previsto para 2022, e através do inquérito a 900 empresas, chegou se aos seguintes valores apresentados na Figura 26, que retratam a aceitação da tecnologia (EY, 2019).

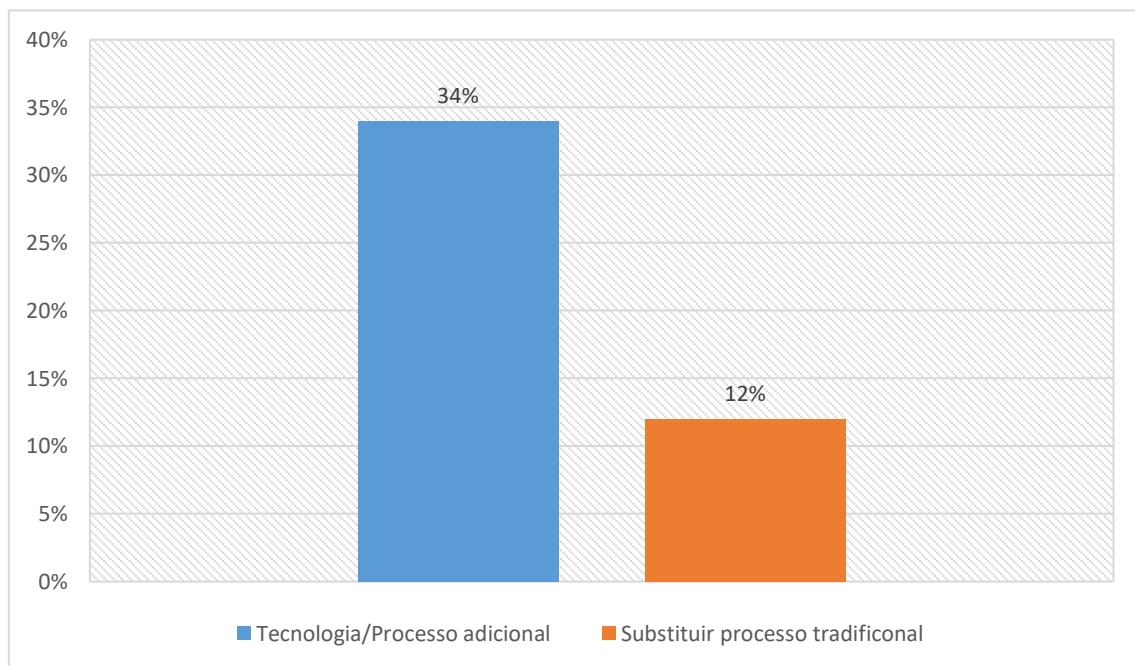


Figura 26 - Aceitação da tecnologia como processo novo ou adicional

Como podemos observar, dos 46% uma maioria clara considera que a fabricação aditiva não funcionará como um substituto dos métodos tradicionais, mas sim como mais uma alternativa viável aos métodos atuais. Fica claro também que as empresas consideram que uma tecnologia para poder ser substituída tem de apresentar características fundamentais como uma relação de custo menor, ou então apresentar uma qualidade muito melhor que poderá deixar o cliente mais satisfeito (EY, 2019).

Porém apesar de todas estas informações é necessário perceber onde se encontram distribuídos em termos percentuais os investimentos na tecnologia de impressão 3D como nos apresenta a Figura 27 (Report, 2020).

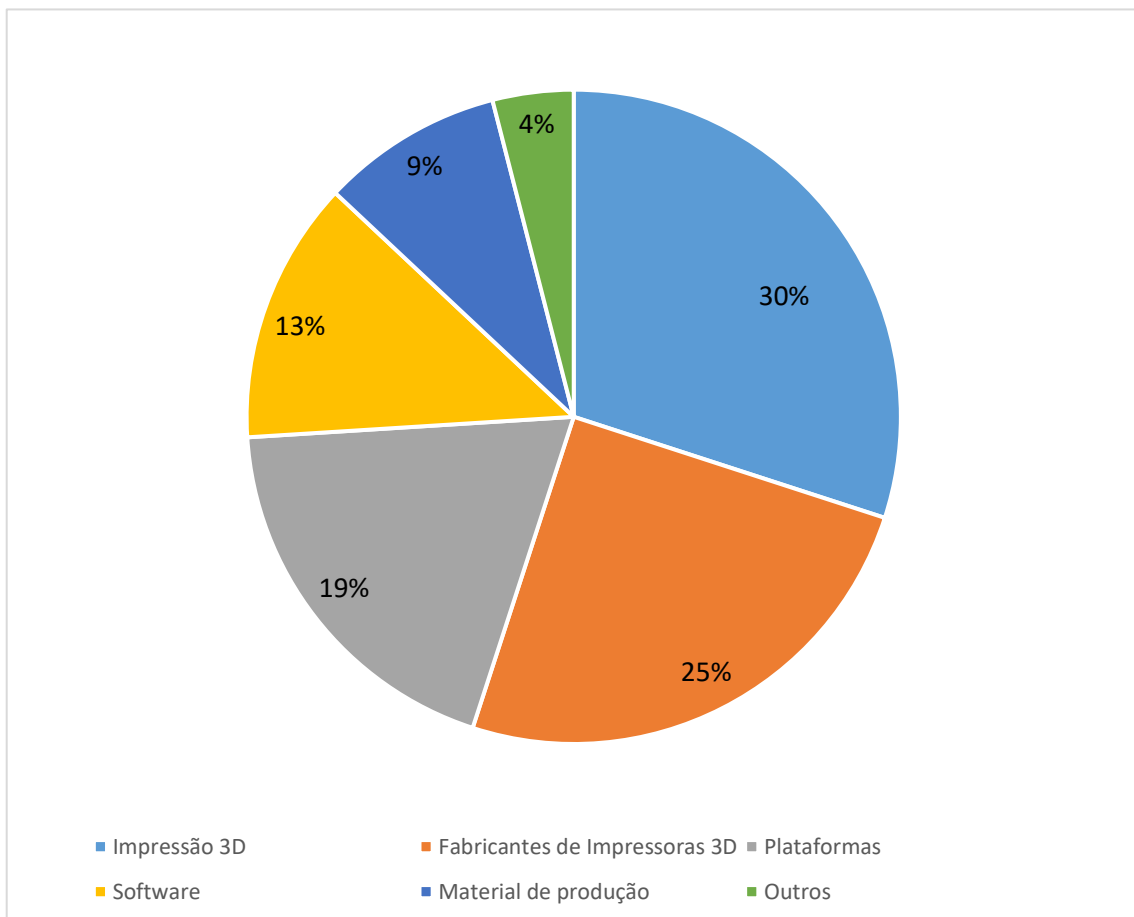


Figura 27 - Distribuição dos investimentos na tecnologia de Impressão 3D

Ao nível de investimentos, estamos a falar de investimentos de ajuda ao desenvolvimento tecnológico, bem como, de todos os investimentos provenientes da compra de impressora 3D, materiais e outros condicionantes essenciais para se poder fabricar um peça/produto através da impressão 3D. Os maiores investimentos cifram-se no desenvolvimento tecnologia e produção de hardware, estabelecendo o seu domínio ao nível de 55% do mercado. Atualmente de todos os investimentos realizados neste segmento de mercado provém de empresas de financiamento de capital de risco, e este é muito centralizado nos Estado Unidos da América com investimentos a rondar os 5 bilhões de dólares, porém nos últimos anos a Europa e a China tem tentando contrapor este investimento com ajuda de investidores privados ou programas da União Europeia que pretende promover a competitividade das economias locais para a fabricação aditiva e assim promover não só o conhecimento desta tecnologia, bem como atrair investimentos de forma a sustentar este crescimento sem colocar em causa o mesmo por falta de financiamento externo (Report, 2020).

Apesar de os Estado Unidos da América dominarem o mercado, atualmente assistimos a uma evolução positiva do número de pessoas interessadas, onde outrora apenas pequenos grupos de entusiastas aderiam. Assim tal não acontece atualmente, onde se realiza a maior feira anual de fabricação aditiva em Frankfurt, denominada de *Formnext* onde surgem cada vez mais pessoas a visitar a feira, bem como de expositores como demonstra a Figura 28 (EY, 2019).

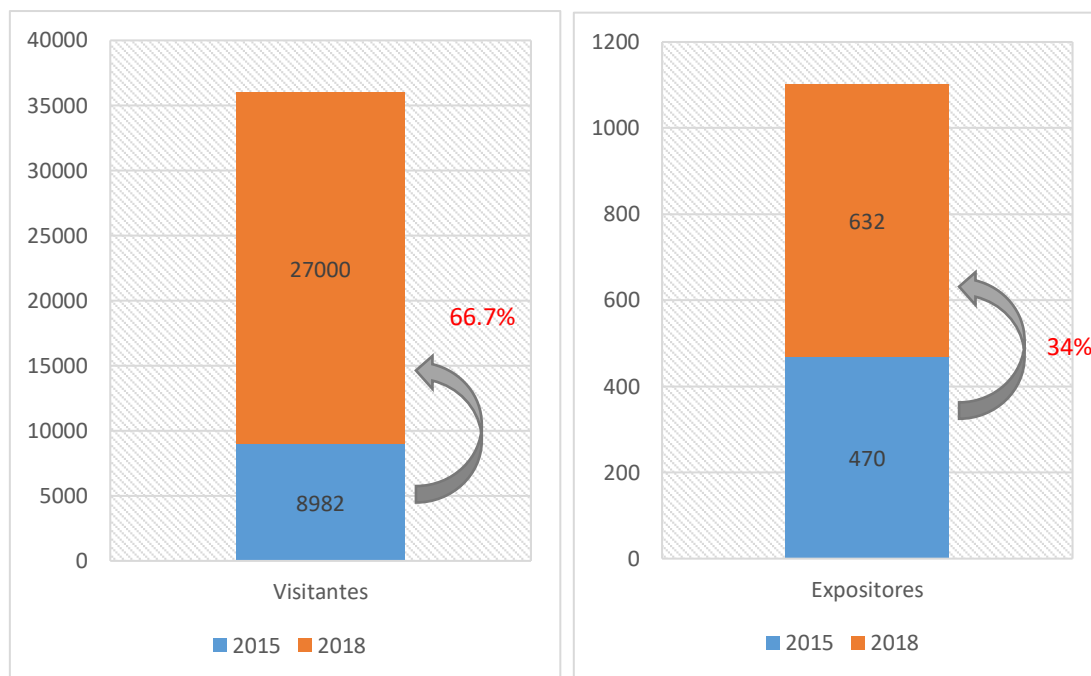


Figura 28 - Gráficos de Evolução de Visitantes e expositores na Formnext

Este aumento significativo traduz um maior interesse por parte do mercado em perceber e tentar aplicar esta tecnologia, tentando localizar perto de quem lida diariamente com a tecnologia as suas vantagens e desvantagens de forma a conseguir perceber até que ponto é que o investimento é ou não de risco (EY, 2019).

Porém e acompanhando esta evolução também as empresas no período de 2016 a 2019 começaram a ter mais contactos com as tecnologias de fabricação aditiva como representa a Figura 29:

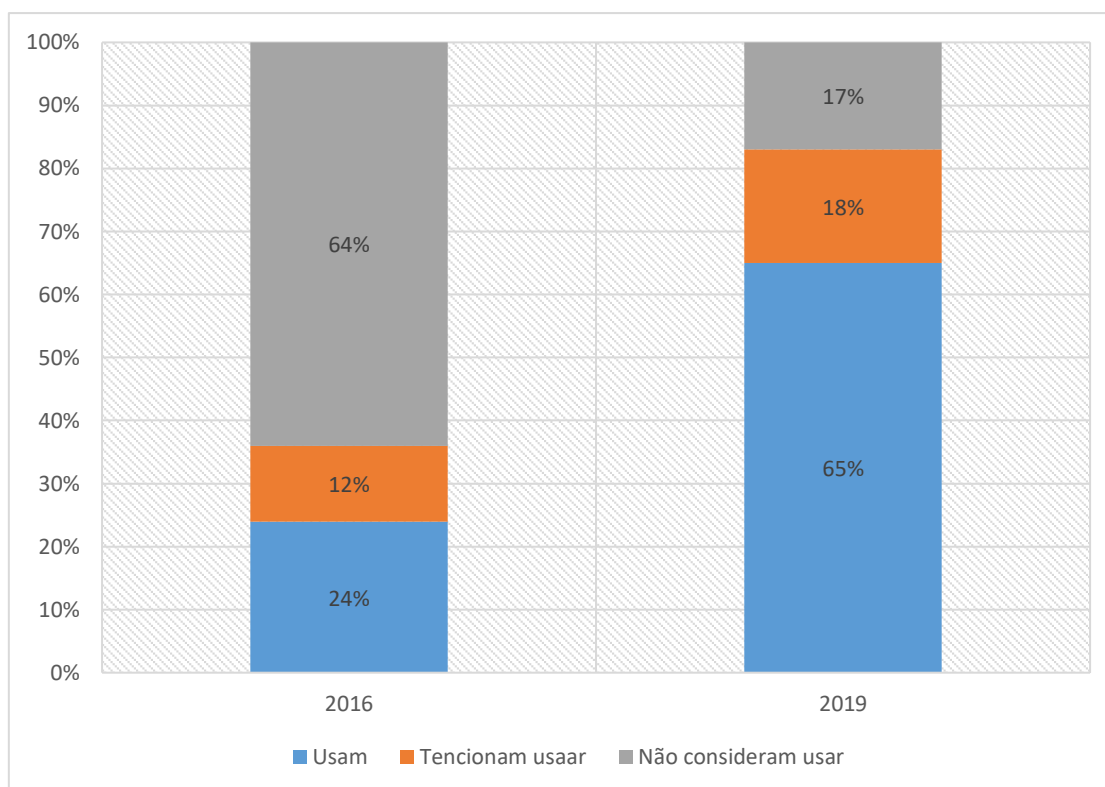


Figura 29 - Tendência de utilização da fabricação aditiva

Podemos observar então que entre o ano de 2016 e 2019, o mercado sofreu grande impacto positivo tendo a fabricação aditiva no estudo que engloba 900 empresas (n=900), sofrido aumentos de 41% ao nível do uso da tecnologia. Porém e ao invés do ano de 2016 onde a maioria não tencionava usar a fabricação aditiva, tal já não acontece aos dias de hoje onde apenas 17% ainda coloca reservas ao nível da sua utilização ou até mesmo porque não se enquadra a sua utilização ao que a empresa pretende (EY, 2019).

Para além, deste estudo sobre o aumento do uso da tecnologia de fabricação aditiva, e apesar de os investimentos confirmarem uma forte aposta nos EUA, ao nível do uso da tecnologia podemos verificar uma evolução bastante significativa em vários países como nos apresenta a Figura 30 (EY, 2019).

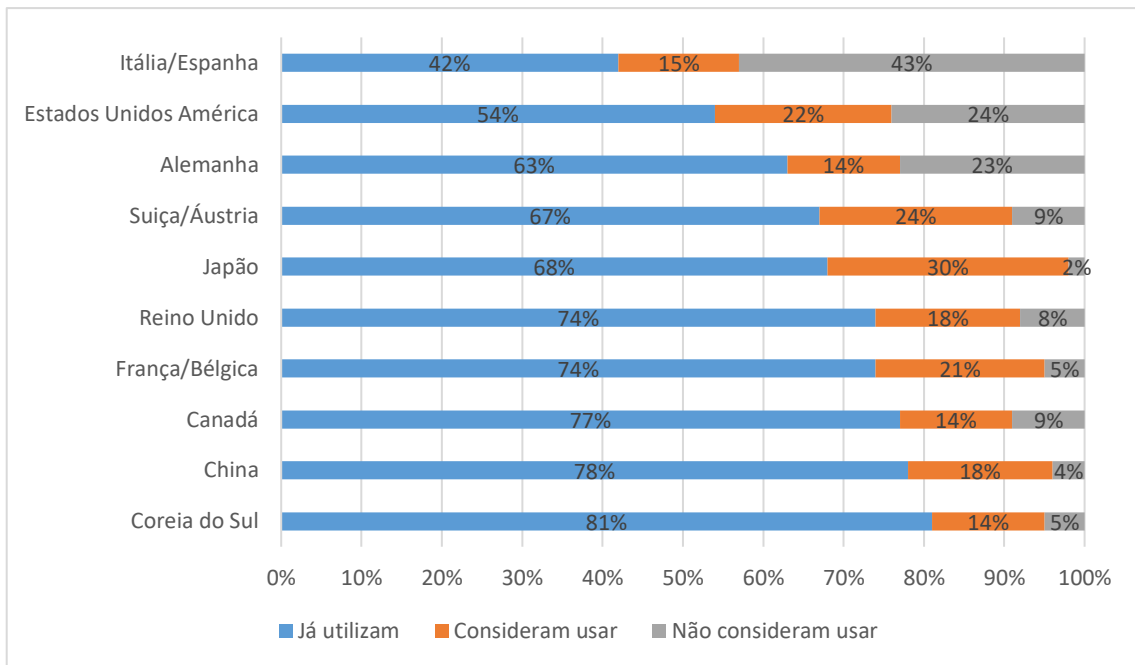


Figura 30 - Estado de utilização de impressão 3D por país

Como podemos observar atualmente existem países que já adotam em grande escala a fabricação aditiva havendo um conjunto de países com pequenas percentagens que não consideram utilizar a tecnologia, porém encontramos quatro países que não apresentam essa tendência. No continente Asiático ocorreu um crescimento significativo e uma aposta total na fabricação aditiva que indica, mais uma vez que é viável a sua utilização e fundamentalmente é importante em certas indústrias a sua expansão e crescimento, que permitem assim potencializar cada vez mais esta tecnologia. O caso de Itália e Espanha e da existência de 43% que não considera utilizar a fabricação aditiva prende-se com o facto de estes países terem grandes mercados como o têxtil e turismo onde ainda não se conseguiu encontrar uma simbiose que permita que a fabricação aditiva se destaque e se torne numa tecnologia indispensável ao desenvolvimento e produção (EY, 2019)(Eurostat, 2019).

Assim, e no caso asiático surge um grande aumento, que traduz essencialmente numa maior confiança perante a tecnologia disponível, e onde já se encontra alguma viabilidade que pode gerar grande vantagem competitivo a curto médio prazo. Tudo isto, sustentado com forte investimento governamental em desenvolvimento e inovação nos últimos anos que tem tornado a zona asiática, cada vez mais capaz, ao invés de situações de outrora onde a massificação de baixa qualidade era essencialmente a sua estratégia (Gan & Xu, 2019)(Zhou, Hong, Wu, & Marinova, 2019).

Porém e quando falamos de investimentos, muitas das vezes estes vivem de capitais de risco que tentam tornar a sua posição mais competitiva através da especulação, vendo defraudado muitas das vezes as expectativas elevadas criadas na comunidade. Assim, e quando falamos da fabricação aditiva percebe-se que apesar de todo o real impacto que

ela pode provocar na indústria, há mercados em que a sua presença nunca será sinónimos de ganho. Como tal e de forma a perceber em que mercados esta tecnologia é particularmente incisiva, tendo em conta o estudo de 900 empresas (n=900), como nos apresenta a Figura 31 (EY, 2019).

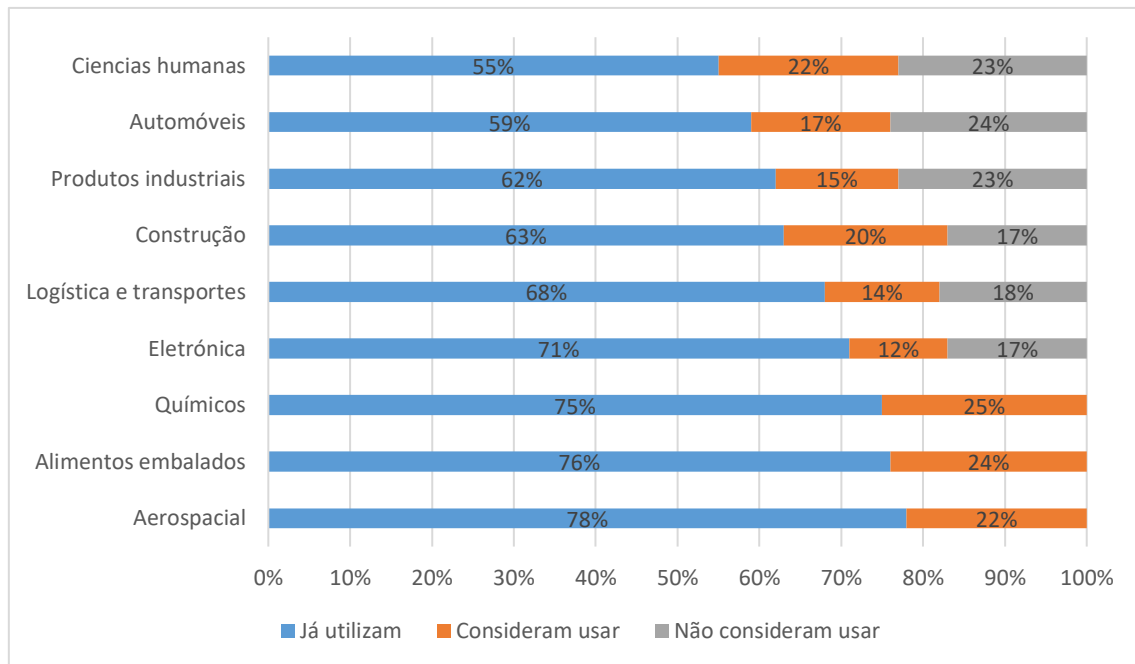


Figura 31 - Estado de utilização de impressão 3D por ramo industrial

Como podemos observar a indústria aerospacial domina atualmente, demonstrando que 78% das empresas afirma que usa regularmente a tecnologia. Este facto deve-se muito por terem sido uma das indústrias pioneiras na sua utilização, verificando muito antes de outros modelos negócios que poderiam adquirir vantagem competitiva. Outras indústrias que surgem com aumentos significativos, tiveram de se reinventar de forma a que fosse possível a sua utilização, e assim diminuir a sua dependência de certas tecnologias que faziam com que o seu mercado fosse condicionado, e em muitos casos com preços elevados, provocados não só por ser solução única, mas por ser a mais eficiente e a que permitia garantir confiança por parte dos parceiros económicos. Tal paradigma tem alterado, e daí provém este aumento do uso da fabricação aditiva (EY, 2019).

Porém o uso da fabricação aditiva é amplo, podendo-se segregar em várias partes distintas. Porém e de forma a focalizar o estudo, pretendemos realizar o estudo nesta fase nas empresas que usam a fabricação aditiva, com o objetivo de promover a impressão de peças funcionais. Como já foi referido anteriormente, o foco da fabricação aditiva prende-se com os componentes para uso final de peça, ferramentas ou moldes para técnicas de fabricação tradicionais e peças de reposição. Como podemos observar na Figura 32, apresenta a distribuição da fabricação aditiva por estas três componentes (EY, 2019).

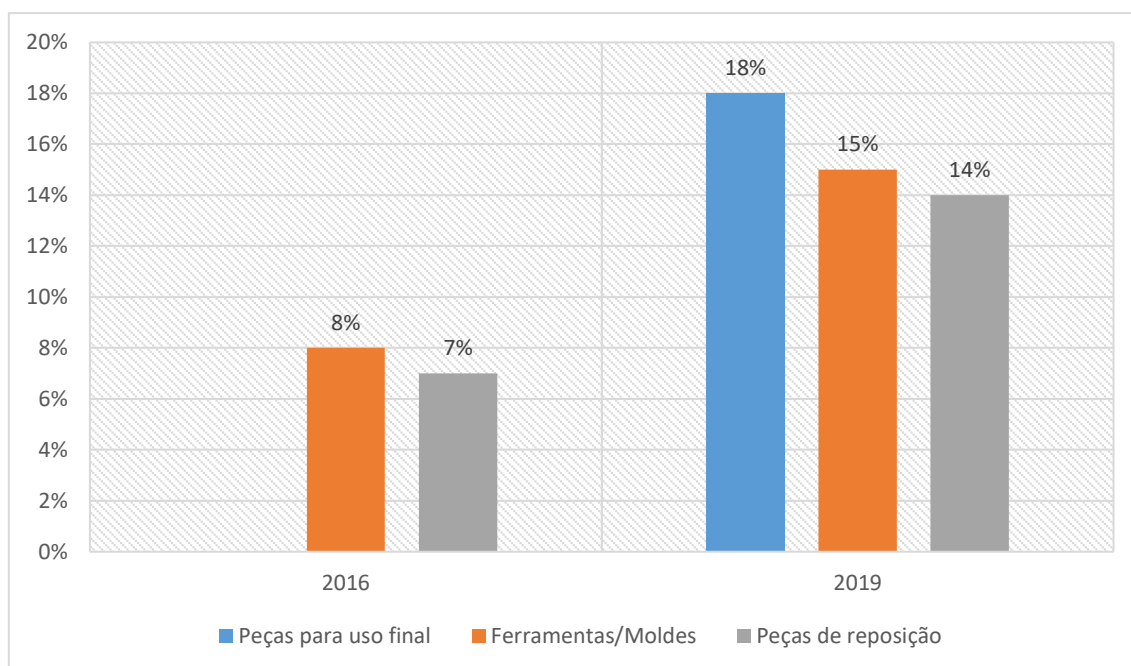


Figura 32 - Finalidade da utilização das impressoras 3D por parte das empresas

Como podemos observar, entre o ano de 2016 e 2019 a produção de ferramentas/moldes e peças de reposição duplicaram alcançando atualmente 15% e 14% respetivamente. Estes aumentos devem-se no caso das peças de reposição pelo facto de muitas empresas terem constatado que os custos pós-venda, com reparações muitas das vezes não são viáveis porque geram grandes stocks em inventários, muitas das vezes com peças desatualizadas. Assim e com recurso a fabricação aditiva conseguem produzir de forma rápida e localmente a peça de substituição, conseguindo reduzir os custos anteriormente descritos. No caso da produção de ferramentas/moldes para métodos de fabrico tradicionais a utilização também duplicou porque principalmente ao nível da indústria automóvel constatou-se uma grande poupança através da sua fabricação por impressão 3D (EY, 2019).

Apesar de observarmos uma aceitação das empresas perante a tecnologia, este mercado ainda está na sua fase inicial sendo por isso esperado um crescimento no volume de mercado rápido nos próximos anos como apresenta a Figura 33 (Report, 2019).

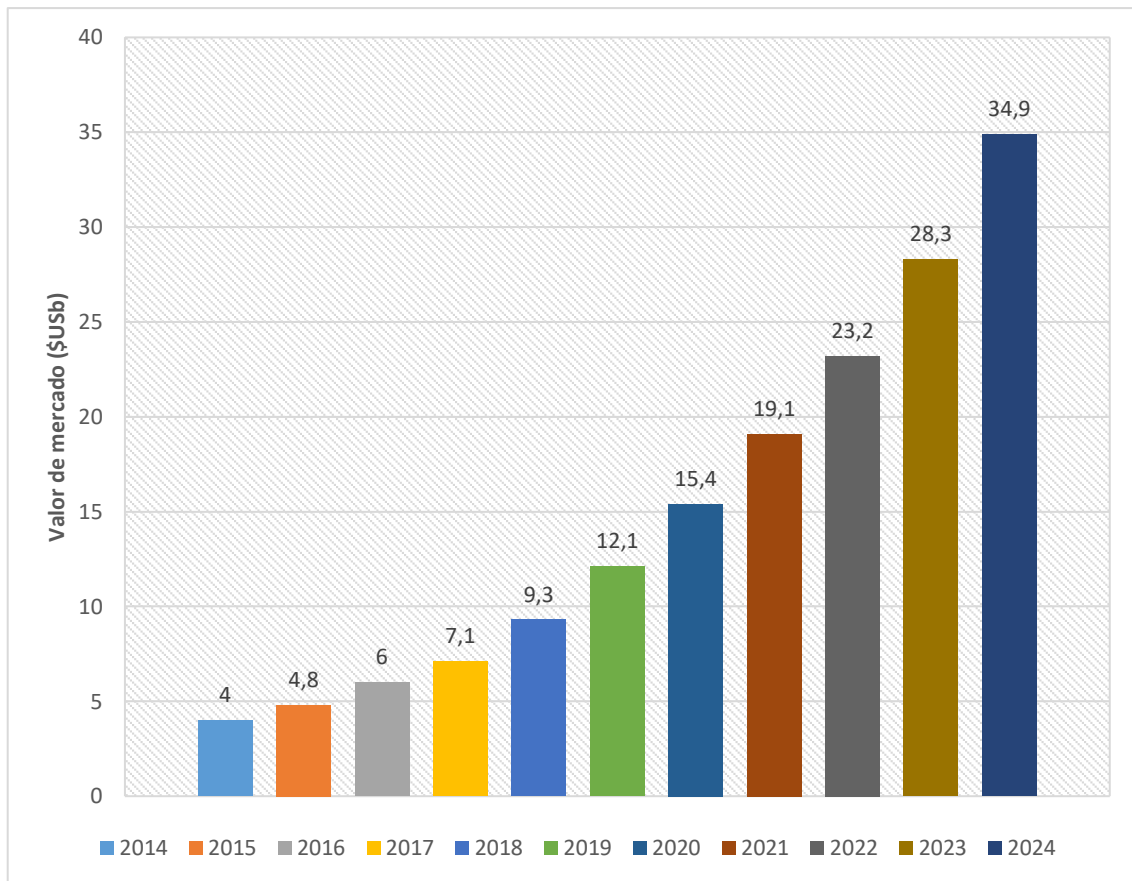


Figura 33 - Evolução do mercado da tecnologia de impressão 3D

O gráfico traduz os dados analisados por dez especialistas no mercado que avaliaram o mercado nos últimos anos, e com a ajuda de informações disponíveis tentaram produzir uma previsão mais próxima possível daquela que pode ser a realidade. Com base no que foi obtido podemos assistir a um crescimento rápido no valor de mercado nos próximos anos, onde em geral ocorre um aumento de 25% entre cada ano do valor de mercado. Porém e uma vez que o gráfico trabalha com dados precisos, e como sabemos no mercado nem tudo corre como o esperado os especialistas preveem que o crescimento nunca será mais baixo que 20% entre anos, e que o mais alto será de 28%, sendo este último dado para um ano fora do comum. Estas variações ocorrem uma vez que o valor de mercado da fabricação aditiva depende da taxa de adoção que virá a ter para o acabamento de peças de produção em série, bem como fatores externos relacionados com a economia ou fenómenos não esperados como por exemplo a pandemia do Covid-19 (Report, 2019).

Assim, e como podemos observar por todos os dados apresentados podemos afirmar que a fabricação aditiva vive momentos muito bons que fazem prever um crescimento não só da sua adoção, bem como do seu valor de mercado, porém enfrenta ainda muitas barreiras para alcançar a sua expansão de forma mais abrangente na indústria. Uma das suas maiores capacidades e que permite que estejam muito em foco, é que todas as indústrias tentam encontrar nela solução, e também o facto de ser um ingrediente

essencial na era da indústria 4.0 permitem perspetivar todo este crescimento fundamentando pelas mais diversas teorias e pelo estudo do mercado (Lee, Paul; Stewart, Duncan; Loucks, Jeff; Arkenberg, 2019).

3.2 Fabricação aditiva nas comunidades de projeto aberto

3.2.1 Patentes na fabricação aditiva

Como sabemos, e aos dias de hoje, todas as inovações tecnológicas e produtos diferenciados que surgem são patenteados pelas empresas a nível mundial. Num mundo cada vez mais industrializado temos assistido a uma evolução não só no número de inovações ano após ano, bem como do aumento da necessidade de proteger o produto da concorrência de forma a evitar a imitação, apesar de facultar informações fulcrais para desenvolvimentos mais atrasados de concorrentes. Assim, e como apresenta a Tabela 7, que fornece algumas vantagens e desvantagens da criação de patentes (de Almeida et al., 2011).

Tabela 7 - Vantagens e desvantagens das patentes (de Almeida et al., 2011)(Cohen, 2001)(Basberg, 1987) -

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Recompensa o criador da ideia, não só pelo seu investimento, bem como pelo risco que correu. • É impulsionador de inovação, uma vez que obriga mais empresas a alocar recursos para superar inovações, ao invés do que aconteceria se não fosse possível patentear e fosse só replicar. • Permite vantagens na comercialização de um dado produto podendo não só garantir em alguns casos exclusividade, bem como proporcionar royalties, ou seja, permitir que terceiros explorem essa tecnologia, mas com ganhos financeiros diretamente ligados a essa exploração. 	<ul style="list-style-type: none"> • Custos elevados de registo de uma patente • Em alguns casos, torna-se um fator de diminuição de competitividade, onde surgem “monopólios temporários”, impedindo algumas vezes para o impedimento de avanço tecnológico e também aumentar os custos de transação para o cliente final. • O sigilo ainda continua a ser considerado uma forma mais viável de garantir o resguardo da informação, ao invés das patentes.

- Gera contributo para a sociedade uma vez que a obtenção de patentes proporciona obtenção de informações importantes para a comunidade que podem gerar avanços tecnológicos no futuro.
- Incentiva o uso de I&D das empresas e os investimentos nesta área que tornam os seus retornos mais viáveis através das patentes.

Como é possível observar, as patentes apresentam mais benefícios para a comunidade do que desvantagens, e acabam por garantir que a disputa industrial tende a estender-se até certos limites onde imperam sempre os conhecimentos de quem os desenvolve primeiro, daí e no futuro ser cada vez mais preferível a troca do sigilo que depende da capacidade humana, do que da criação de patente que garante a proteção por força maior, como a justiça (de Almeida et al., 2011).

Assim e de forma a percebermos o estado atual das patentes a nível mundial representado na Figura 34, que retrata a evolução do número de patentes nos últimos anos (OMPI, 2019).

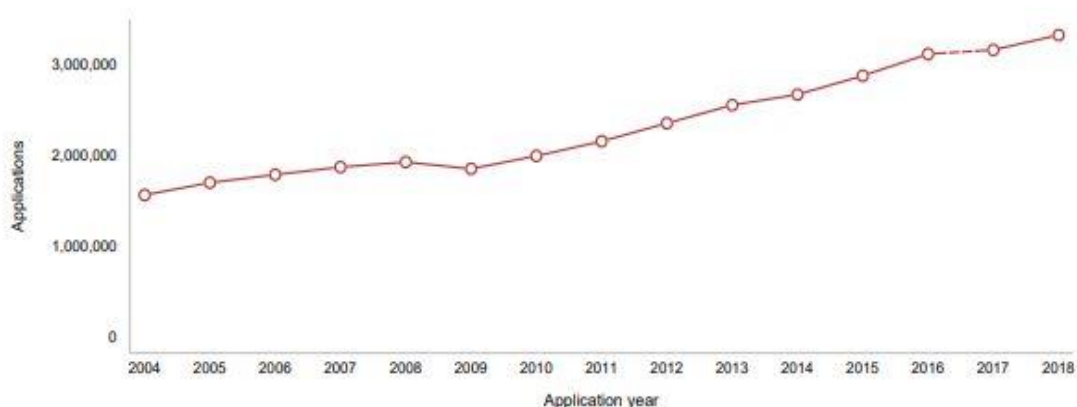


Figura 34 - Evolução do número de patentes (2004-2018) (OMPI, 2019)

Como podemos observar o aumento do número de patentes no período de 2004 a 2018 tem sofrido aumentos progressivos, sendo o ano de 2009 o único ano em que isso não ocorreu, uma vez que o mundo enfrentava a maior crise económica do período em estudo, onde ocorreu o desinvestimento por parte de grandes empresas, que tiveram de ajustar os seus custos, diminuindo a mão de obra e os financiamentos para novos

projetos. Acompanhado tudo isto, muitas indústrias não resistiram explicando assim a diminuição do número de patentes nesse período (OMPI, 2019).

Porém quando falamos de patentes elas podem ser obtidas nos diferentes países em duas vertentes, tais como patente de residente e patente de não residente. A Figura 35 indica-nos como se encontram distribuídos os 3,3 milhões de patentes nestes dois parâmetros (OMPI, 2019).

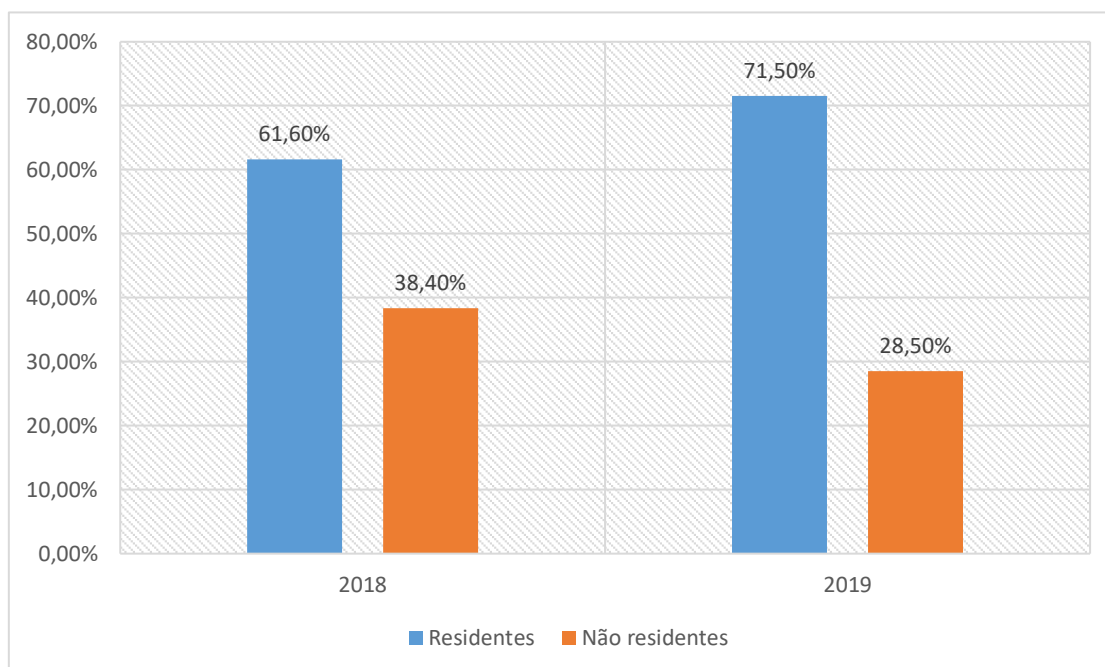


Figura 35 - Distribuição das patentes em residentes e não residentes

Através dos dados percebemos que houve um aumento de 9.9% em patentes residentes entre 2018 e 2019, verificando-se o inverso para as não residentes. Isto deve-se em grande parte ao facto do aumento de patentes na China em que a esmagadora maioria são patentes residentes como observamos na Figura 36 (OMPI, 2019).

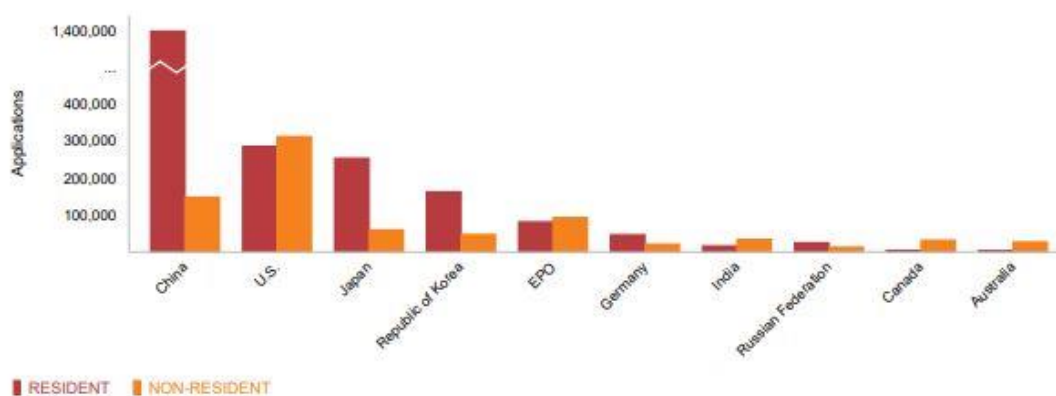


Figura 36 - Comparação patentes entre países (OMPI, 2019)

Apesar de anteriormente os Estados Unidos da América terem dominado o mercado económico e por consequência o das patentes, tal já não se verifica aos dias de hoje. Porém o domínio atual da china indica-nos um desenvolvimento interno enorme do país, onde tem surgido cada vez mais inovações e produtos com grande potencial que levam assim a um crescimento de patentes residentes. Porém, quando falamos das patentes não residentes percebemos que os EUA continuam a dominar o que demonstra que o mercado é mais atrativo e onde as empresas acreditam que podem gerar valor com a sua inovação. Isto deve-se ao facto de uma patente não representar um segmento mundial, mas sim de país ou região, ficando ela salvaguardada apenas no local onde é subscrita, apesar de ser extensível para todo o mundo através de pedidos para abranger todas as regiões (OMPI, 2019).

Assim e de forma a percebermos melhor como se encontra a distribuição de patentes a nível mundial pelos cinco continentes surge a Figura 37, que subdivide o continente americano em norte e sul (OMPI, 2019).

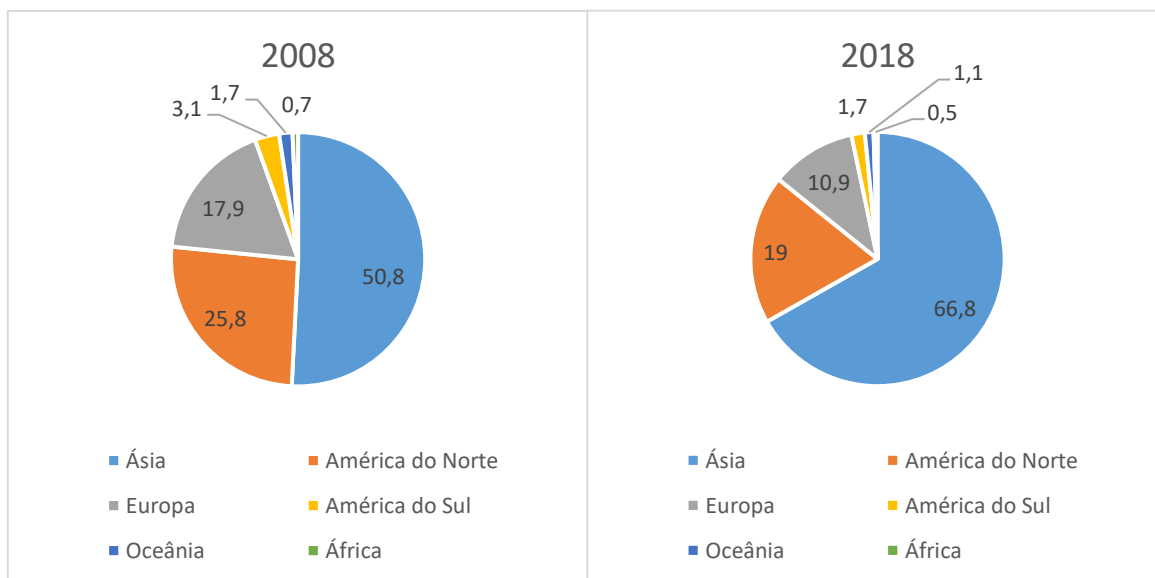


Figura 37 - Comparação da distribuição patentes 2008-2018

É possível observamos que continentes subdesenvolvidos e sem capacidade financeira, praticamente representam muito pouco na percentagem de patentes a nível mundial como é o caso de África, América do Sul e Oceânia. Se nos dois primeiros casos a pequena percentagem reflete as dificuldades financeiras que pairam sobre a generalidade dos países que os constituem, no caso da Oceânia tal não se verifica uma vez que existem condições financeiras e de desenvolvimento boas, porém a sua pequena extensão territorial reflete estes resultados. Outra das justificações para estes dados mais baixos nestas três regiões devem se ao facto de não serem mercados atrativos não havendo interesse muitas das vezes de ocorrer a criação de patentes de não residentes, a não ser para marcas de escala mundial (OMPI, 2019).

Porém, e de forma a enquadrarmos a fabricação aditiva ao nível das patentes e perceber a sua evolução surge a Figura 38 (Iplytics, 2019).

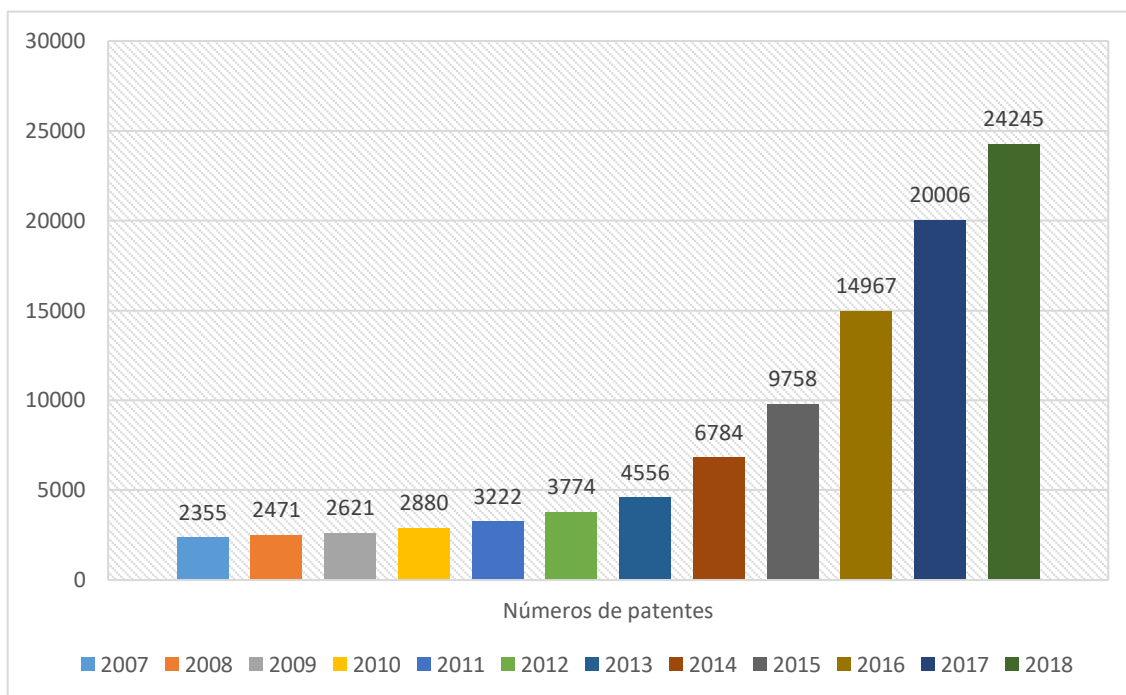


Figura 38 - Evolução de patentes na fabricação aditiva 2007-2018

Como podemos observar, e como já foi descrito anteriormente a fabricação aditiva tem apresentado um crescimento rápido no número de utilizadores e no mercado económico que gera, justificando assim em grande parte este aumento. Uma vez que surgem cada vez mais empresas que utilizam a tecnologia de fabricação aditiva, o número de patentes tende a ser diretamente proporcional a esse aumento, uma vez que é a garantia de muitas empresas que adquirem a vantagem competitiva primeiro, e assim a garantia do retorno dos seus investimentos. Outro dos fatores que pode potenciar ainda mais este crescimento é o facto da fabricação aditiva congregar muitas possibilidades diferentes, desde componentes a materiais e até mesmo softwares (Bildosola & Cilleruelo-carrasco, 2019)(Iplytics, 2019).

Apesar de quando falamos de patentes a China ser o país a nível mundial com mais patentes, tal não acontece ainda na fabricação aditiva como sugere a Figura 39 (Iplytics, 2019).

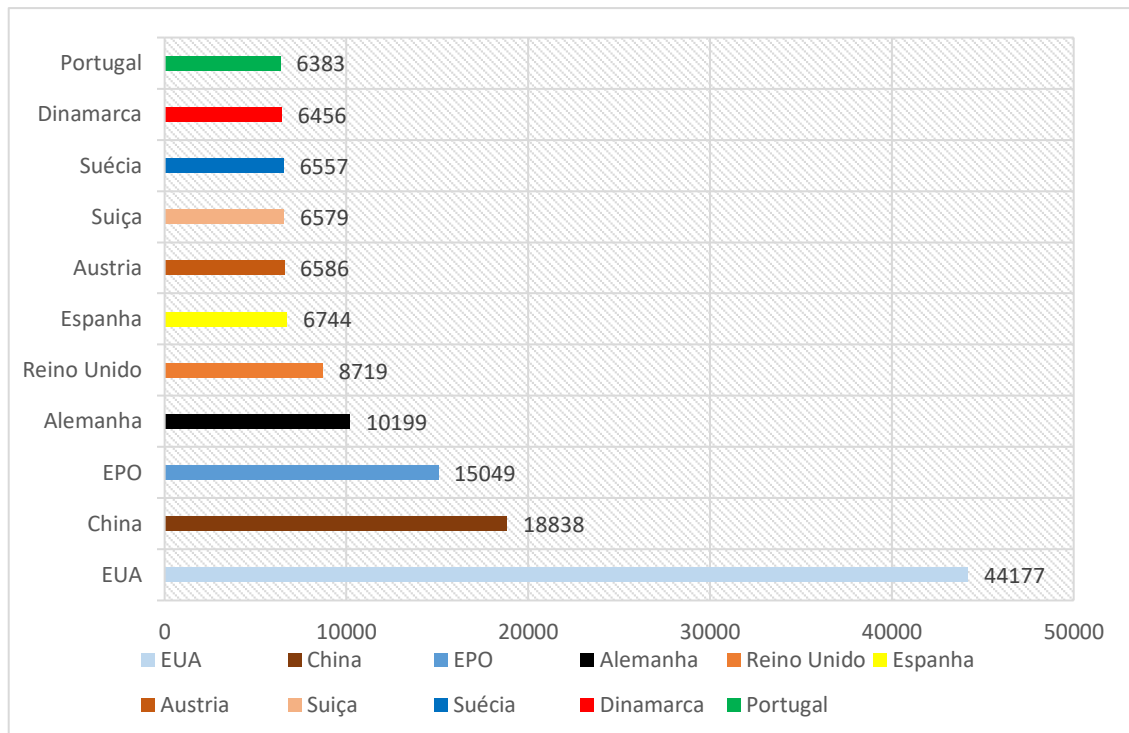


Figura 39 - Número de patentes na fabricação aditiva por país

Assim, e como podemos observar os EUA dominam o mercado de patentes no ramo da fabricação aditiva, porém a Europa domina o mercado quando considerada como um todo, uma vez que a EPO para além de assumir a terceira posição dos que detém mais patentes, ainda retém muitas outras espalhadas pelos países diferentes das que a EPO considera. Porém, e seguindo a tendência da economia e da indústria, bem como das patentes é de esperar que à medida que a fabricação aditiva vá ganhando cada vez mais quota de mercado a China e os EUA criem um fosso maior entre eles e os restantes países europeus, uma vez que a nível económico conseguem garantir mais facilmente verbas para apoiar projetos de I&D que serão bases de produtos e tecnologias que tem na sua gene a fabricação aditiva, e que serão de forma incontornável patentes relacionadas com a mesma (Iplytics, 2019).

Porém e apesar de conseguirmos perceber por países onde estão alocadas as patentes é interessante perceber de que maneira é que elas se encontram distribuídas nas empresas e instituições, e essencialmente em que ramos, como é possível observar na Figura 40 (Iplytics, 2019).

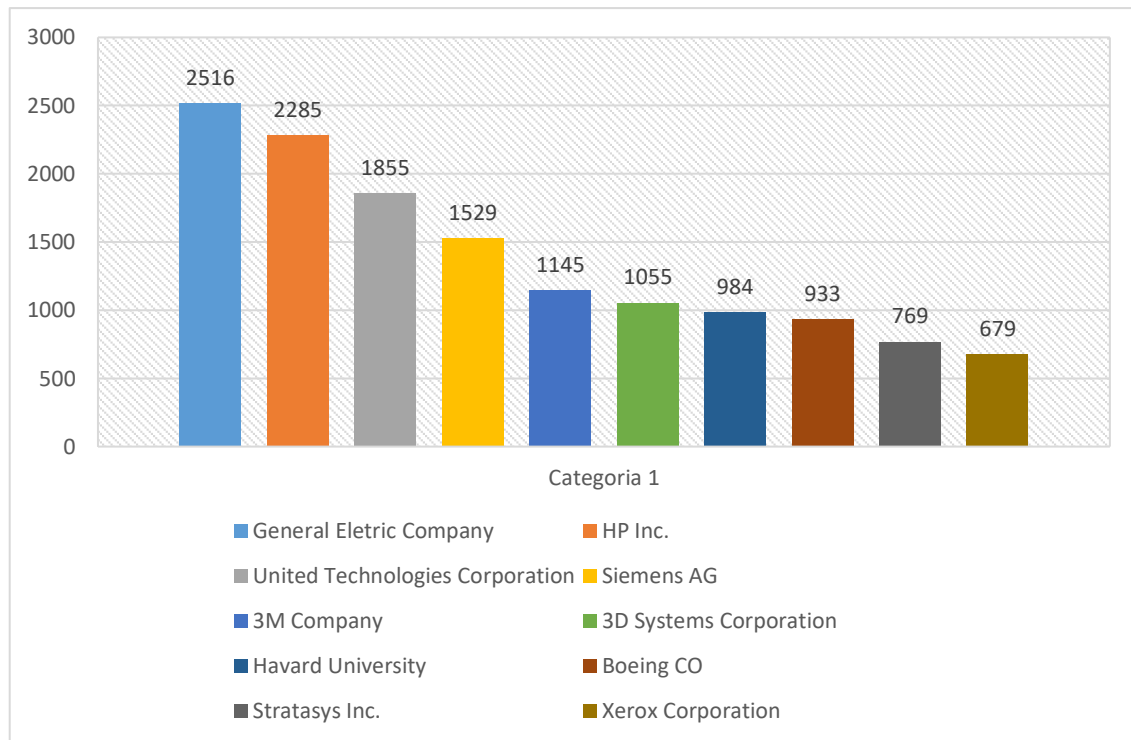


Figura 40 - Distribuição de patentes entres empresas/instituições na fabricação aditiva

Ao nível das empresas/instituições que dominam o mercado observamos que não há nenhuma a dominar por completo o mercado, o que mais uma vez indica que a tecnologia de fabricação aditiva já se encontra a ser usada por muitas empresas, que assim vão gerando patentes dos seus produtos que tem por base a fabricação aditiva. Porém é necessário percebermos também que estas patentes alocam-se a três dimensões totalmente diferentes. Essas dimensões são a de patentes criadas de produtos gerados a partir de fabricação aditiva, as patentes de hardware e as patentes de software, sendo difícil, porém de atribuí-las aos diferentes enquadramentos por haver muitas das vezes alto grau de ligação entre elas e por ainda estar numa fase inicial da tecnologia, onde é difícil alocar as patentes às suas categorias (Iplytics, 2019).

Se as patentes são importantes e muitas das vezes são um fator de promoção do desenvolvimento e investimentos em I&D, acabam por ser também um fator de retorno. Porém as comunidades de projeto aberto oferecem outras opções, e apesar de ainda serem vistas como algo que não é consensual, começam cada vez mais a ganhar rosto, surgindo assim cada vez mais casos que demonstram que a comunidade de projeto aberto poderá fazer sombra aos métodos de patenteação de produtos e tecnologias, sendo alternativas claras a todos os utilizadores (Chu & Cozzi, 2018)(Pearce, Business, Source, Journal, & Pearce, 2019).

Patente FDM vs FFF do projeto aberto

Quando falamos de FDM, fabricação de filamentos fundidos por deposição, referimo-nos à tecnologia patenteada da *Stratasys* que trabalha com impressoras especializadas em termoplásticos de grau de produção que tem capacidade de produzir peças fortes e com grande durabilidade, permitindo ao mesmo tempo que tal ocorra com a melhor precisão e que garante com grande percentagem de sucesso a repetibilidade. Por sua vez a FFF, fabricação de filamentos fundidos, descreve o processo de impressão 3D numa vertente de projeto aberto, uma vez que é exatamente igual à FDM ao nível da tecnologia, porém foi necessário criar este conceito paralelo de forma a que as comunidades pudessem debater de forma correta e sem violar a patente registada e que muitas empresas utilizam (Ćwikła, Grabowik, Kalinowski, Paprocka, & Ociepka, 2017) (Laplume, Petersen, & Pearce, 2016).

Progresso de indústrias com patentes em fabricação aditiva vs Progresso em comunidade de projeto aberto

Quando entramos no campo do I&D na indústria, ou seja, em projeto fechado dentro das empresas as melhorias ocorrem de forma mais lenta, não só porque as propriedades intelectuais estão alocadas a um grupo restrito de pessoas, bem como a necessidade das empresas muitas das vezes terem um lote reduzido de recursos de forma a garantirem a sua sustentabilidade, e que acabam por inibir o progresso acentuado e constante. Porém quando falamos das comunidades dos projetos abertos falamos de uma realidade totalmente díspar em relação à realidade do I&D uma vez que inclui muitos mais participantes que promovem trajetórias de evolução acentuadas com progressos constantes, que promovem novos projetos que são diariamente publicados na comunidade. Através disso consegue-se promover grandes inovações agregando um pouco desta constante evolução diária, sendo assim uma realidade totalmente diferente do que acontece na indústria (Foss & Pedersen, 2004)(Laplume et al., 2016).

Impressora 3D patenteada vs impressora 3D projeto aberto

Ao nível de hardware e apesar de já surgirem modelos desde a década de 80-90, a partir do início dos anos 2000 começaram a surgir modelos de impressoras cada vez com mais capacidades, todas elas desenvolvidas em processo de I&D industrial, fazendo com que surgissem cada vez mais variantes com melhores resoluções, maior quantidade de cores disponíveis e tempo de impressão cada vez mais diminutos. Porém e apesar de todas estas vantagens falamos em impressoras que custam entre 20000 US\$ e 30000 US\$, porém se estivermos a falar de impressão a metal facilmente esse valor ascende a 500000 US\$. Porém e apesar destes preços a nível industrial estas foram adquiridas de forma mais ampla nas grandes empresas, uma vez que havia a garantia de qualidade. Por sua vez, surgiu na comunidade um projeto aberto, *RepRap*, que se foca num

mercado de produção doméstico ou indústrias de menor dimensão. A *RepRap* conseguiu assim apresentar um modelo numa fase inicial capaz de imprimir vários produtos e ao mesmo tempo tornar-se numa máquina auto replicável uma vez que consegue imprimir quase todos os seus componentes, tornando-se assim num recurso único e de baixo custo, que beneficia em larga escala negócios domésticos e indústrias com menos recursos. Outras das vantagens insere-se no facto de estar disponibilizado todo o software por detrás do equipamento que possibilita a sua alteração e assim promover a sua inovação e novos modelos que tornam esta tecnologia disruptiva uma vez que promete provocar rutura com os padrões estabelecidos pelo mercado. Aliado a tudo isto o preço de uma versão *RepRap* pode andar por valores inferiores a 1000 US\$. Atualmente e acompanhando este projeto já existem outros como por exemplo o *Ultimaker*, que acaba por ser semelhante ao projeto *RepRap*, porém nem todas as peças são passíveis de serem replicáveis (Stanko, 2020)(Ćwikła et al., 2017)(Jones et al., 2011).

De forma a contrariar esta tendência de baixo preço, uma vez que não há licenças nem *royalties* para pagar, as comunidades de projeto aberto aumentaram e conseguiram oferecer mais soluções ao mercado, porém e de forma a contrariar essa tendência também a nível industrial começaram a surgir impressoras 3D alternativas de baixo custo (menos de 2000 US\$) com muitas limitações a nível produtivo uma vez que só permitem imprimir num determinado plástico que normalmente essa mesma empresa fornece. Por sua vez, nos projetos abertos e nas melhorias recentes tem surgido a possibilidade de impressão num lote maior de materiais, como metais, e também a possibilidade de impressão com mais que um tipo de material, com várias cabeças de impressão que permite que a resolução seja cada vez melhor, e assim haja maior área de impressão. Surgiram também cada vez mais melhorias a nível de simplificar as montagens e manutenção, tornando-as cada vez mais máquinas auto replicáveis de grande competência (Ćwikła et al., 2017)(Jones et al., 2011).

Como já percebemos a fabricação aditiva tem vindo ao longo dos anos a encontrar o seu segmento de mercado e tem cada vez mais utilizadores, alavancando novos modelos de negócio que se tem vindo a destacar também por conseguir congrega no seu conceito de projeto aberto, comunidades abertas de hardware (máquina de impressão 3D) e de software (CAD/CAM livres) (Stanko, 2020)(Ćwikła et al., 2017)(Jones et al., 2011).

Porém, e para que seja possível estas comunidades de projeto aberto promoverem o desenvolvimento da fabricação aditiva através de alternativas de hardware e software é necessário compreender que as patentes muitas das vezes são restritivas em muitos modelos de negócio. Assim, e uma vez que facilmente pode-se conseguir introduzir mudanças sem recorrer ao uso inapropriado de uma patente com recurso à mudança de design, a fabricação tornou-se num “nicho” de mercado que poderá fazer crescer estas comunidades de projeto aberto e assim também expandir esta filosofia e metodologia a outras áreas industriais. O seu principal entrave é combater contra grandes indústrias cujo monopólio e fonte de capitais são enormes e que de uma

maneira ou de outra tentam travar este crescimento e impedir que estas comunidades se tornem autónomas. Porém, para empresas de menor dimensão podem surgir nestes mercados alternativas muito baratas e oportunidades de I&D na comunidade que lhe permitiram grandes evoluções e acrescentar valor ao seu produto sem sacrificar economicamente com mão-de-obra qualificada que nunca superará o número de recursos disponíveis nestas comunidades e fariam com que a curva de desenvolvimento fosse lenta, ao invés da curva acentuada que os projetos abertos possibilitam (Stanko, 2020)(Ćwikła et al., 2017)(Jones et al., 2011).

3.2.2 Projeto Aberto de Hardware

Quando abordamos o hardware da fabricação aditiva referimo-nos às impressoras 3D, porém a nível de dados não é fácil quantificar o crescimento e obter dados recentes, sendo por isso necessário quantificar o mercado em termos de valores monetários gerados para os dados mais recentes ao invés do total de unidades vendidas anualmente onde só dados do período de 2011 a 2015 se encontram disponíveis (HAPTIC,2016).

Porém e de forma a clarificar o estado do mercado de hardware da fabricação aditiva, começaremos por analisar os números relativos a vendas de impressoras 3D entre 2011 e 2015 como sugere a Figura 41 (HAPTIC,2016).

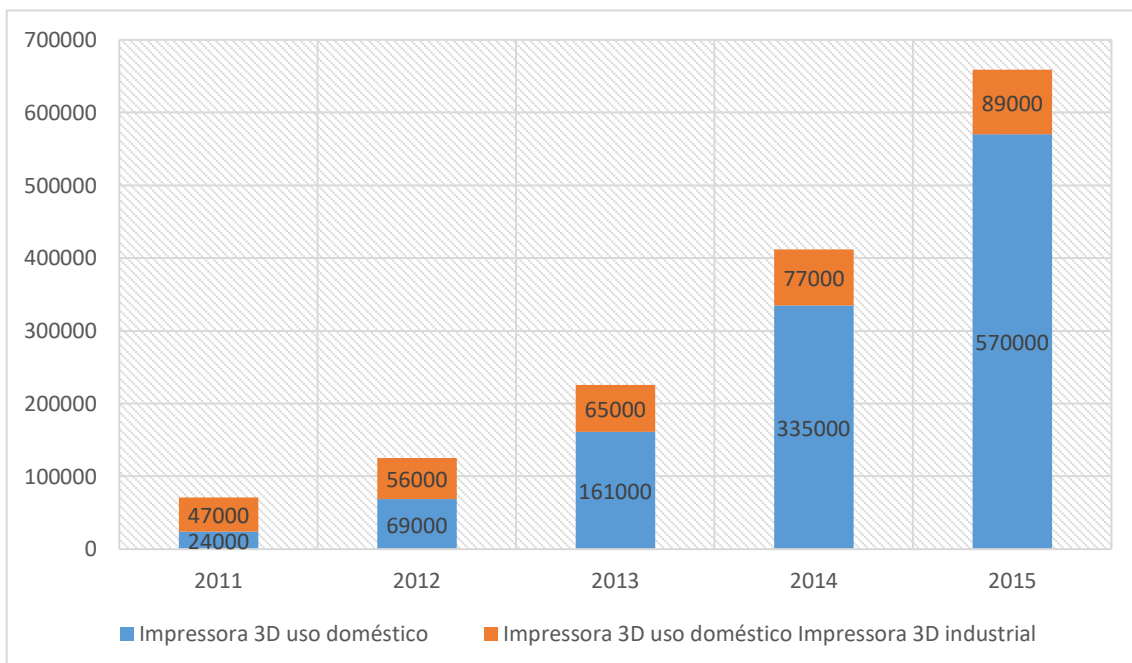


Figura 41 - Nº de impressoras 3D vendidas

Como podemos observar, a evolução nestes anos demonstra e espelha o crescimento da fabricação aditiva e da sua preponderância no mercado ao nível do hardware. Porém e como podemos observar apesar de haver crescimento do número de impressoras 3D industriais, estas foram perdendo o domínio, onde se percebe que o mercado de

impressoras 3D para uso doméstico é dominante sendo esta a maior fração do público alvo (HAPTIC,2016).

Assim e de forma a perceber quanto é que este mercado gera atualmente com a venda de hardware representado na Figura 42, que analisa os anos 2017 e 2018 e que apresenta previsões para 2023 (Maurizio, Candidate, & Peroncini, 2018).

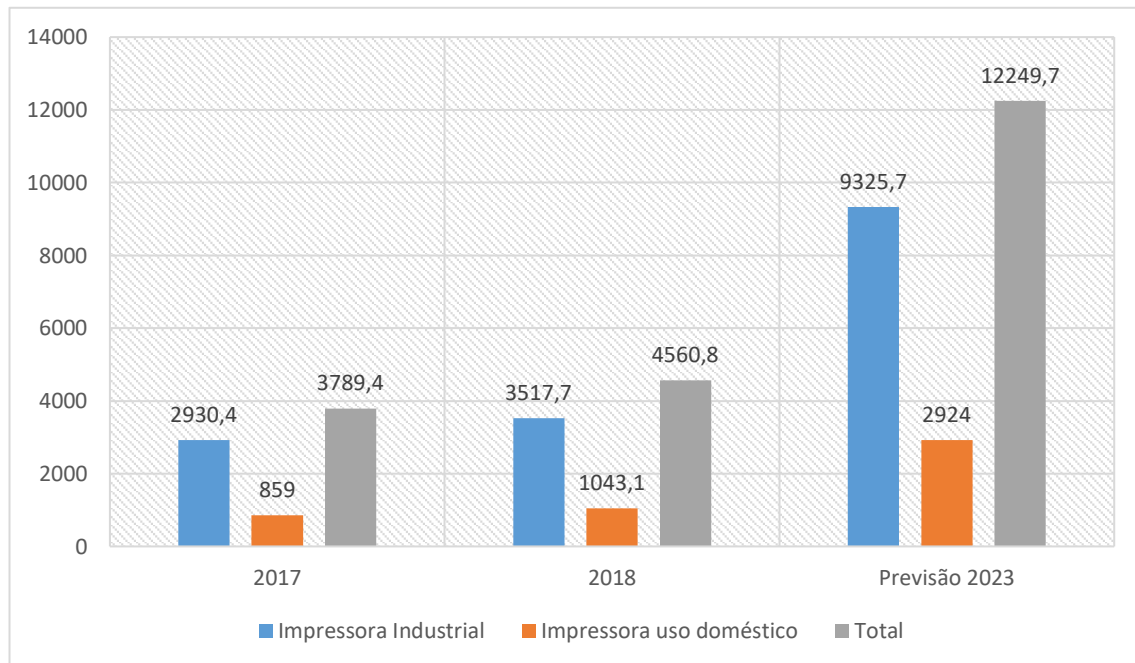


Figura 42 - Mercado de impressoras 3D em Milhões de Dólares

Assim e de acordo com os dados fornecidos pela *BBCresearch*, podemos observar que o mercado de hardware de fabricação aditiva em 2017 localizava-se nos 3.8 bilhões, porém é de esperar que até 2023 este valor quadruplique, fornecendo ao mercado muito capital que poderá permitir a melhoria destas tecnologias. Porém, observamos que as impressoras 3D industriais geram mais resultados económicos em vendas que as impressoras de uso doméstico, porém tal deve-se ao facto, de serem muito mais caras. Assim, em termos de unidades vendidas o mercado de uso doméstico domina, e traduz mais indicadores sobre a aceitação populacional da tecnologia, ao invés das impressoras industriais que traduzem a aceitação da indústria à tecnologia. Em ambos os casos podemos referir que se encontra em franca expansão sendo interessante perceber até onde poderá ir esta evolução uma vez que, ao nível do hardware em algum momento ocorrerá a rutura destes aumentos ano após ano uma vez que à medida que a tecnologia se torna mais preponderante, acabará por ser atingido o ponto em que toda gente tem uma impressora 3D, não havendo tanto investimento anual mas sim de forma faseada e quando surgem inovações que ultrapassam em larga escala o que há no mercado, ou em caso de avarias que necessitem de ser readquirido um novo produto para reposição (Maurizio et al., 2018).

Porém quando observamos os dados pelo seu todo, não conseguimos para cada uma das categorias de impressora perceber como é que o mercado se encontra distribuído a nível mundial. Assim, e inicialmente para as impressoras de uso doméstico foi construída a Figura 43 (Maurizio et al., 2018).

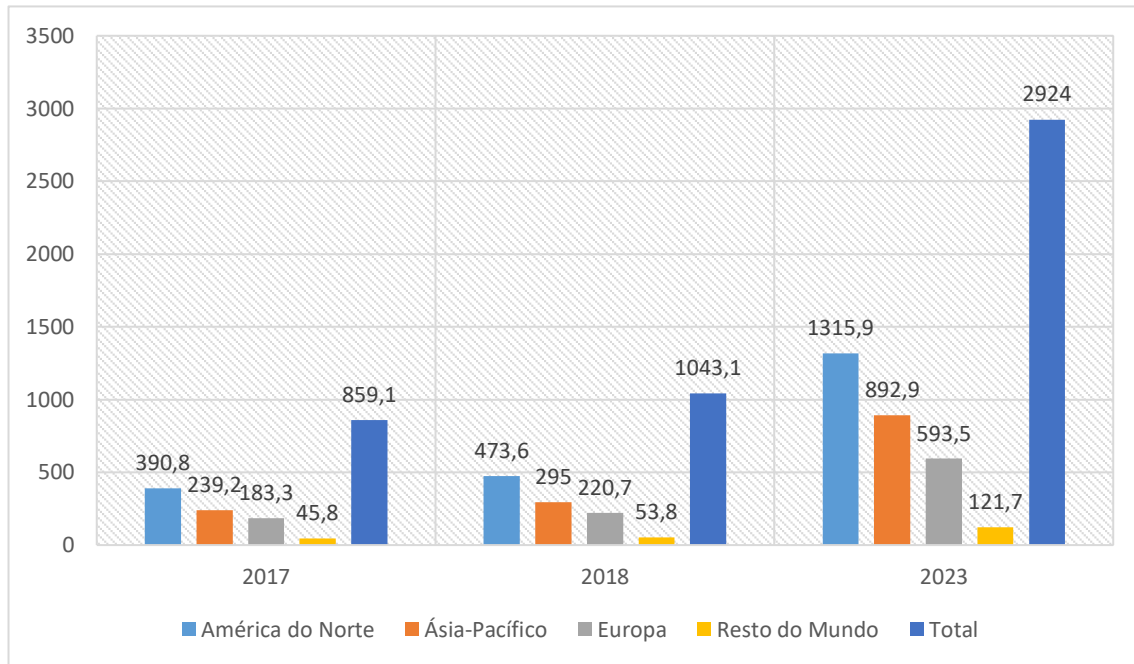


Figura 43 - Distribuição do mercado para impressoras de uso doméstico a nível mundial (Milhões de dólares)

Assim e ao nível das impressoras de uso doméstico podemos observar que os dois continentes economicamente mais saudáveis e com mais capacidade de investimento lideram as vendas de impressoras 3D, fornecendo-nos assim dados relativos não só há venda de hardware da fabricação aditiva, bem como que a tecnologia está a ser aceite pelo mercado e que terá certamente caminho para se expandir uma vez que são aposta consolidada do utilizador e não de pequenos focos ou regiões que acreditam na tecnologia. Quando observamos os dados apercebemo-nos que existem claramente duas regiões que se destacam, havendo um claro domínio do mercado por parte da América do Norte no ano de 2018 como sugere a Figura 44 (Maurizio et al., 2018).

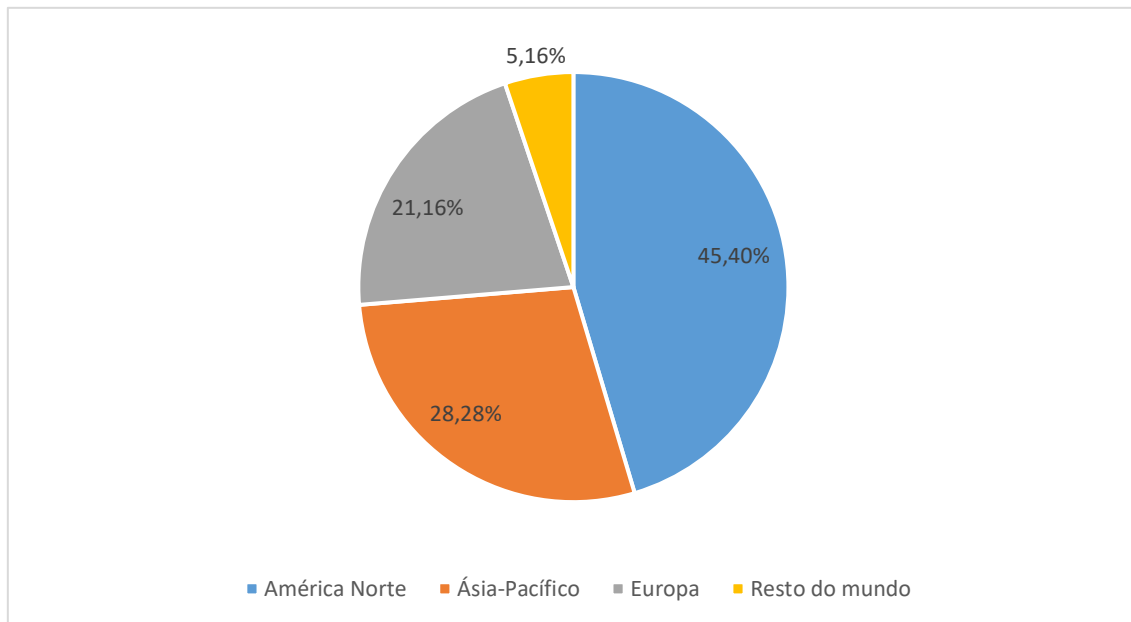


Figura 44 - Distribuição dos investimentos em impressoras de uso doméstico a nível mundial (%)

Assim e ao nível de impressoras 3D de uso doméstico vemos uma aposta clara por parte dos utilizadores da América do Norte na tecnologia, dominando assim o mercado. Quanto há Ásia-Pacífico e há europa observamos que elas se encontram perto do mesmo domínio de mercado, sendo possível perceber que a aposta está a ser idêntica entre ambas. Assim, podemos referir que esta vertente das impressoras 3D formada na sua essência por utilizadores mais curiosos na tecnologia e que pretendem explorar este mercado de forma a cobrir os seus hobbies, e que agrega também quem tem vontade de se desenvolver neste ramo tecnológico mas que não tem capacidade de investir, ou simplesmente não tem volume de mercado que justifique o investimento em impressoras 3D industrial, que em média tem um custo superior de 10-100 vezes, consoante as finalidades e recursos que contém. Sendo a América Norte um local onde há espaço para esta vertente de negócio mais pequeno, e onde há recursos para que a população possa investir com mais facilidade, surge esta diferenciação e domínio quando comparado com outras regiões (Maurizio et al., 2018).

Porém e apesar de haver mais utilizadores da vertente de uso doméstico, esta não domina o mercado a nível de dinheiro gerado por hardware uma vez que as impressoras 3D industriais tem um custo maior que faz com que sejam preponderantes no domínio do mercado. Assim e de forma a percebermos a distribuição do mercado económico gerado pela venda de impressoras 3D industriais que se encontra representado na Figura 45 (Maurizio et al., 2018).

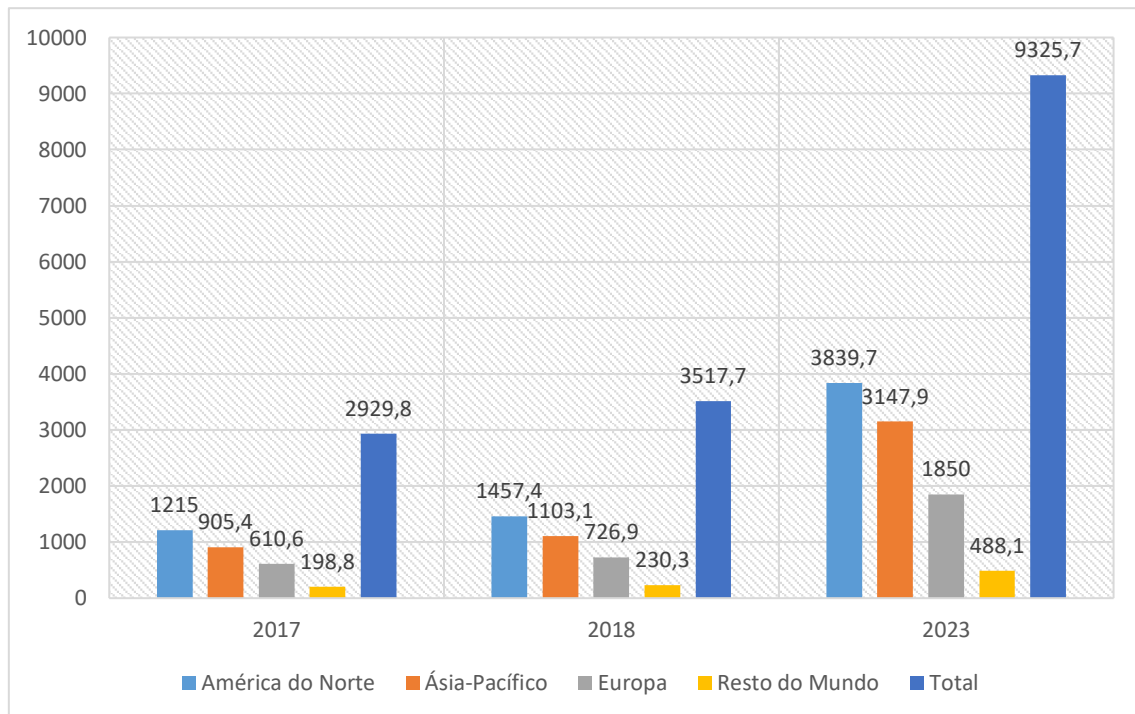


Figura 45 - Distribuição do mercado para impressoras industriais a nível mundial (Milhões de dólares)

Assim e tal como como já foi possível observar o domínio em qualquer ramo da fabricação aditiva pertence sempre à região da América do Norte e Ásia-Pacífico que geram mais impacto económico através da tecnologia que as restantes regiões/continentes, porém a nível de uso industrial assistimos a uma maior preponderância por parte da América do Norte, que pretende assumir o monopólio industrial da utilização das impressoras 3D, dominando por consequência o mercado de vendas de impressoras 3D industriais como representa a Figura 46 com dados relativos a 2018 (Maurizio et al., 2018).

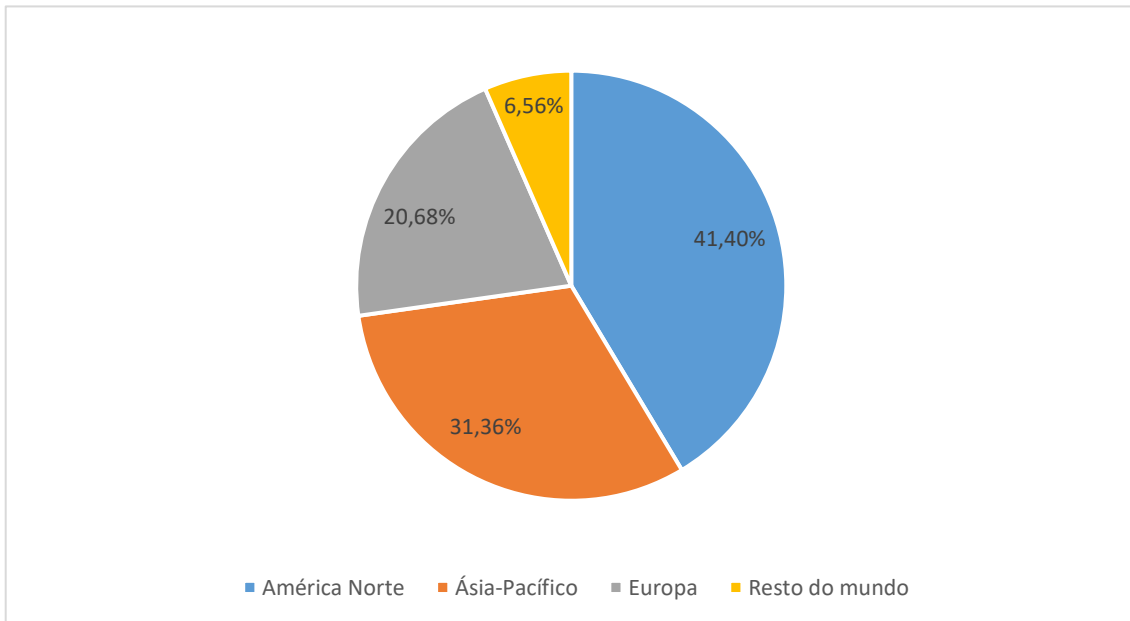


Figura 46 - Mundial Distribuição dos investimentos em impressoras de uso doméstico a nível mundial (%)

Assim e como é possível observar a nível industrial a América do Norte é a que mais investe demonstrando assim que a tecnologia neste continente já conquistou e convenceu suplantando assim alguns métodos tradicionais, ou então combinando com esses mesmos métodos torna os seus processos mais capazes, com redução de custos e tempos. Porém é de realçar o facto de a Europa apenas investir 20,68% do total investido em hardware industrial, o que demonstra um pouco a falta de capacidade das empresas para investimentos avultados, bem como um recurso ainda grande a tecnologias de fabrico tradicionais (Maurizio et al., 2018).

Porém e de forma a localizarmos os modelos mais utilizados nestes últimos anos foi necessário recorrer a um estudo do *3Dhubs* que fornecerá dados de impressoras de uso doméstico e industrial. Assim, e começando pelas de uso industrial, podemos observar esses dados na Figura 47, que indicam o número de impressões obtidas no segundo trimestre de 2018, sendo este os dados mais recentes encontrados com estas informações (3D Hubs, 2018).

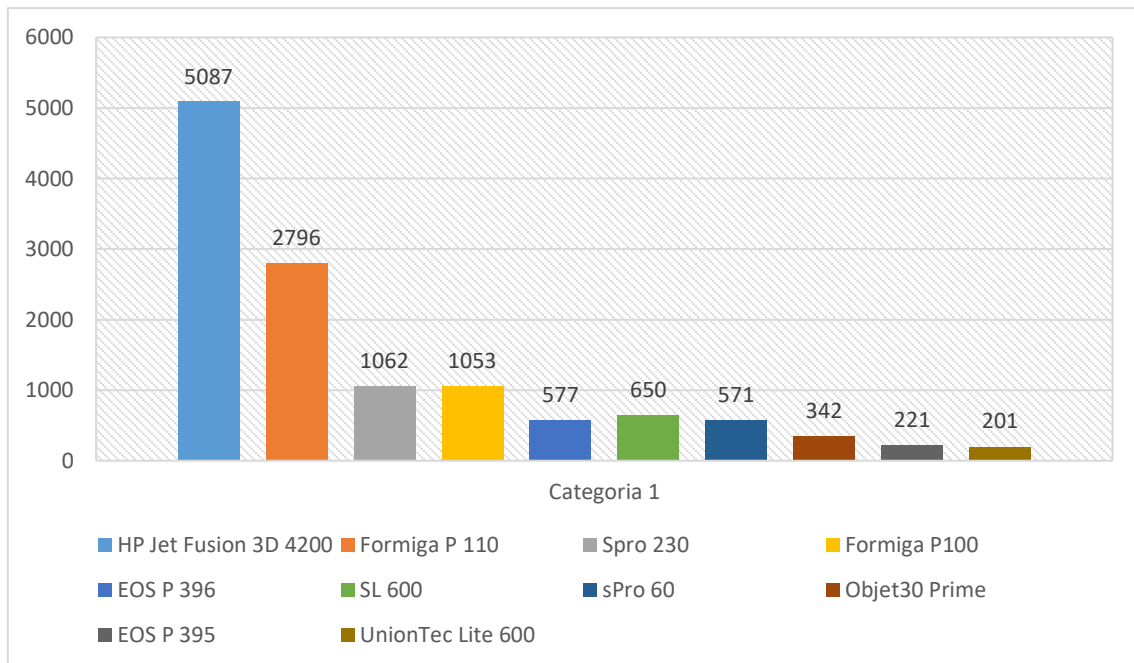


Figura 47 - Número de impressões, com recurso a impressoras industriais

Assim e como é possível observar o modelo mais recente da HP, é de longe o mais usado no período de estudo, não sendo necessariamente o mais vendido, porém e para o estudo ficou decidido a utilização do mais usado uma vez que demonstra de forma mais concreta aquilo que é rentabilizado e processado na indústria. Podemos observar que a segunda mais usada é a Formiga P 110 que é o modelo mais recente da marca EOS, mas que é neste caso a segunda marca mais usada com 3489 impressões, uma vez que apresenta dois modelos no top 10 de impressoras industriais com mais impressões (3D Hubs, 2018).

Por sua vez, e ao nível das impressoras de uso doméstico as mais usadas para impressão estão presentes na Figura 48 (3D Hubs, 2018).

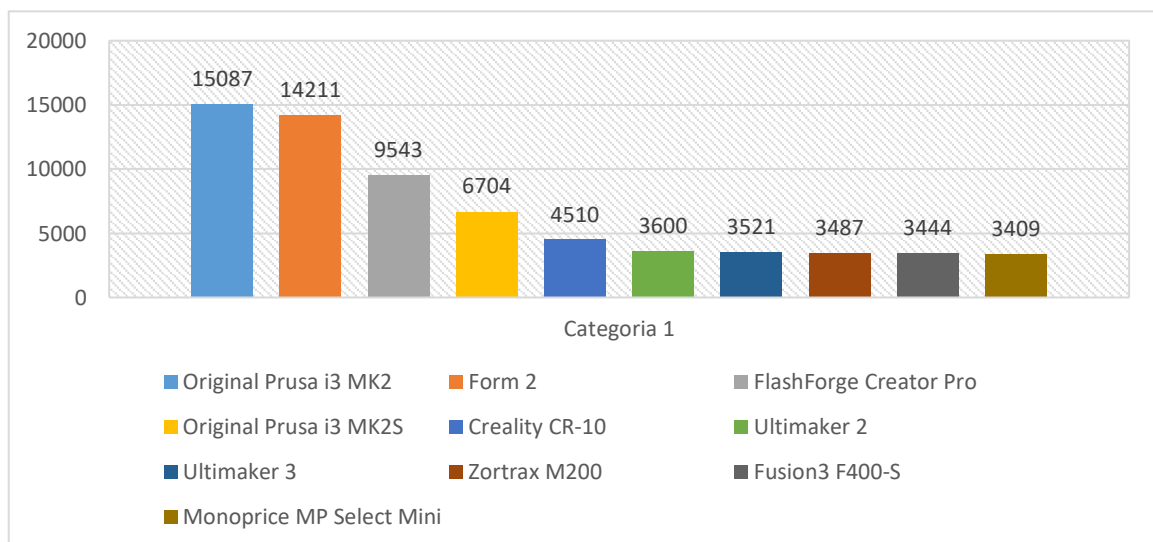


Figura 48 - Número de impressões, com recurso a impressoras de uso doméstico

Assim, e olhando aos dados apresentados relativos às impressoras de uso doméstico é necessário compreender o seu contexto de “doméstico”. Esse conceito refere-se ao facto de serem impressoras alicerçadas em projetos abertos. Por exemplo no caso da gama de *Original Prusa*, estamos a falar de impressoras desenvolvidas pelo projeto *RepRap*, e que são impressoras auto-replicáveis tendo apenas o custo inicial da compra de uma impressora 3D para produzir as suas peças, ou no caso de o utilizador já ter uma impressora 3D, ser apenas necessário aceder aos ficheiros disponibilizados que contém os dados necessários para reproduzir o modelo através da impressão das suas peças. O mesmo acontece nas *Ultimaker* que seguem o mesmo princípio de modelo do projeto *RepRap*. Outras das inseridas neste ranking das dez impressoras mais utilizadas podem não ser totalmente auto-replicáveis de forma a que a empresa associada consiga obter lucros, mas onde por norma uma grande maioria das peças pode ser replicável através das informações disponibilizadas na comunidade aberta.

Porém e como é possível constatar perante o número de impressões no período em estudo, podemos afirmar que as impressoras de uso doméstico são utilizadas para muitas mais impressões como podemos observar na Figura 49 e Figura 50 (3D Hubs, 2018).

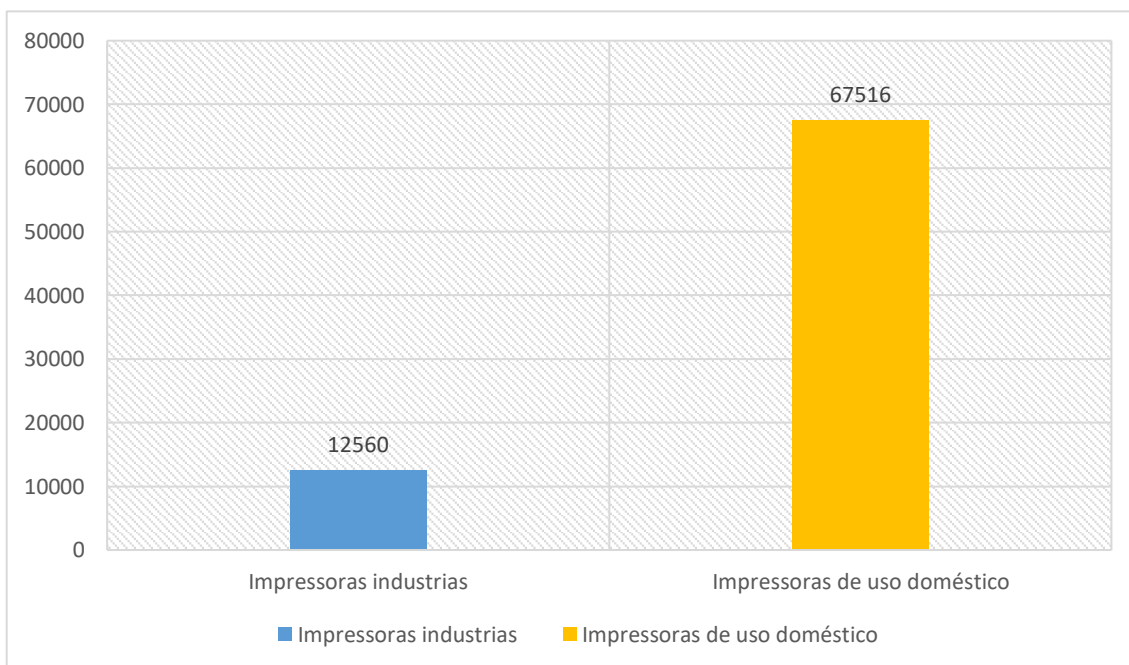


Figura 49 - Número total de impressões pelas dez impressoras mais usadas em ambas as vertentes

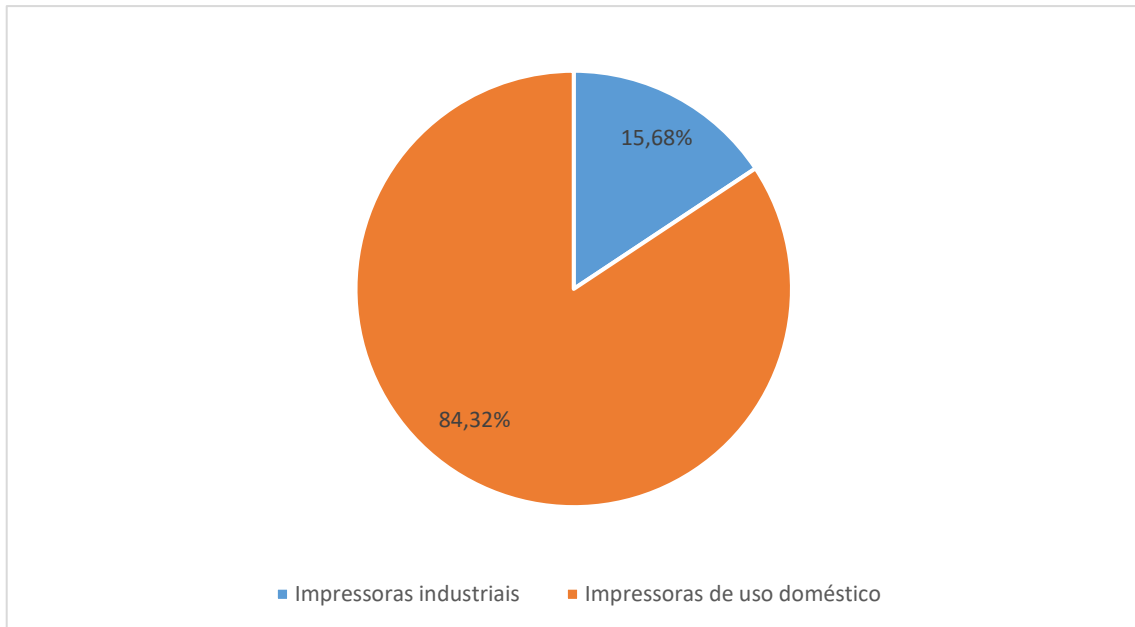


Figura 50 - Distribuição percentual de impressores por tipo de impressora

Como podemos observar o uso industrial apesar de dominar ao nível das vendas uma vez que a impressora 3D industrial tem um custo muito maior que a impressora de uso doméstico, quando falamos a nível das impressões observamos que o 84.32% do segundo trimestre de 2018 foram efetuadas por impressoras de uso doméstico, sendo assim notório uma utilização recorrente da comunidade de fabricação aditiva (3D Hubs, 2018).

Porém quando falamos de impressoras 3D, existem vários modelos com tecnologias diferentes que promovem assim uma fragmentação do mercado de impressoras 3D como nos apresenta a Figura 51 (3D Hubs, 2018).

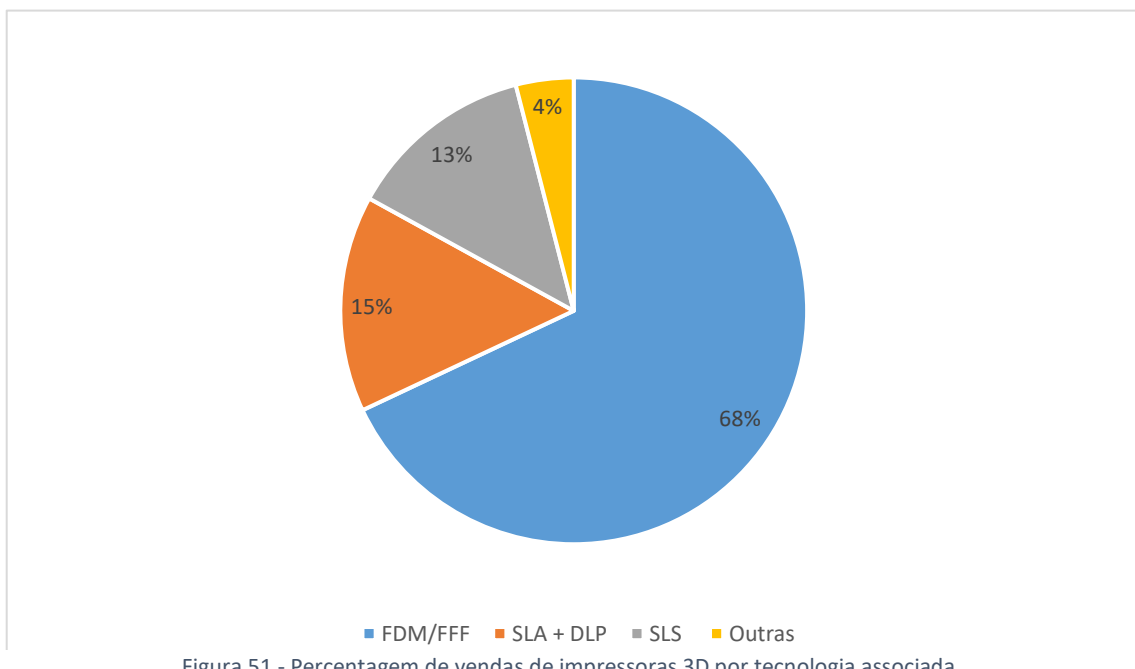


Figura 51 - Percentagem de vendas de impressoras 3D por tecnologia associada

Ao nível da tecnologia FDM e como já foi referido anteriormente significa fabricação de filamentos fundidos por deposição, sendo uma tecnologia que domina o mercado das impressoras 3D com 68% das vendas a recair na escolha desta tecnologia que é especializada em termoplásticos, apesar de poder ser usada com outros materiais, que tem capacidade de produzir peças fortes e com grande durabilidade, permitindo ao mesmo tempo que tal ocorra com a melhor precisão e que garante com grande percentagem de sucesso a repetibilidade que qualquer outra tecnologia associada à impressão 3D não garante de forma barata e eficiente. Nesta tecnologia incluímos também a FFF que é a versão usada nas impressoras 3D de projeto aberto que tem por base tecnológica os mesmos fundamentos, tendo apenas outra designação por causa das patentes. Esta tecnologia é principalmente usada em impressoras de uso doméstico, ao invés de todas as outras que são mais direcionadas para o uso industrial (Rębosz, 2017).

A segunda tecnologia mais usada e apesar de muito distante da mais usada é a SLA + DLP que consiste na combinação do uso da impressão a laser com o processamento em luz digital, que são princípios muito semelhantes, mas que combinadas podem produzir variações significativas e melhorias que sem a sua combinação não eram possíveis. Apenas representa 15% do total de vendas, uma vez que não consegue imprimir peças de alta resolução em grande volume, sendo usada maioritariamente para impressão de peças de baixo volume com qualidade. A tecnologia é formada pela combinação de dois métodos de impressão uma vez que quando usados de forma independente as debilidades e incapacidades são mais visíveis, sendo por isso complementadas quando usadas como uma fusão de dois métodos de impressão distintos (Kuschner, 2017).

A terceira tecnologia de impressão mais usada é a SLS, sinterização seletiva por laser, que tem por princípio o uso do laser como fonte de energia de forma a provocar nos grãos de pó um efeito de fusão parcial que quando ocorre por camadas permite a formação e impressão de uma peça. No mercado apenas representam 13% das impressoras 3D vendidas em 2013, uma vez que tem custos associados após impressão como tratamentos de superfícies porosas, sendo que para peças em polímero ocorre também problemas a nível térmico da peça que pode causar deformações permanentes na peça, não sendo por isso ainda uma alternativa muito viável (Miguel & Silva, 2017).

Assim e após esta compilação de resultados sobre o uso das impressoras 3D, ao nível das impressoras 3D de uso doméstico observamos que o mercado é dominado pelas impressoras 3D de uso doméstico que são alicerçadas por projetos abertos, tendo já a sua posição no mercado da fabricação aditiva bem definido e com grandes perspetivas de acompanhar a evolução do mercado da fabricação aditiva, atraindo cada vez mais desenvolvedores para as comunidades de projeto aberto, proporcionando assim mais evoluções neste ramo do hardware (Bonvoisin, Molloy, Haeuer, & Wenzel, 2020).

3.2.3 Software de projeto aberto

Se as impressoras 3D são necessárias por serem o mecanismo que permite que a peça seja fabricada o software que está por detrás da construção das peças e produtos é igualmente importante. Normalmente, são denominados como software CAD, *Computer Aided Design*, vulgarmente reconhecidos como software de desenho assistido por computador (Balan, Yuen, & Mehrtash, 2019).

Se anteriormente na indústria todos os desenhos relativos a um projeto ou peça eram produzidos na sua íntegra por desenhos em papel, aos dias de hoje e na era da globalização tal não é viável, tendo sido substituído esses métodos por softwares capazes de elaborar com maior exatidão o que é exigido e com maior rapidez. Esta inovação permitiu adquirir vantagens, tais como:

- Aumento da produtividade, resultante de uma maior capacidade de adaptação ao que é pedido e de facilidade que o software permite através de ferramentas e recursos que só de forma virtual são possíveis (Unsal, Turkeyilmaz, & Lakhia, 2020);
- Permite que os utilizadores consigam lidar com projetos e problemas mais complexos e muitas das vezes consigam apresentar soluções simplificadas que consomem menos recursos, gerando assim menos custos (Janeva et al., 2018).
- Reduz a ocorrência de erros uma vez que o software tem capacidade de correção e de sistemas de alerta para possíveis erros, alertando também para geometrias complexas e possíveis incongruências, que outrora e com desenho em papel não era passíveis de deteção e que faziam as empresas incorrer em mais gastos para correção dos problemas e em recursos que muitas das vezes não eram reutilizáveis (Unsal et al., 2020).
- Diminuição dos tempos de projetos uma vez que pelo método de desenho no papel, era necessário mais tempo para a concretização do planeado em projeto sendo necessário muitas das vezes recorrer a normas para garantir a correção universal na cotação dos mesmos, que atualmente e através do software se torna mais fácil. Também a possibilidade de desenhar o objeto final em 3D e depois os desenhos de conjunto e de peça serem convertidos em 2D sendo só necessário proceder à cotação dos mesmos tornou o trabalho do desenhador muito mais curto uma vez que se consegue queimar etapas que anteriormente não era possível (Unsal et al., 2020);
- Redução dos custos, uma vez que cada profissional desenhador tem um custo hora alocado e fixo, sendo que assim, o número de horas do projeto diminui havendo a possibilidade de redução de custos. Por outro lado, também uma

maior garantia e validação pelo software das peças desejadas, onde as incongruências e erros são muitas das vezes detetados, permitindo que ao nível do material também ocorra uma poupança, uma vez que há uma maior garantia de sucesso que o método anterior (Janeva et al., 2018);

- Capacidade de congregar a performance e agilidade ao dispor dos projetos de forma única, uma vez que permitem que os projetos sejam visualizados de forma virtual, permitindo que seja possível testar e otimizar os projetos, tornando-os assim mais efetivos e com maiores recursos técnicos, privilegiando em simultâneo um modelo totalmente competente que fornece um total apoio às decisões por parte do responsável do projeto. Aliado a tudo isto a possibilidade de garantir um elevado grau de detalhe, que permite em alguns casos fazer testes únicos que outrora só eram possíveis com a produção do projeto em causa (Janeva et al., 2018);

Apesar de todas estas vantagens já descritas em cima, os recursos associados aos softwares conferem não só uma vantagem como um dos fatores mais importantes nesta evolução e transição do desenho em papel para o desenho assistido por computador (Janeva et al., 2018).

De forma a percebermos como se comporta o mercado e os comportamentos detetados na mesma, foi necessário recorrer a inquéritos anuais de uma revista da área, que contou com mais de 500 inquiridos conotando assim uma amostra dispersa para o estudo em causa e que acaba por ser validada por apresentar ano após ano o mesmo tamanho de amostra e resultados que demonstram diferenças mas não dispersões de larga escala de resultados. Assim e quando falamos de softwares CAD, estes muitas das vezes são direcionados a dois públicos alvos diferentes, tais como a utilização profissional e a utilização por *hobbie*, apresentando-nos essa distribuição a nível percentual a Figura 52 (CNCCOOKBOOK,2018)(CNCCOOKBOOK,2020).

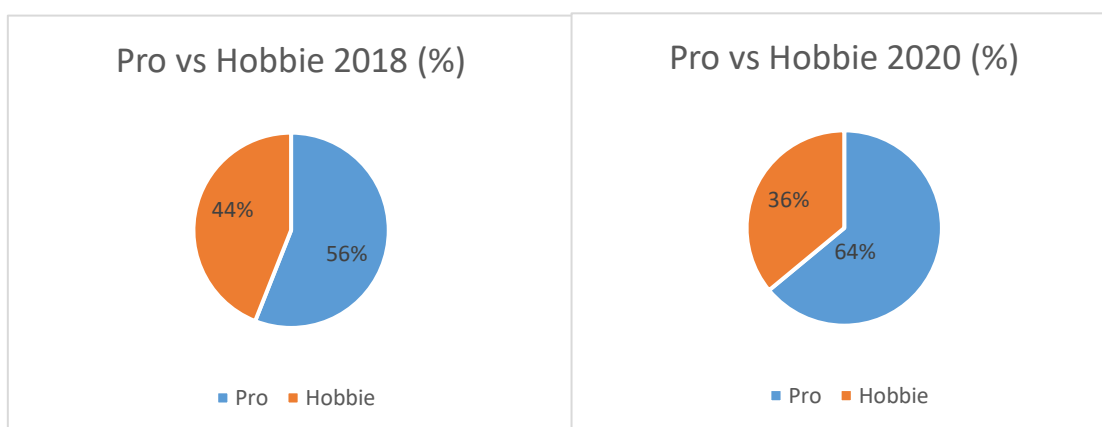


Figura 52 - Comparação de utilização Profissional e de *hobbie*

Como podemos observar entre o ano de 2018 e 2020 ocorreu um aumento de 8% de aumento dos inquiridos que passaram a usar o programa de forma profissional. Este aumento demonstra que os softwares CAD, adquiriram na indústria um papel fundamental colhendo assim um grande domínio nos mercados de software, porém este uso de forma a colmatar os tempos livres, como é o caso da população que tem por *hobbie* o uso destas ferramentas, são igualmente importantes uma vez que demonstram que há um interesse da população em aprender e que de futuro passará a ser um utilizador profissional, aumento assim a importância destes softwares que de uma maneira ou de outra acabam por contribuir para o expandir deste mercado (CNCCOOKBOOK,2018)(CNCCOOKBOOK,2020).

Assim e quando falamos de software, o mercado apresenta-nos inúmeras alternativas, sendo estes softwares divididos em dois grandes grupos que são os softwares pagos, e os disponibilizados gratuitamente (inclui as licenças educacionais e possíveis casos de pirataria) como sugere a Figura 53 (CNCCOOKBOOK,2018)(CNCCOOKBOOK,2020).

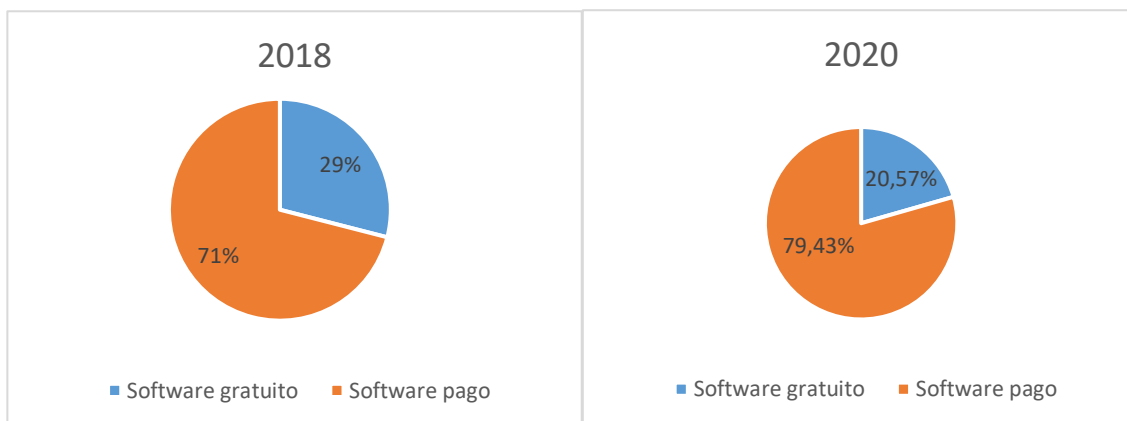


Figura 53 - Comparação software gratuito vs pago (2018-2020)

Como é possível constatar através dos dados é possível perceber que o número de softwares pagos tem aumentando, uma vez que muitas das vezes este tem mais recursos e capacidades que os gratuitos, e pela necessidade de feedback e serviço pós-venda em caso de problemas que também é substancialmente melhor em softwares pagos. Alocado a tudo isto também o facto de à medida que o mercado de softwares se tornam cada vez mais evoluídos, os que são pagos geram rendimentos para investir em mais desenvolvimentos e ferramentas que os tornam claramente mais atraentes para o utilizador profissional, que maioria das vezes encontra empresas que adquirem sem olhar a custos e com parcerias negociadas com estes softwares de forma a fornecer as melhores condições aos seus criativos de I&D (CNCCOOKBOOK,2018).

Assim e no mercado e softwares podemos observar através da Figura 54 os dez softwares que dominam o mercado atualmente:

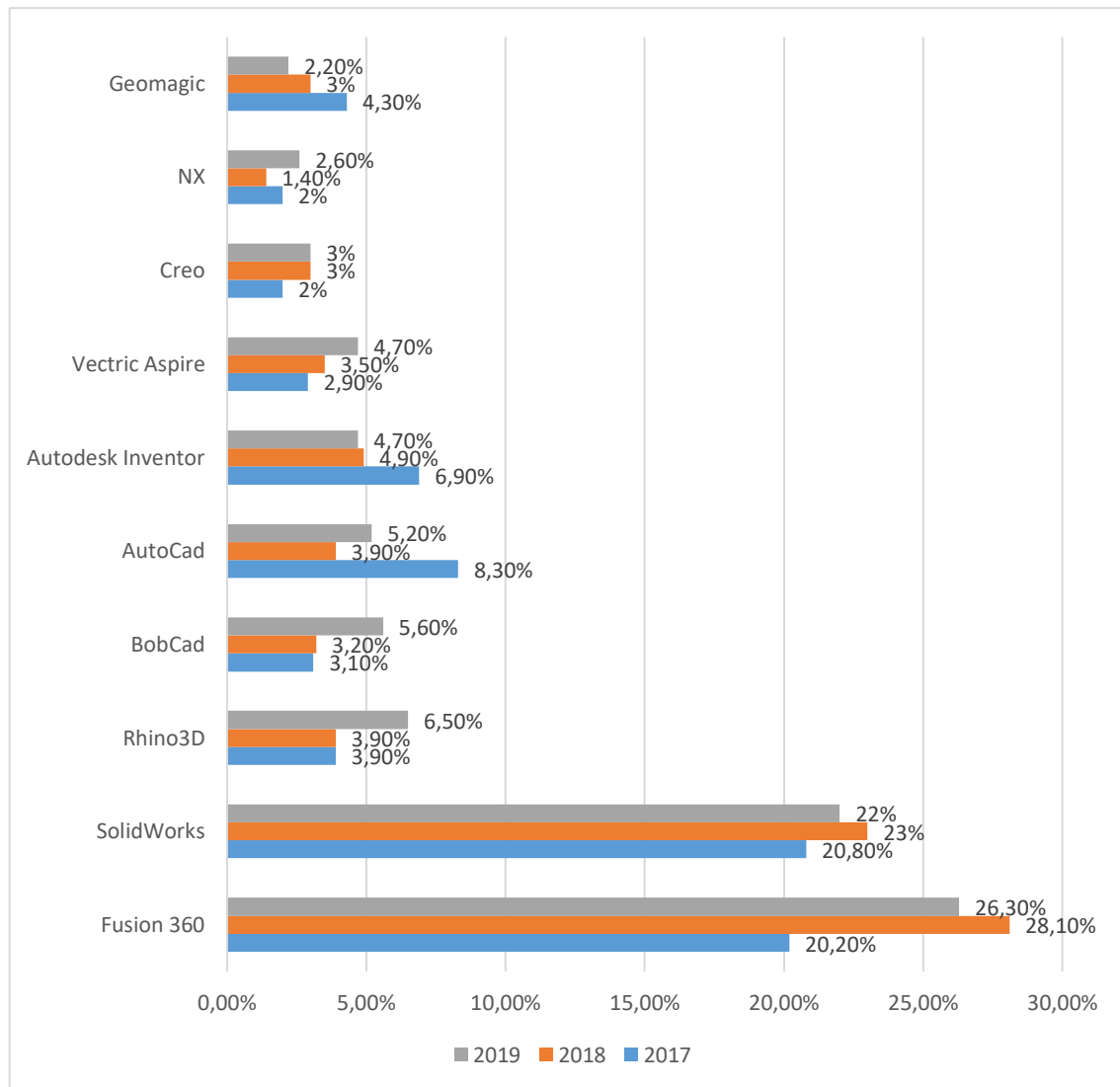


Figura 54 - % de mercado de softwares CAD

Como podemos observar o software mais utilizado é o Fusion 360 que é considerado um software pago, porém a sua licença para uso não profissional é gratuita, porém não se estabelece no mercado como um software de projeto aberto mas sim como um software de uso gratuito de forma a dar a conhecer aos utilizadores, promovendo no futuro a sua compra. Porém neste mercado de software e inserido nos 20.57 % gratuitos existe também para além de casos de uso educativo os softwares CAD de projeto aberto. Estes softwares, apesar de não figurarem nos dez mais usados do mercado conferem vantagens por serem obtidos de forma gratuita, e porque fornecem o código do software para que a comunidade possa alterar e criar ferramentas, abrindo assim várias portas há oportunidade de desenvolvimento de um software que satisfaça e vá ao encontro das reais necessidades de cada utilizador. Destes softwares de projeto aberto inserem-se três que irão ser estudados de seguida, denominados como FreeCAD, BRL-CAD e LibreCAD (CNCCOOKBOOK,2018)(CNCCOOKBOOK,2020).

FreeCAD

Este software é um modelador 3D CAD, com recursos e ferramentas semelhantes a softwares como SolidWorks, e AutoCad, sendo ao contrário destes totalmente gratuito e direcionado essencialmente para o desenvolvimento do produto e para a engenharia mecânica. Este projeto é desenvolvido pela comunidade que trabalham de forma voluntária, e onde se reúnem em pequenos fóruns para discutir e tomar decisões relativas a inovações sendo por isso um software alternativo e gratuito que contém todas as necessidades que vão surgindo aos utilizadores. Aliado a tudo isto este software utiliza as maiores bibliotecas de projeto aberto como o OpenCascade e o OpenInventor (Castro et al., 2019)(SOURCEFORGE,2020).

Assim e para contextualizar o número de utilizadores que recorreram e utilizaram o software FreeCAD, a Figura 55 contém os dados relativos a todo o período relativo ao software.

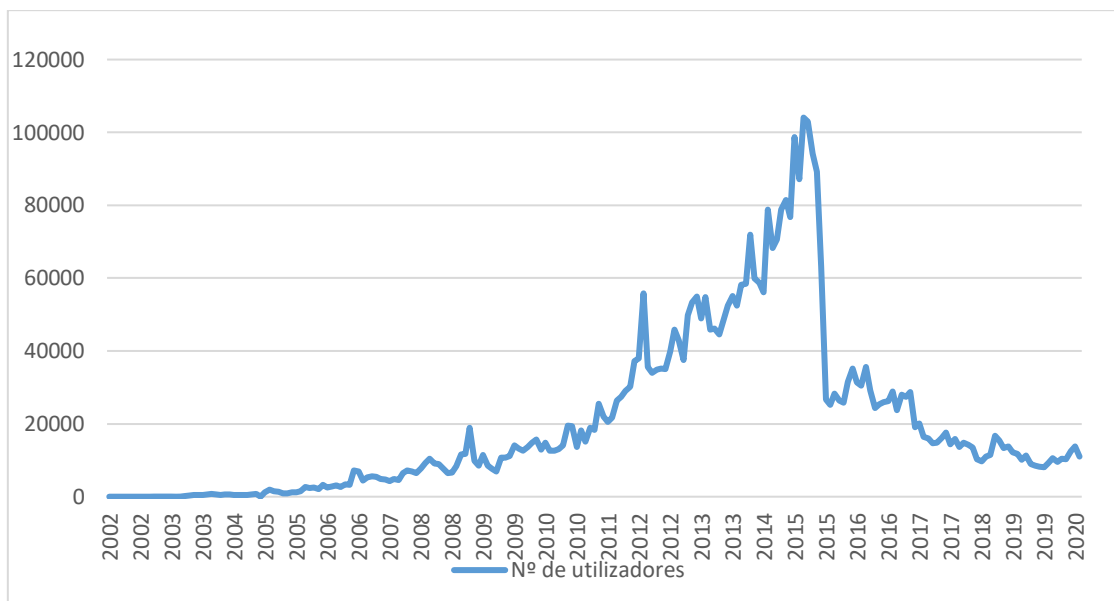


Figura 55 - Número de utilizadores FreeCad (2002 - 2020)

Como podemos observar este software teve um crescimento rápido até 2015, porém ocorreu a quebra do número de utilizadores desde então, não havendo informação que relate o porquê de tal ocorrer, mas o uso de forma profissional teve grande aumento de 2015 em diante podendo ser a justificação para este decréscimo. Outros dos problemas relatado pela comunidade apontam para problemas na interface que podem ter feito a comunidade migrar ou para programas pagos ou para outros softwares de projeto aberto (Castro et al., 2019)(SOURCEFORGE,2020).

Assim e de forma espelhar a totalidade de utilizadores que já experienciou o software, foi necessário representar todos esses dados na Figura 56.

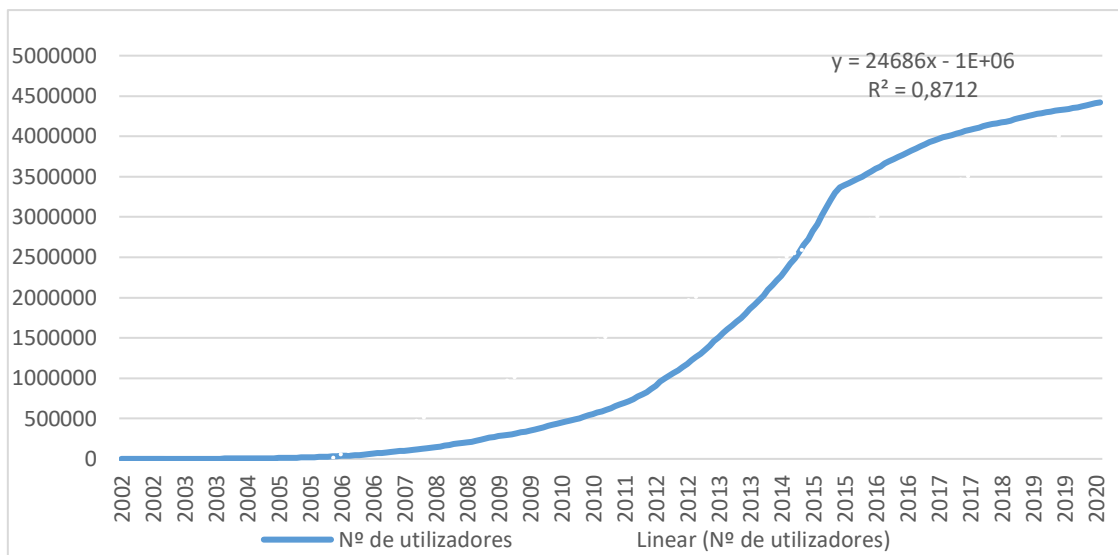


Figura 56 - Número acumulado de utilizadores do FreeCAD (2002-2020)

Como podemos constatar entre 2002 e 2020 o software BRL-CAD já atingiu quase quatro milhões e meio de utilizadores (SOURCEFORGE,2020).

BRL-CAD

O BRL-CAD é um software de construção de design de geometria solida com grandes capacidades no suporte a análises e estudos sobre a geometria em desenvolvimento, aliado a tudo isto o facto de ser um software de projeto aberto que congrega não só a possibilidade de alterações e inovações com uma biblioteca virtual com modelos que podem ser editados ou simplesmente usados pela comunidade. Apesar de tudo, o software só adquiriu estas características de projeto aberto a partir do ano de 2004. A Figura 57 , sugere a evolução dos utilizadores ao longo das últimas duas décadas (SOURCEFORGE,2020)(Castro et al., 2019).

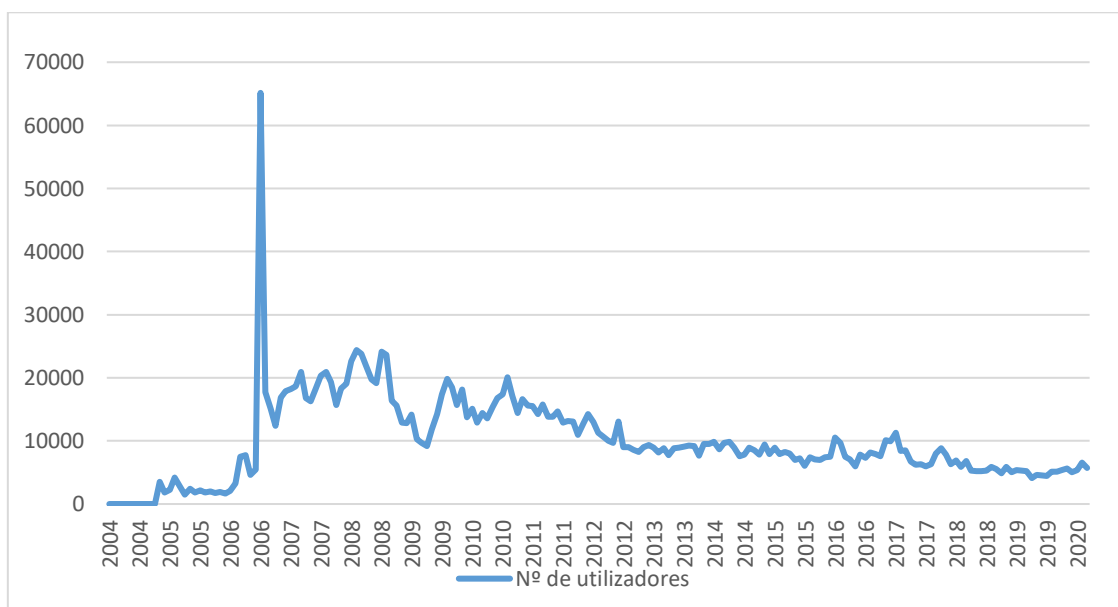


Figura 57 - Número de utilizadores BRL-CAD (2004 - 2020)

No caso do BRL-CAD o pico de utilizadores ocorreu entre o ano de 2006-2007 na sua fase inicial e onde os softwares ainda não estavam otimizados como atualmente se encontram os grandes softwares no mercado. Porém é notório que após o pico e apesar de algumas quebras e subidas o software estabilizou e é usado de forma consistente por mais de 5000 utilizadores nos últimos anos. Apesar de em comparação com mercado isto representar uma fatia invisível, para as comunidades de projeto aberto estes números são uma oportunidade de evolução consistente e rápida (Castro et al., 2019).

De forma a quantificarmos a totalidade de utilizadores que já experienciou o software foi necessário representar todos esses dados na Figura 58.

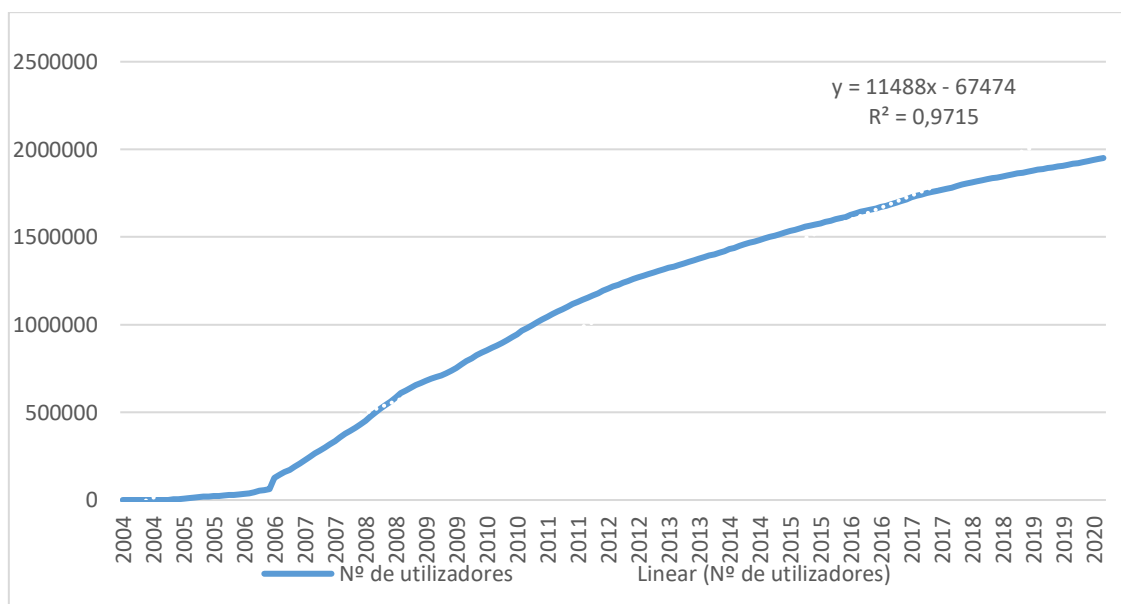


Figura 58 - Número acumulado de utilizadores do BRL-CAD (2004-2020)

Como podemos constatar entre 2004 e 2020 o software BRL-CAD já teve quase dois milhões de utilizadores, sendo que atualmente se encontra estabilizado o crescimento, sendo um aumento gradual e constante (SOURCEFORGE,2020).

LibreCAD

O LibreCAD é um software de apoio ao desenho assistido por computador, e que funciona como projeto livre em projetos 2D. A maioria dos conceitos são análogos ao software pago AutoCAD, porém este torna-os mais fácil para os usuários com experiência neste ramo, sendo por isso um espelhar perfeito de uma comunidade de projeto aberto, uma vez que percebe onde se encontram os utilizadores e tentam alterar algo no seu software de forma a torna-lo mais apelativo ao utilizador. A Figura 59, demonstra a evolução do número de utilizadores deste software (SOURCEFORGE,2020).

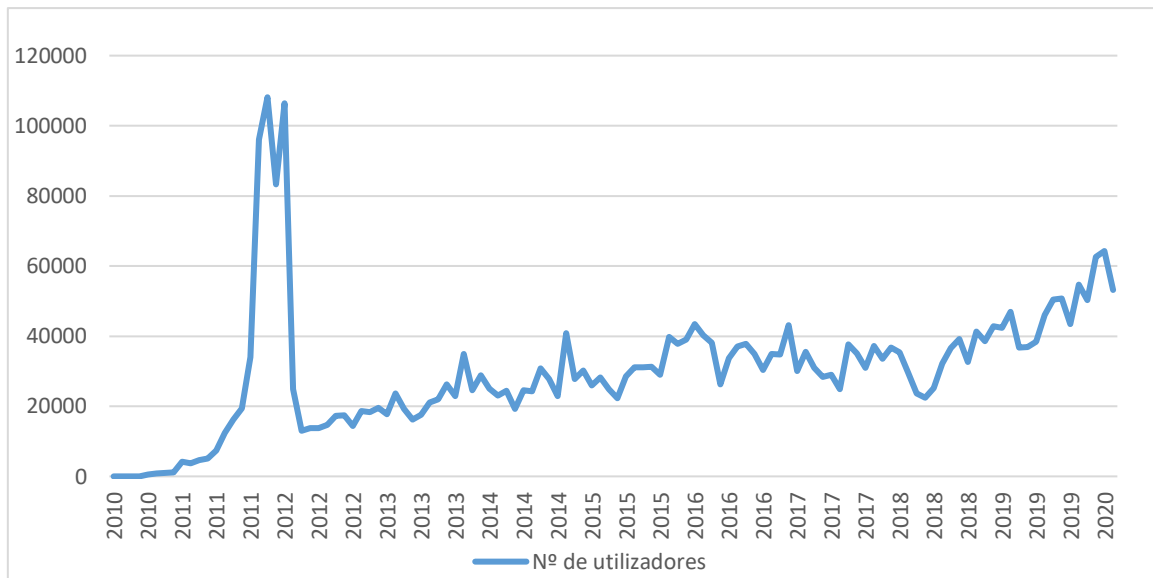


Figura 59 - Número de utilizadores LibreCAD (2010- 2020)

Tal como os outros dois softwares de projeto aberto podemos constatar que entre 2011 e 2012 atingiu o seu pico mas que depois e apesar das variações podemos afirmar uma evolução constante dos números de utilizadores que permite perceber que o software está a ser aceite pela comunidade e essencialmente tem acompanhado os desejos dos utilizadores e das evoluções do softwares pagos 2D, fazendo crer que possa num futuro ser uma alternativa mais que válida. Não esquecer que o facto de o número de utilizadores ser muito mais preponderante nestas comunidades do que nos softwares pagos (SOURCEFORGE,2020).

Para facilitar a compreensão da totalidade de utilizadores que já experienciou o software Figura 60 apresenta os dados recolhidos.

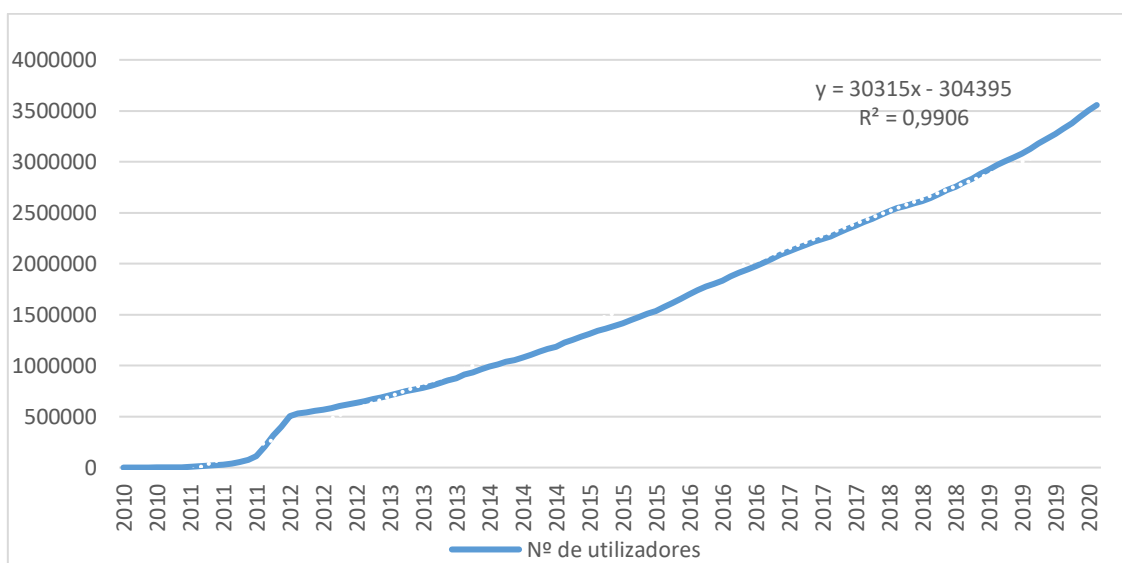


Figura 60 - Número acumulado de utilizadores do LibreCAD(2010-2020)

Apesar de o LibreCAD ser de todos o que em menor tempo de vida, já atingiu os três milhões e meio de utilizador, sendo por isso considerado um dos mais importantes softwares de projeto aberto atualmente (SOURCEFORGE,2020).

Observando os dados podemos constatar que os dados relativos ao número de utilizadores demonstram tendências difíceis de detetar devido aos altos e baixos que apresentam, porém quando observamos os gráficos que contem os dados acumulados de utilizadores dos três softwares conseguimos perceber e detetar uma estabilização e tendência dos dados. Assim e de forma a estudar essa tendência, foram calculados os valores do R^2 como apresenta a Tabela 8 (Castro et al., 2019).

Tabela 8 - Valor de R^2 por software

Software	Valor do R^2
FreeCAD	0.8712
BRL-CAD	0.9715
LibreCAD	0.9906

Assim e segundo correlações lineares com valor de R^2 maior que 0.85 é possível detetar uma tendência de estabilização e crescimento do perfil linear, ao longo das diferentes fases de crescimento do software. Podemos também constatar e como refere o ciclo de hype de Gartner que no caso do LibreCAD e do BRL-CAD ocorreu um pico do máximo de utilizadores no início, demonstrando assim que ocorreu nessas fases expectativas elevadas que não corresponderam com aquilo que o software oferecia como experiência ao utilizador, tendo depois ocorrido a quebra e a estabilização gradual (Castro et al., 2019).

Por sua vez, no caso do FreeCAD esta tendência já não ocorreu da mesma forma uma vez que só numa fase mais madura do software é que ocorreu o pico máximo de utilizadores demonstrando assim, que durante aquele período devido ao desenvolvimento em projeto aberto os utilizadores reviam-se no software para utilizar de forma recorrente (SOURCEFORGE,2020).

Em suma podemos constatar que os mercados de software CAD pagos e de projeto aberto, coabitam no mesmo mercado com objetivos diferentes. Se o software pago tem por objetivo gerar dinheiro satisfazendo o cliente e apresentando inovações e garantias de qualidade para justificar os investimentos, os softwares de projeto aberto tentam entrar no mercado numa perspetiva de satisfazer as necessidades dos usuários através do desenvolvimento gratuito da comunidade, dando-lhe voz. Assim e como foi possível observar pelos valores do R^2 podemos afirmar que os softwares continuam a

desenvolver um caminho evolutivo sustentável, o que indica que o software para continuar a acolher todos os dias novos utilizadores está a transparecer para a comunidade confiança e atratividade para o seu produto, demonstrando que as comunidades de projeto aberto tem surtido o efeito desejado naquilo que é a capacidade de através da comunidade apresentar sempre soluções capazes e com qualidade (Negreiros, Jamjoom, Gallucci, & Hamilton, 2020) (Castro et al., 2019).

Associado a estes softwares existem também projetos de bibliotecas que armazenam os mais variados ficheiros CAD e que permitem assim globalizar muitas das vezes modelos de peças que poderão ser usadas e dimensionadas pelo utilizado, da forma que pretende. Assim, ao nível de software podemos assumir uma importância fulcral não só nos projetos de software de desenho CAD, bem como nos projetos que tem por finalidade tornar acessível a todos as mais variadas construções provenientes da comunidade. Alguns desses projetos podem ser o QCAD e GrabCAD entre outros (Wijnen, Hunt, Anzalone, & Pearce, 2014).

3.3 Análise crítica sobre os projetos abertos em fabricação aditiva

O conceito de fabricação aditiva, e neste caso de impressão 3D ainda suscitam aos dias de hoje grandes dúvidas, quanto à sua real capacidade e possibilidade de utilização a nível industrial. Porém e apesar de este dogma ainda ocorrer as teorias de Gartner e do abismo indicam-nos que a tecnologia caminha a passos largos para uma aceitação generalizada da população alvo, e conseqüentemente a sua globalização como método de fabrico. Podemos observar que os estigmas de tecnologia inovadora está a desaparecer para se efetivar entre dois a cinco anos como uma tecnologia preponderante na indústria, quer seja como método de fabrico substituto de métodos de fabrico tradicionais ou como complemento a esse mesmos métodos, tornando assim de uma forma ou de outra os métodos de fabrico ao dispor da indústria muito mais abrangentes. Assim, e de acordo com as previsões podemos afirmar um crescimento, ainda não se percebendo qual o real impacto que terá na indústria, porém assistimos durante o tempo de covid-19 a fabricação aditiva ser uma ferramenta de recurso com uso elevado para a construção de equipamentos proteção individual.

Ao nível das regiões que investem na tecnologia, é de prever que as maiores apostas permaneçam entre muito repartidas entre a Ásia e América do Norte, sendo de prever que o fosso para com a europa ainda seja maior uma vez que a indústria na europa não tem os mesmos segmentos de mercado que estas zonas, e essencialmente não há a mesma capacidade financeira de inovação ficando por isso sempre desfasada das novas tecnologias que surgem. Por sua vez, infelizmente regiões como Africa e América do Sul demoraram muito mais a ter capacidade de investir e conhecer esta tecnologia devido às suas condições financeiras precárias que são retrato destas regiões e que estabelecem um fosso enorme, numa era em que a globalização continua muito limitada em certas regiões.

Uma vez que a tendência de crescimento da fabricação é muito provável, poderemos assistir também a um aumento do número de patentes nesta área, que acabará por se traduzir em investimentos na área do I&D, uma vez que o início da expansão de uma nova tecnologia é a altura onde as empresas procuram obter a vantagem competitiva de forma mais rápida, investindo mais para o conseguir. Aqui será preponderante a função das comunidades de projeto aberto que atualmente e em caso de afirmação na indústria conseguem produzir trajetórias de evolução muito mais acentuadas que um I&D uma vez que para igual o número de pessoas dedicadas a um projeto numa comunidade de projeto aberto, são necessários investimentos avultados que maioria das empresas não tem capacidade. Porventura a maior dificuldade desta transição e entreajuda entre a indústria e as comunidades de projeto aberto, cifra-se nas empresas maiores cujo o negócio das patentes, criam capacidades económicas enormes que permitem monopolizar o mercado, sendo assim este um dos maiores entraves na conjugação da indústria e dos I&D com as comunidades de projeto aberto, bem como ainda o estigma de proteção de informações confidenciais, que muitas das vezes estão alocadas a um grupo restrito de pessoas numa empresa, e que bloqueiam inovações em qualquer ramo.

Por sua vez, e ao nível do software temos observado a um aumento das impressoras vendidas, sendo o volume de negócio de impressoras industriais, sempre maior que as de uso doméstico, porque o preço de venda é muito maior. Porém, ao nível das impressoras de uso comum temos assistido a um crescimento rápido das vendas que traduz que mais utilizadores estão a adquirir impressoras que proveem na sua maioria de comunidades de projeto aberto, sendo que as suas vendas representam 84.32% ao invés dos 15.68% das impressoras industriais. O projeto *RepRap* e *Ultimaker* são um claro retrato dos projetos abertos, uma vez que dominam o mercado de vendas de impressoras de uso doméstico e cada uma firma no seu projeto ideias diferentes. O *RepRap* tem um modelo de negócio que permite ao utilizador diluir o seu investimento, auto-replicando a versão que comprou através de todas os ficheiros necessários estarem disponíveis, podendo até o utilizador redimensionar a impressora à sua maneira. Já no projeto da *Ultimaker*, apenas algumas das peças são fornecidas para impressão sendo então possível muitas das vezes obter garantias de manutenção, sem oferecer um serviço de manutenção. Assim e como é possível constatar ao nível de hardware os projetos abertos já conseguirem alicerçar a sua oferta, porém traduz exatamente como devemos olhar para estes projetos, que são apenas uma alternativa que está ao dispor dos utilizadores e em que o foco é exatamente satisfazer as necessidades do mesmo. Assim e a nível industrial é expectável que o monopólio permanece nas grandes empresas uma vez que os projetos abertos não tem por fundamento serem vistos como alternativa de reposição mas sim como mais uma hipótese para o utilizador onde a partilha de conhecimentos, dificuldades e sugestão são alavancas para o seu sucesso.

Ao nível do software também aqui observamos a um fenómeno de crescimento de utilizadores, sendo cada vez mais visível os utilizadores profissionais a surgirem e dominarem o mercado. Atualmente e ao nível de softwares CAD assistimos a um

fenómeno que uma maioria esmagadora adquire softwares pagos, uma vez que estes oferecem mais recursos e ferramentas do que os projetos abertos. Porém e no estudo efetuado a três softwares de projeto aberto observamos valores maiores que 0.85 para o R^2 , que traduzem que os três softwares em estudo apresentam tendências de estabilização e de crescimento linear do número de utilizadores. Podemos observar também que ocorreu nos três softwares uma crescente de expectativas que os fizeram atingir picos, que de uma forma ou de outra não se confirmaram e fizeram com que após o pico ocorresse o abismo, estando atualmente estabilizados e cimentados dentro do mercado que se inserem.

CONCLUSÕES

- 4.1 CONCLUSÕES
- 4.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 Conclusões

Os desafios que a indústria 4.0 são cada vez maiores, e a busca por processos cada vez mais digitais tornam a indústria dependente de sistemas de informação, muitas das vezes complexos de desenvolver para as estruturas de I&D que apresentam, sendo por isso cada vez mais importante partir em busca de novas oportunidades e realidades que sustentem e se tornem pilar sustentável de todo este desenvolvimento e progresso que temos assistido a nível industrial nas últimas décadas e que promete continuar a elevar o nível e a competitividade ao nível não só do chão de fábrica e da cadeia produtiva, bem como de todas as partes envolventes na criação de um produto.

Assim e em suma, podemos afirmar que apesar de serem uma alternativa muito viável nas mais variadas áreas, ainda há muitos entraves para os projetos abertos adquirirem o seu espaço na indústria e serem visto pelos departamentos de I&D, como uma mais valia e não como um obstáculo ao sigilo de informação. Podemos também afirmar que apesar de tudo, que ao nível de software e hardware os projetos abertos já atingiram a sua preponderância, não sendo o seu objetivo suplantam a indústria e a economia que se gera nesta tecnologia, mas sim marcarem presença como uma alternativa mais que viável para o utilizador que acabará por poder usufruir de um produto que espelha um pouco as melhorias e as facilidades que pretende. Assim, e com esta dissertação foi possível entender que as comunidades de projeto aberto não são fenómenos residuais, são alias, atualmente e na era da globalização uma ferramenta a ganhar cada vez mais preponderância, sendo necessário porém, ainda garantir segurança para quem investe e essencialmente perceber se o mercado das patentes tal como o conhecemos com pagamentos elevados, não sofrerão quebra com esta associação dos departamentos I&D ao projeto aberto.

Com a realização desta dissertação foi possível conhecer a realidade dos projetos abertos, em que os desenvolvedores surgem na própria comunidade, e em muitos dos casos sem remuneração procurando só aprender e desenvolver competências. Foi possível também observar que podem surgir modelos de negócio com os fundamentos de projeto aberto tornando assim a indústria em que se insere mais capaz e criando também pressão às empresas que detém o monopólio que se veem a ser ultrapassados em certos recursos por estes projetos que fazem da voz e experiência do utilizador o rumo do seu desenvolvimento.

4.2 Proposta de trabalhos futuros

Uma vez que ainda não existe grandes relatórios e artigos científicos relacionados com esta realidade do projeto aberto e como trabalhos futuros para complementar este projeto, sugerem-se os seguintes estudos:

- Estudo da utilização de softwares de projeto aberto aplicados a cadeias logísticas;
- Estudo das debilidades do projeto aberto ao nível da patenteação;
- Implementação de um modelo de negócio tendo por base um projeto aberto;

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5.1 Artigos em revistas internacionais

5.2 Outras fontes informação

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5.1 Artigos em revistas internacionais

- 3D Hubs. (2018). Digital Manufacturing Trends. *3D Hubs*, (October). Retrieved from <https://www.3dhubs.com/trends>
- Almirall, E., & Casadesus-Masanell, R. (2010). Open versus closed innovation: A model of discovery and divergence. *Academy of Management Review*, *35*(1), 27–47. <https://doi.org/10.5465/AMR.2010.45577790>
- Andreas, G. (2009). For the third industrial revolution. *Kunststoffe International*, *99*(10), 88–93. <https://doi.org/10.2307/3103713>
- Antràs, P., & Voth, H. J. (2003). Factor prices and productivity growth during the British industrial revolution. *Explorations in Economic History*, *40*(1), 52–77. [https://doi.org/10.1016/S0014-4983\(02\)00024-4](https://doi.org/10.1016/S0014-4983(02)00024-4)
- Apostu, A., Puican, F., Ularu, G., & Suci, G. (n.d.). Study on advantages and disadvantages of Cloud Computing – the advantages of Telemetry Applications in the Cloud 2 Cloud Computing – actual context 3 Evolution is shown by new achievements - Distributed Computing versus Grid Computing disadvantages of Clo. *Recent Advances in Applied Computer Science and Digital Services Study*, 118–123.
- Attaran, M. (2017). The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Business Horizons*, *60*(5), 677–688. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.05.011>
- Baines, D., Nørgaard, L. S., Babar, Z. U. D., & Rossing, C. (2019). The Fourth Industrial Revolution: Will it change pharmacy practice? *Research in Social and Administrative Pharmacy*, (April), 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.sapharm.2019.04.003>
- Bairoch, P. (n.d.). “International Industrialization Levels from 1750 to 1980.” *The Journal of European Economic History*, *11*, 269–333.
- Bakker, S., & Budde, B. (2012). Technological hype and disappointment: Lessons from the hydrogen and fuel cell case. *Technology Analysis and Strategic Management*, *24*(6), 549–563. <https://doi.org/10.1080/09537325.2012.693662>
- Balan, L., Yuen, T., & Mehrtash, M. (2019). Problem-Based Learning Strategy for CAD Software Using Free-Choice and Open-Ended Group Projects. *Procedia Manufacturing*, *32*, 339–347. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.223>
- Basmer, S., Buxbaum-Conradi, S., Krenz, P., Redlich, T., Wulfsberg, J. P., & Bruhns, F. L. (2015). Open production: Chances for social sustainability in manufacturing. *Procedia CIRP*, *26*, 46–51. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.102>
- Berman, B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons*, *55*(2), 155–162. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2011.11.003>
- Bhargava, Y. (2018). Open-design Recirculating Systems for Zebrafish Culture. *Aquacultural Engineering*, *81*(August 2017), 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2018.03.004>
- Bildosola, I., & Cilleruelo-carrasco, E. (2019). *A method for the detection and characterization of technology fronts : Analysis of the dynamics of technological change in 3D printing technology*. 1–27.
- Bonaccorsi, A., & Rossi, C. (2003). Why open source software can succeed. *Research Policy*, *32*(7), 1243–1258. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(03\)00051-9](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(03)00051-9)
- Bonvoisin, J., Molloy, J., Haeuer, M., & Wenzel, T. (2020). *Standardisation of practices in Open Source Hardware*. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/2004.07143>
- Bruland, K., & Smith, K. (2013). Assessing the role of steam power in the first industrial

- revolution: The early work of Nick von Tunzelmann. *Research Policy*, 42(10), 1716–1723. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.12.008>
- Carvalho, V. R., Balasubramanyan, R., & Cohen, W. W. (2009). Information leaks and suggestions: A case study using Mozilla Thunderbird. *6th Conference on Email and Anti-Spam, CEAS 2009*.
- Castro, H., Putnik, G., Castro, A., & Bosco Fontana, R. D. (2019). Open Design initiatives: an evaluation of CAD Open Source Software. *Procedia CIRP*, 84, 1116–1119. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.08.001>
- Chu, A. C., & Cozzi, G. (2018). Effects of patents versus R&D subsidies on income inequality. *Review of Economic Dynamics*, 29(83483), 68–84. <https://doi.org/10.1016/j.red.2017.12.006>
- Coulter, F. B., Schaffner, M., Faber, J. A., Rafsanjani, A., Smith, R., Appa, H., ... Studart, A. R. (2019). Bioinspired Heart Valve Prosthesis Made by Silicone Additive Manufacturing. *Matter*, 1(1), 266–279. <https://doi.org/10.1016/j.matt.2019.05.013>
- Ćwikła, G., Grabowik, C., Kalinowski, K., Paprocka, I., & Ociepka, P. (2017). The influence of printing parameters on selected mechanical properties of FDM/FFF 3D-printed parts. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 227(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/227/1/012033>
- Dahlander, L., & Gann, D. M. (2010). How open is innovation? *Research Policy*, 39(6), 699–709. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2010.01.013>
- de Almeida, S. S., Magalhães, A. A. C., Soares, S. de C., Zurita-Turk, M., Goulart, L. R., Miyoshi, A., & Azevedo, V. (2011). The phage display technique: Advantages and recent patents. *Recent Patents on DNA and Gene Sequences*, 5(2), 136–148. <https://doi.org/10.2174/187221511796392060>
- Durkovic, J., Vukovic, V., & Rakovic, L. (2008). Open Source Approach in Software Development - Advantages and Disadvantages. *Management Information Systems*, 3, No. 2, 29–33.
- Eisenbeiß, S. A., & Boerner, S. (2010). Transformational leadership and R&D innovation: Taking a curvilinear approach. *Creativity and Innovation Management*, 19(4), 364–372. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8691.2010.00563.x>
- Enkel, E., Gassmann, O., & Chesbrough, H. (2009). Open R&D and open innovation: Exploring the phenomenon. *R and D Management*, 39(4), 311–316. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2009.00570.x>
- Eurostat. (2019). *Eurostat Regional Yearbook. 2019 edition*. <https://doi.org/10.27585/1522>
- Fahad, M., & Hopkinson, N. (2012). A new benchmarking part for evaluating the accuracy and repeatability of Additive Manufacturing (AM) processes. *2nd International Conference on Mechanical, Production, and Automobile Engineering*, 234–238. Retrieved from <http://psrcentre.org/images/extraimages/412635.pdf>
- Ford, S., & Despeisse, M. (2016). Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1573–1587. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.150>
- Foss, N. J., & Pedersen, T. (2004). Organizing knowledge processes in the multinational corporation: An introduction. *Journal of International Business Studies*, 35(5), 340–349. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jibs.8400102>
- Gamalielsson, J., & Lundell, B. (2014). Sustainability of Open Source software communities beyond a fork: How and why has the LibreOffice project evolved? *Journal of Systems and Software*, 89(1), 128–145. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2013.11.1077>
- Gan, W., & Xu, X. (2019). Does anti-corruption campaign promote corporate R&D investment? Evidence from China. *Finance Research Letters*, 30(September 2018), 292–296. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2018.10.012>
- Geoffrey A. Moore. (1991). Crossing the CHASM. In *New Electronics* (Vol. 49).
- Greco, M., Locatelli, G., & Lisi, S. (2017). Open innovation in the power & energy sector: Bringing together government policies, companies' interests, and academic essence. *Energy Policy*, 104(January), 316–324. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.049>

- Halton, J. (1982). The second industrial revolution. *Wisconsin Medical Journal*, 81(4), 40–42. <https://doi.org/10.2307/2224131>
- Hankammer, S., Jiang, R., Kleer, R., & Schymanietz, M. (2016). From Phonebloks to Google Project Ara. A Case Study of the Application of Sustainable Mass Customization. *Procedia CIRP*, 51(Mc), 72–78. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.157>
- Heiner Lasi. Hans Georg Kemper. Peter Feltke. Thomas Feld. Michael Hoffmann. (2014). Industry 4.0 in Business & Information System Engineering. *Business & Information System Engineering*, 6(4), 239–242. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
- Hernández, H., Hervás, F., Tübke, A., Vezzani, A., Dosso, M., Amoroso, S., ... Gkotsis, P. (2015). *The 2015 EU Industrial R&D Investment Scoreboard (No. JRC98287)*. <https://doi.org/10.2791/15792>
- Heron, M., Hanson, V. L., & Ricketts, I. (2013). Open Source - Accessibility and limitations. *Journal of Interaction Science*, 1(1)(2), 1–10.
- Huizingh, E. K. R. E. (2011). Open innovation: State of the art and future perspectives. *Technovation*, 31(1), 2–9. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2010.10.002>
- Ibrahimov, B. (2018). Open Innovation and application to Petroleum Industry. *IFAC-PapersOnLine*, 51(30), 697–702. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.212>
- Iplytics. (2019). *Patent and litigation trends for 3D printing technologies This article looks at additive manufacturing and 3D*. (March).
- Janeva, N. M., Kovacevska, G., Elencevski, S., Panchevska, S., Mijoska, A., & Lazarevska, B. (2018). Advantages of cad/cam versus conventional complete dentures-a review. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 6(8), 1498–1502. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2018.308>
- Jeremy. (2017). The Next Production Revolution (Summary in English). *The Next Production Revolution*, (May). <https://doi.org/10.1787/f69a68e9-en>
- Jones, R., Haufe, P., Sells, E., Iravani, P., Olliver, V., Palmer, C., & Bowyer, A. (2011). Reprap - The replicating rapid prototyper. *Robotica*, 29(1 SPEC. ISSUE), 177–191. <https://doi.org/10.1017/S026357471000069X>
- Kietzmann, J., Pitt, L., & Berthon, P. (2015). Disruptions, decisions, and destinations: Enter the age of 3-D printing and additive manufacturing. *Business Horizons*, 58(2), 209–215. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2014.11.005>
- Kim, H., Lin, Y., & Tseng, T. L. B. (2018). A review on quality control in additive manufacturing. *Rapid Prototyping Journal*, 24(3), 645–669. <https://doi.org/10.1108/RPJ-03-2017-0048>
- Kim, T., & Shin, D. H. (2016). Social platform innovation of open source hardware in South Korea. *Telematics and Informatics*, 33(1), 217–226. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2015.07.004>
- Kurt, R. (2019). Industry 4.0 in Terms of Industrial Relations and Its Impacts on Labour Life. *Procedia Computer Science*, 158, 590–601. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.093>
- Kuschner. (2017). 乳鼠心肌提取 HHS Public Access. *Physiology & Behavior*, 176(3), 139–148. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.03.040>
- Laplume, A. O., Petersen, B., & Pearce, J. M. (2016). Global value chains from a 3D printing perspective. *Journal of International Business Studies*, 47(5), 595–609. <https://doi.org/10.1057/jibs.2015.47>
- Lee, Paul; Stewart, Duncan; Loucks, Jeff; Arkenberg, C. (2019). Telecommunications Predictions 2019. *Deloitte Insights*.
- Lewis, C. M., & Tan, Y. (2016). Debt-equity choices, R&D investment and market timing. *Journal of Financial Economics*, 119(3), 599–610. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2016.01.017>
- Linden, A., & Fenn, J. (2003). Understanding Gartner's hype cycles. *Strategic Analysis Report Nº R-20-1971. Gartner Research*, (May), 12. Retrieved from <http://www.askforce.org/web/Discourse/Linden-HypeCycle-2003.pdf>
- Mani, M., Lane, B., Donmez, M. A., Feng, S. C., Moylan, S. P., & Fesperman, R. (2015). Measurement Science Needs for Real-time Control of Additive Manufacturing Powder Bed Fusion Processes; NIST Interagency/Internal Report (NISTIR) - 8036.

- NIST *Interagency/Internal Report (NISTIR)*, 8036(September), 50. <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8036>
- Mansfield, E. (1984). R&D and Innovation: Some Empirical Findings. *R&D, Patents, and Productivity*, 1, 127–154. Retrieved from <http://www.nber.org/chapters/c10047>
- Marques, J. P. C. (2014). Closed versus Open Innovation: Evolution or Combination? *International Journal of Business and Management*, 9(3), 196–203. <https://doi.org/10.5539/ijbm.v9n3p196>
- Martelli, N., Serrano, C., Van Den Brink, H., Pineau, J., Prognon, P., Borget, I., & El Batti, S. (2016). Advantages and disadvantages of 3-dimensional printing in surgery: A systematic review. *Surgery (United States)*, 159(6), 1485–1500. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2015.12.017>
- Matias, E., & Rao, B. (2015). 3D printing: On its historical evolution and the implications for business. *Portland International Conference on Management of Engineering and Technology*, 2015-Septe, 551–558. <https://doi.org/10.1109/PICMET.2015.7273052>
- Maurizio, S. P., Candidate, G., & Peroncini, S. (2018). *POLITECNICO DI TORINO European University Market for 3D Printing and Business Plan of an Additive Manufacturing Laboratory*. 1–167.
- McRoberts, M. (2011). *Arduino Básico*. 456.
- Miguel, J., & Silva, H. (2017). *dimensões em metal Engenharia Mecânica Júri*.
- Monostori, L. (2014). Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. *Procedia CIRP*, 17, 9–13. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.115>
- Moritz, M., Redlich, T., Grames, P. P., & Wulfsberg, J. P. (2017). Value creation in open-source hardware communities: Case study of Open Source Ecology. *PICMET 2016 - Portland International Conference on Management of Engineering and Technology: Technology Management For Social Innovation, Proceedings, 2018*, 2368–2375. <https://doi.org/10.1109/PICMET.2016.7806517>
- Negreiros, W. M., Jamjoom, F. Z., Gallucci, G., & Hamilton, A. (2020). Designing a complete-arch digital trial tooth arrangement for completely edentulous patients by using an open-source CAD software program: A dental technique. *Journal of Prosthetic Dentistry*, (April). <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.01.036>
- Nelaturi, S., Behandish, M., Mirzendehtel, A. M., & de Kleer, J. (2019). Automatic Support Removal for Additive Manufacturing Post Processing. *CAD Computer Aided Design*, 115, 135–146. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2019.05.030>
- Nuvolari, A. (2019). Understanding successive industrial revolutions: A “development block” approach. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 32(July 2017), 33–44. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2018.11.002>
- Oesterreich, T. D., & Teuteberg, F. (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in Industry*, 83, 121–139. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>
- OMPI. (2019). *World Intellectual Property Indicators 2019*.
- Pearce, J., Business, E., Source, O., Journal, H., & Pearce, J. M. (2019). *Emerging Business Models for Open Source Hardware To cite this version : HAL Id : hal-02113465 Emerging Business Models for Open Source Hardware. 1(1)*.
- Plaga, S., Wiedermann, N., Anton, S. D., Tatschner, S., Schotten, H., & Newe, T. (2019). Securing future decentralised industrial IoT infrastructures: Challenges and free open source solutions. *Future Generation Computer Systems*, 93, 596–608. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.11.008>
- Rauter, R., Globocnik, D., Perl-Vorbach, E., & Baumgartner, R. J. (2019). Open innovation and its effects on economic and sustainability innovation performance. *Journal of Innovation and Knowledge*, 4(4), 226–233. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2018.03.004>
- Ravasoo, A. (2014). Interaction of bursts in exponentially graded materials characterized by parametric plots. *Wave Motion*, 51(5), 758–767. <https://doi.org/10.1016/j.wavemoti.2014.01.006>
- Raymond, L., & St-Pierre, J. (2010). R&D as a determinant of innovation in manufacturing SMEs: An attempt at empirical clarification. *Technovation*, 30(1),

- 48–56. <https://doi.org/10.1016/J.TECHNOVATION.2009.05.005>
- Rebosz, A. (2017). *New approaches of improving FDM / FFF printing technology Sposoby doskonalenia druku 3D w technologii FDM / FFF*. (3).
- Report, T. (2019). Printing trends. *Paper, Film and Foil Converter*, 76(8), 78.
- Rifkin, J. (2012). The Third Industrial Revolution: How the internet, green electricity, and 3-D printing are ushering in a sustainable era of distributed capitalism. *World Financial Review*, 1–8. Retrieved from <http://wermutham.com/pdf/The Third Industrial Revolution.pdf>
- Saebi, T., & Foss, N. J. (2015). Business models for open innovation: Matching heterogeneous open innovation strategies with business model dimensions. *European Management Journal*, 33(3), 201–213. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2014.11.002>
- Scoreboard, I. (2018). *EU R & D Investment Scoreboard*. <https://doi.org/10.2760/802408>
- Scott, J., & Leader, P. (2017). *Additive Manufacturing : Status and Opportunities Additive Manufacturing : Status and Opportunities*. (January 2012).
- Shefer, D., & Frenkel, A. (2005). R&D, firm size and innovation: An empirical analysis. *Technovation*, 25(1), 25–32. [https://doi.org/10.1016/S0166-4972\(03\)00152-4](https://doi.org/10.1016/S0166-4972(03)00152-4)
- Siegle, J. H., Hale, G. J., Newman, J. P., & Voigts, J. (2015). Neural ensemble communities: Open-source approaches to hardware for large-scale electrophysiology. *Current Opinion in Neurobiology*, 32, 53–59. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2014.11.004>
- Snudden, J. (2019). Progression to the next industrial revolution: Industry 4.0 for composites. *Reinforced Plastics*, 63(3), 136–142. <https://doi.org/10.1016/j.repl.2019.04.001>
- Sreenivasan, R., Goel, A., & Bourell, D. L. (2010). Sustainability issues in laser-based additive manufacturing. *Physics Procedia*, 5(PART 1), 81–90. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2010.08.124>
- Stanko, M. A. (2020). Building an understanding of how winning products emerge when open and proprietary products coexist: Evidence from the RepRap community. *Creativity and Innovation Management*, (April). <https://doi.org/10.1111/caim.12376>
- Syam, N., & Sharma, A. (2018). Waiting for a sales renaissance in the fourth industrial revolution: Machine learning and artificial intelligence in sales research and practice. *Industrial Marketing Management*, 69(January), 135–146. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2017.12.019>
- The Boston Consulting Group (BCG), Rüssmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., ... Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. *The Boston Consulting Group*, 20. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
- Thomas, D. (2016). Costs, benefits, and adoption of additive manufacturing: a supply chain perspective. In *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (Vol. 85). <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7973-6>
- Thomas, D. S., & Gilbert, S. W. (2015). Costs and cost effectiveness of additive manufacturing: A literature review and discussion. *Additive Manufacturing: Costs, Cost Effectiveness and Industry Economics*, (January), 1–96.
- Timmer, M. P. (2012). *University of Groningen Groningen Growth and Development Centre*. 1–19.
- Tooze, J., Baurley, S., Phillips, R., Smith, P., Foote, E., & Silve, S. (2014). Open design: Contributions, solutions, processes and projects. *Design Journal*, 17(4), 538–559. <https://doi.org/10.2752/175630614X14056185480069>
- Trew, A. (2014). Spatial takeoff in the first industrial revolution. *Review of Economic Dynamics*, 17(4), 707–725. <https://doi.org/10.1016/j.red.2014.01.002>
- Troxler, P., & Wolf, P. (2017). Digital maker-entrepreneurs in open design: What activities make up their business model? *Business Horizons*, 60(6), 807–817. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.07.006>
- Tserovski, S., Georgieva, S., Simeonov, R., Bigdeli, A., Röttinger, H., & Kinov, P. (2019). Advantages and disadvantages of 3D printing for pre-operative planning of revision hip surgery. *Journal of Surgical Case Reports*, 2019(7), 1–4. <https://doi.org/10.1093/jscr/rjz214>

- Uhlemann, J., Costa, R., & Charpentier, J. C. (2020). Product design and engineering — past, present, future trends in teaching, research and practices: academic and industry points of view. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 27, 10–21. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2019.10.003>
- Un, C. A., & Asakawa, K. (2015). Types of R&D collaborations and process innovation: The benefit of collaborating upstream in the knowledge chain. *Journal of Product Innovation Management*, 32(1), 138–153. <https://doi.org/10.1111/jpim.12229>
- Unsal, G., Turkyilmaz, I., & Lakhia, S. (2020). Advantages and limitations of implant surgery with CAD/CAM surgical guides: A literature review. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 12(4), e409–e417. <https://doi.org/10.4317/jced.55871>
- Virat, M. S., Bindu, S. M., Aishwarya, B., Dhanush, B. N., & Kounte, M. R. (2018). Security and Privacy Challenges in Internet of Things. *Proceedings of the 2nd International Conference on Trends in Electronics and Informatics, ICOEI 2018*, 454–460. <https://doi.org/10.1109/ICOEI.2018.8553919>
- Wijnen, B., Hunt, E. J., Anzalone, G. C., & Pearce, J. M. (2014). Open-source syringe pump library. *PLoS ONE*, 9(9), 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0107216>
- Zhou, C., Hong, J., Wu, Y., & Marinova, D. (2019). Outward foreign direct investment and domestic innovation performance: evidence from China. *Technology Analysis and Strategic Management*, 31(1), 81–95. <https://doi.org/10.1080/09537325.2018.1485890>

5.2 Outras fontes de informação

3D Hubs. (2018). Digital Manufacturing Trends. *3D Hubs*, (October).
Disponível em: <https://www.3dhubs.com/trends>

ARDUINO. (2020) Arduino
Disponível em: <https://www.arduino.cc/>

CNCCOOKBOOK. (2020) CNC Cookbook Journal
Disponível em: <https://www.cnccookbook.com/cnccookbook-2020-cad-market-share-survey/>

CNCCOOKBOOK. (2018) CNC Cookbook Journal
Disponível em: <https://www.cnccookbook.com/cnccookbook-2018-cad-survey-results-customer-satisfaction-awards/>

EY. (2019). *3D printing: hype or game changer?* 64.
Disponível em: <https://assets.ey.com>

HAPTIC. (2016) Haptic R&D feel the technology
Disponível em: <https://www.haptic.ro/predictions-3d-printing-market/>

MD. (2019) Mundo Digital
Disponível em: <http://especiais.estadao.com.br/mundodigital/ola-mundo/>

PMD. (2018). Portal Marketing Digital

Disponível em: <https://portalmarketing.digital/Google-Smartphones-em-plataformas-modulares>

SOURCEFORGE. (2020). SourceForge Open Source Projects

Disponível em: <https://sourceforge.net/projects/free-cad/files/stats/timeline>
<https://sourceforge.net/projects/brlcad/files/stats/timeline>
<https://sourceforge.net/projects/librecad/files/stats/timeline>

THUNDERBiRD. (2020). Thunderbird

Disponível em: <https://www.thunderbird.net/pt-PT/>

TV3DPAM. (2015). The Voice of 3D Printing / Additive Manufacturing

Disponível em: <https://3dprint.com/72171/first-3d-printer-chuck-hull/>

VOIS. (2018) Viima Open Innovation Software

Disponível em: <https://www.viima.com/open-innovation>

WIKI. (2020) Wikipédia

Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Revolu%C3%A7%C3%A3o_Industrial