iseclisboa
INSTITUTO SUPERIOR DE EDUCAÇÃO E CIÊNCIAS

THE INFLUENCE OF 3D-PRINTING IN AIRCRAFT MAINTENANCE AND IN THE SUPPLY CHAIN

Aircraft maintenance workers' perspectives.

Diogo Borges

Provas destinadas à obtenção do grau de Mestre em Ciências Aeronáuticas

dezembro 2020

Versão Definitiva

ISEC LISBOA | INSTITUTO SUPERIOR DE EDUCAÇÃO E CIÊNCIAS

Aeronautical School

Masters dissertation in Operations of Air Transport

HOW DOES 3D-PRINTING AFFECTS AIRCRAFT MAINTENANCE AND ITS SUPPLY CHAIN?

What is the opinion of aircraft maintenance workers regarding the impact of additive manufacturing in aircraft maintenance supply chain?

Author: Diogo Borges, 20140288

Advisor: Professor Dr. José Morgado

December, 2020

Acknowledgements

I would like to thank ISEC – Instituto Superior de Educação e Ciências for allowing me to explore this theme and facilitating the search for interviewees.

AEROMEC represented an important part in this dissertation and without them this would not be possible. From this magnificent company I have to thank Engineer Paulo, who guided me in the early stages of the interviews.

To my teachers, that so wisely and patiently helped me through the difficulties of this accomplishment in my life: Pedro Rodrigues, Ana Cristina Freitas and Carlos Páscoa, I could not be more thankful.

Thanks to my advisor, for his guidance, support, wisdom, availability and all-round essential help in seeing this through.

Special thanks to my family. They were without a doubt my main support through this journey.

To my girlfriend, Inês, I show my appreciation for the peace of mind and motivation provided.

Last but not least, my friends, who were always there when I asked for help, André, Pedro and Sebastião.

Abstract

This thesis aims to understand the impact three dimensional (3D) printing can have in aviation's maintenance supply chain. Since optimizing every process related to fleet managing and safety compliance is the main goal of every aviation manager, 3D printing is a possible solution. Today's methods and supply chain arrangement are outdated and should be changed in order to improve the product's delivery. Every new technology has its upsides and downsides, as we will explore throughout this dissertation. The objective is to understand the benefits of 3D printed parts in the aviation's maintenance workshop, and how it can affect the supply chain. This will be achieved through extensive research and by interviewing professionals from the aviation sector. Some of the results suggest that additive manufacturing will only represent an important part in maintenance in a distant future. Although it is possible to produce certified aircraft components nowadays, due to the fact aviation is a heavily regulated environment. Therefore, in the short term, 3D printing is only valuable for prototyping.

Index

Acknowledgements iii
Abstract iv
Index v
Figure index vi
Graphic index vii
Table index vii
Abbreviations and acronyms 1
1. Introduction 1
1.1. Context 1
1.2. Theme and Contributions 2
1.3. Motivation 2
1.4. Research Question and Objectives 3
2. Literature review 5
2.1. Historical background 5
2.2. Additive manufacturing technology 6
2.2.1. Powder Bed Fusion 8
2.2.2. Vat Photopolymerization 10
2.2.3. Material Jetting 11
2.2.4. Binder Jetting 12
2.2.5. Material Extrusion 13
2.2.6. Sheet Lamination 14
2.2.7. Direct Energy Deposition 15
2.3. Materials used in additive manufacturing 17
2.3.1. Polymers 17
2.3.2. Metals 18
2.3.3. Composites 19
2.3.4. Ceramics 19
2.4. Economics of additive manufacturing 22
2.5. Comparison between additive manufacturing and machining 25
2.6. Supply Chain Theory 27
2.7. Regulation and Certification 28
2.8. Aircraft Maintenance 30
3. Methodology 32

3.1. Study Approach and Design 32
3.2. Participants 32
3.3. Data Collection: technique and instruments 33
3.4. Data Treatment 33
4. Results and discussion 35
4.1. Contributes of the literature review 35
4.1.1. Understanding the maintenance role in the supply chain 37
4.1.2. Additive manufacturing in DOAs and POAs 40
4.1.3. How additive manufacturing affects aircraft maintenance's SC 41
4.2. Interview results 43
4.2.1. 3DP's implementation advantages 43
4.2.2. Concerns of 3DP implementation 45
4.3 Summary 47
5. Conclusion and future work 48
6. References 51
7. Annexes 53
7.1. Annex 1 53
7.2. Protocol number 1 54
7.3. Protocol number 2 56
7.4. Protocol number 3 59
7.5. Protocol number 4 62
7.6. Protocol number 5 67
7.7. Protocol number 6 70
7.8. Protocol number 7 75
7.9. Protocol number 8 86
7.10. Protocol number 9 89
7.11. Protocol number 10 94

Figure index

Figure 1: Selective Laser Sintering process (Gibson & Rosen, 2015). 8
Figure 2: Binding mechanisms in power bed fusion processes. Source: (Gibson & Rosen, 2015). 9
Figure 3: Photopolymerization schematic of the three main processes. Source: (Gibson & Rosen, 2015). 10

Figure 4: Schematic of main Material Jetting printing methods: Drop-On-Demand printing system (left) and Binary deflection continuous printing (right). Source:(Gibson & Rosen, 2015). 12
Figure 5: Schematic of the binder jetting method. Source: (Gibson & Rosen, 2015). . 12
Figure 6: LOM process. Source: Gibson & Rosen, 2015). 15
Figure 7: Direct Energy Deposition schematic. Source: Gibson & Rosen, 2015. 16
Figure 8: CNC machining manufacturing method. Source: https://www.3dhubs.com/guides/cnc-machining/ 25
Figure 9: Types of channel relationships from the supplier to the consumer. Source: Mentzer et al., Journal Of Business Logistics, Vol.22, No2, 2001. 27
Figure 10: The value chain. Source: Porter, M., Competitive Advantage, The Free Press, 1985. 27
Figure 11: Flowchart for choosing of the best method regarding the material and the quantity of parts. 36
Figure 12 Flowchart regarding present SCiAMconcept. 39
Figure 13 Flowchart demonstrating the benefits of the implementation of the SCiAM–3DP concept. 39

Graphic index

Graphic 1: Metal AMgrowth from 2000 to2013. Source: (Wolhers Report 2014, n.d.) 22
Graphic 2 Main additive manufacturing advantages discussed in the interviews. 44
Graphic 3 Main additive manufacturing concerns discussed in the interviews. 46

Table index

Table 1: Summary of 3DP methods: basic principles, example technologies, advantages, disadvantages, materials and build volume. Source:(Tofail et al., 2018) 21
Table 2: Pricing comparison of CNC machining. Source: https://www.3dhubs.com/guides/cnc-machining/ 26
Table 3 Summarized script used to interview the subjects. 34
Table 4 Summary of the opinions gathered in the interviews. 47

Abbreviations and acronyms

2D	Two-Dimensional
3D	Three-Dimensional
3D CAD	Three-Dimensional Computer-Aided Design
3DP	3D Printing
ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene
AM	Additive Manufacturing
AMC	Acceptable Means of Compliance
AMO	Aircraft Maintenance Organization
AOC	Aircraft Operator Certification
BJ	Binder Jetting
CAMO	Continuing Airworthiness Management Organization
CNC	Computer Numerical Control
COA	Continuing Airworthiness Organization
COC	Certificate of compliance
cP	Centipoise
CRS	Certificate of Release to Service
CS	Certification Specification
DED	Direct Energy Deposition
DLP	Digital Light Processing
DMLS	Direct Metal Laser sintering
DOA	Design Organization Approval
EASA	European Union Aviation Safety Agency
EBF3	Electric Beam Free Form Fabrication
EBM	Electron Beam Melting
EBS	Extrusion Based Systems
FDM	Fused Deposition Modeling
FFF	Fused Filament Fabrication
FLM	Fused Layer Modeling

GM	Guidance Material
ICAO	International Civil Aviation Organization
IP	Intellectual Property
LBMD	Laser Based Metal Deposition
LOM	Laminated Object Manufacturing
LS	Laser Sintering
ME	Material Extrusion
MEL	Minimum Equipment List
MJ	Material Jetting
MMEL	Master Minimum Equipment List
MRO	Maintenance Repair and Overall
PBF	Power Bed Fusion
POA	Product Organization Approval
PVC	Polyvinyl Chloride
ROI	Return On Investment
RP	Rapid Prototyping
SARPs	Standard and Recommended Practices
SC	Supply Chain
SCiAM	SC in Aviation Model
SCiAM-3DP	SC in Aviation Model with the 3DP technology
SHS	Selective Heat Sintering
SL	Stereolithography
SLM	Selective Laser Melting
SLS	Selective Laser Sintering
SOPs	Standard Operating Procedures
UAM	Ultrasonic Additive Manufacturing
VP	VAT Photopolymerization

1. Introduction

1.1. Context

The aviation business has been exponentially growing, as we can observe in air traffic transportation numbers, and with it new technologies are developed to help every process that leads the airplane to fly safely from point A to point B (Airbus, 2019a).

This demand for air traffic leads to safety concerns in aviation, where a small error can lead in a disastrous incident. When a flight departures, the airplane must be in safe conditions to fly. In Europe these circumstances are regulated by the European Union Aviation Safety Agency (EASA). This agency establishes the standard operating procedures in Europe's aviation, from every component of an airplane from the material to the appliance, every procedure from the airplane to the airport marshal is described (European Union Aviation Safety Agency, n.d.-b)(European Union Aviation Safety Agency, n.d.-a).

Safety has been changing with the aviation's technological advancements, which are followed, and many times preceded, by big developments in the production area. For most of human history, we've created physical objects by cutting away raw material or using molds to form new shapes (Lipson & Kurman, 2013). One of the recent trends in evolution of manufacturing is 3D printing (3DP), which is the process of making a three dimensional solid object from a digital file ("What is 3D Printing?," n.d.) otherwise impossible to make. This technology isn't new and with the evolution of internet, the printing process became progressively more known, therefore becoming easily available for everyone.

The demand for air travel is growing exponentially, 4,3% per year (Airbus, 2019b), and with it the search for maintenance. *Manufacturers* have to keep up and meet market demands without compromising the integrity of the product (Axtman & Wilck, 2016) and continually search for technology capable of reducing fabrication and assembly time. Since this new technology started to be implemented and used in the new airplane models, how does it help maintenance's workshop workflow? Is it worth the cost? What will the company gain? Does the purchaser need to invest in new training?

1.2. Theme and Contributions

Nowadays airlines seek to optimize their operation and cut costs in every way possible. Technology tends to be developed exponentially faster, in many industries the human hand work has been replaced by machines that do the same work faster and better. At a certain point, humans will not be able to keep up with the technology.

3DP is the technology that starts to appear as a substitute to old machining in other industries. The question this thesis aims to investigate is how the aviation industry will be affected and transformed by this new technology. Although very promising, through research & development, society needs to understand how exactly 3DP can be inserted in the cycle between the manufacturer, supply chain (SC) and maintenance in order to make parts available faster and expedite aircraft's availability.

Therefore, the Research Problem statement is: the aviation sector does not know to what extent 3DP can be used and how it will affect the production of components like the in manufacture, SC and maintenance sectors.

The theme under study is relevant to fill an existing gap regarding knowledge about additive manufacturing (AM), commonly known as 3DP, in aircraft maintenance SC. Many of the concepts discussed can be applied to any business and improve the workflow of businesses daily.

This research scope lies in 3DP and how it can affect the manufacture, SC and maintenance, in the European Union and other provinces that are ruled by the same rules, under the EASA.

1.3. Motivation

In the pursuit for a problem in aircraft maintenance, there was an understanding about maintenance's major restraints, component procurement. This understanding allied to the emerging of the new technique that is addictive manufacturing, led to the motivation to comprehend the impact it would have on the maintenance's organizations and its workflow in its future implementation requirements in order to comply with all the requirements.

1.4. Research Question and Objectives

3DP technology is exceptionally useful in some industries and some production areas. Its utilization in the aeronautical area is incipient, the existing studies, mentioned further ahead in the dissertation, lack applicability in the area although there is implicit potential.

Since the aviation maintenance's operational personnel will be this technology's users, it is important to seek an understanding of their perspectives about the usage of this technology in this line of work.

AM is considered to be a disruptive technology, it will expand our horizons and revolutionize our way of thinking as well as change the current process of product delivery.

With this understanding the research theme emerged: "THE INFLUENCE OF 3D-PRINTING IN AIRCRAFT MAINTENANCE AND IN THE SC". The perspectives for these questions are to understand the workers' opinion about the future implementation of a 3D printer in their workspace.

There are three derived questions:

1) How will the manufacture sector be affected?
2) Will SC characteristics be dramatically changed by 3DP?
3) How will aircraft maintenance be affected in terms of its processes and resources?

The hypotheses, will be related to cost reduction, part configuration and time optimization for manufacture, SC and maintenance in order to increase aircraft availability.

To answer these questions, we formulated the following objectives:

- Understand the characteristics and potentials of 3DP for the aviation industry;
- Characterize the workers' perspectives about the application of 3DP in their professional activity and the impact in the aviation maintenance sector.

In chapter two the most important theoretical concepts will be discussed, while in chapter three the chosen investigation methodology will be exposed. After this, in chapter four, the results will be compiled and discussed. To finalize, the results of the research and the investigation method will lead to conclusions and future work, which will be explicit in chapter five.

2. Literature review

The literature review is commonly used to address the state of the art, which aims to understand and explain every factor that has influence in this study. The topics considered of interest to the research are:

- The manufacturing processes: AM and Machining;
- Materials used;
- Supply Chain;
- Safety and Legislation;
- Maintenance.

2.1. Historical background

The concept of AM goes back 150 years to the fields of photo-sculpture, topography and material deposition (Zhai, Lados, & Lagoy, 2014). These 3 technologies are the predecessors of modern technology, since they peaked before the invention of the computer and relied on manual labor to form layers or subcomponents that were then assembled (Bourell, 2016).

In 1860, François Willème was the first to use photography to create a sculpture of a subject. This was achieved by using 24 equally spaced cameras (15° apart) that photographed simultaneously Admiral David Farragut, to provide the necessary information for the craftsman to produce sections of the sculpture which were assembled later (Bourell, 2016). This was the first technic to recover 3D information.

Another layering method was developed by Blanther (Patent No. US473901A, 1892), commonly known as topography and allowing to create topographical relief maps based on the cut-and-stack concept using a flat feedstock. In the early 50's Munz created the origin of stereolithography (SL), by selectively exposing and hardening a layer of the photopolymer according to the cross-section of a scanned object using a piston mechanism. SL uses a laser to change the properties of a certain material, such as resign, in a container layer by layer and later submerged in a product that removes the excess material (Bourell, 2016; Patent No. 2775758, 1956; Zhai et al., 2014).

The material deposition technology is based on a moving deposition source that applies the material at a constant rate, moving and drawing the object layer by layer. In the end the overlap of the layers will create the desired object (Bourell, 2016).

2.2. Additive manufacturing technology

Nowadays AM is commonly known as 3DP. This technology relies on a model generated using a 3D Computer-Aided Design (CAD) system, without need of process planning (Gibson & Rosen, 2015). In comparison to other production processes, 3DP has many advantages. The most important is the ability to simplify the creation of a complex 3D object directly from CAD data (Gibson & Rosen, 2015). Other processes tend to be much more complex: many times special tools and processes are required to design the parts' geometry, fabricate and assemble it (Gibson & Rosen, 2015). On the other hand, AM needs only some basic knowledge about the dimensional details and how the machine works, as well as the materials used to build the object (Gibson & Rosen, 2015).

The principle behind AM is to overlap many two dimensional (2D) designs, created by the machine with the CAD. By overlaying these layers, we can achieve many complex designs, otherwise impossible. We can also define the thickness of each layer: the thinner the layer the more precise the physical object will be in comparison to the CAD (Gibson & Rosen, 2015). This accuracy will define the material and mechanical properties of the part. The project will determine the time required to build the object, how much post processing is needed, the requirements for the size of the printer and the cost of the machine and process (Bourell, 2016).

Most of the time, the process of AM follows a certain procedure:

1) CAD

   The part must be projected with a software that fully describes the external and internal geometry. This can also be accomplished by using any kind of optical scanner (Bourell, 2016).

2) Conversion to STL[1]

   The STLs formats, commonly accepted by 3D-printers, is created so the printer can acknowledge the design (Gibson & Rosen, 2015).

3) Transfer and manipulation of the STL file

   After transferring the file to the printer it is required to manipulate the file so the part is in the correct size, position and orientation for building (Gibson & Rosen, 2015).

4) Machine Setup

   The project's specifications must be inserted into the machine, such as: material constraints, energy source, layer thickness, timings, etc. (Gibson & Rosen, 2015).

5) Automated Process

   The build process, doesn't require much supervision. The most common errors are software glitches and running out of power or material (Gibson & Rosen, 2015).

6) Removal

   Removing some parts may require interaction with the printer which may have safeguards in order to ensure the correct solidification of the part and correct use of the printer. The part may require an amount of cleaning before it is ready to use, like removing any support features or polish the imperfections. After this procedures the part will be ready for assembly and application (Gibson & Rosen, 2015).

Following this broad explanation there are many AM methods with different capabilities and properties that are important to discuss.

[1] The STL is a file format which is originally created from 3D CAD system (Gibson & Rosen, 2015).

2.2.1. Powder Bed Fusion

Selective Laser Sintering (SLS) was the beginning of the Powder Bed Fusion (PBF) technology. It evolved to similar working techniques that use different binding mechanisms (Zhai et al., 2014). The PBF process includes the Electron Beam Melting (EBM), SLS and Selective Heat Sintering (SHS) printing technique (Lee, Ramlan, & Shahrubudin, 2019). Some materials used on this process are metals, ceramics, polymers, composites and hybrid materials (Lee et al., 2019). *"The powder bed fusion process consists of a laser scanning system, a powder delivery piston, a roller and a fabrication piston. Before the fabrication starts the powder delivery piston moves up and the fabrication piston moves down one layer of thickness. The powder is spread and lightly compacted by the roller over the surface of the fabrication piston, and a laser beam is then driven over it to selectively melt the powder under the guidance of the scanner system"* (Zhai et al., 2014, p.810) as shown in Figure 1. This process is repeated, inside a chamber filled with nitrogen gas to minimize oxidation and degradation of the powder material, until the part is completely created. After the object is printed, unnecessary powder is brushed away and partially reused after proper treatment (Zhai et al., 2014). This technology was the first 3D printer to be commercialized and due to its wide range of materials, it is widely known and used worldwide (Gibson & Rosen, 2015). One of the advantages of the powder bed systems is the lack of support structures, as they are not needed but may be used to provide thermal pathways for heat dissipation and better geometry control (Zhai et al., 2014). Depending on the

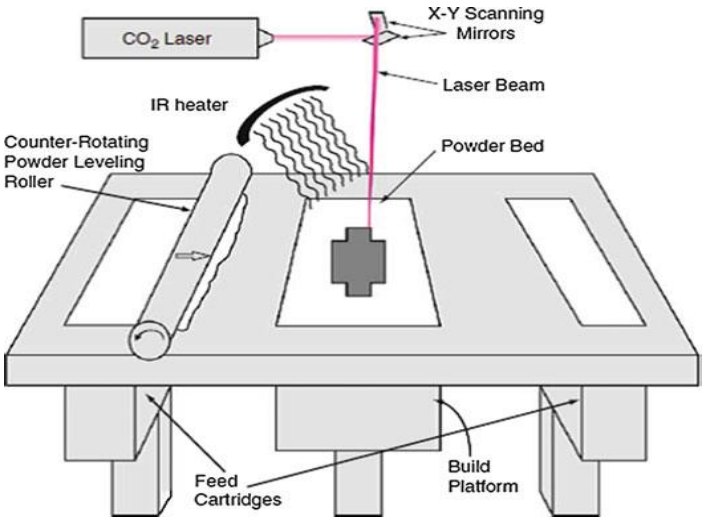


Figure 1: Selective Laser Sintering process (Gibson & Rosen, 2015).

material used the heat source may differ, being laser the most common (Gibson & Rosen, 2015).

The benefits of this method are the use of a wide range of materials, the lack of supports and allows advanced geometries like internal cooling channels and other complex features that otherwise would be impossible to have in a single part object (Gibson & Rosen, 2015). The difficulties present in this manufacturing procedure are related to the selection of the binding mechanism (Figure 2), the atmosphere conditions and the size of the particles used, larger particles will produce inferior objects with less accuracy and post processing. The materials used in this method consistently show a 3-4% shrinkage, which can lead to part distortion (Gibson & Rosen, 2015). Due to the necessity of heating, the delay time until assembly is prolonged since it is required to cool-down (Gibson & Rosen, 2015).

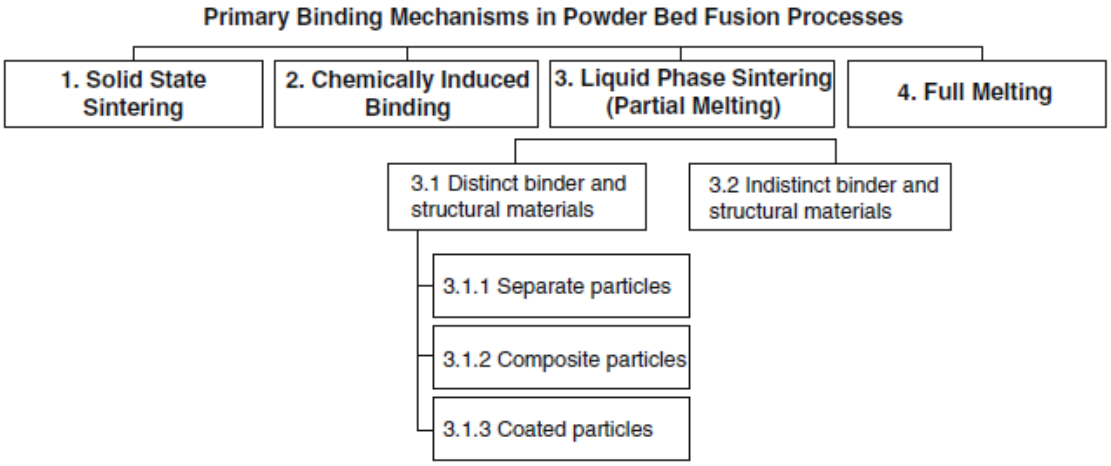


Figure 2: Binding mechanisms in power bed fusion processes. Source: (Gibson & Rosen, 2015).

2.2.2. Vat Photopolymerization

The principle behind Vat Photopolymerization (VP) is the curation of the material using radiation in the ultraviolet (UV) range of wavelengths. The materials used are liquid radiation-curable resins or photopolymers, which will undergo a chemical reaction triggered by UV radiation to become solid. This reaction is called photopolymerization (Gibson & Rosen, 2015).

There are three main configurations of this 3DP method, as shown in Figure 3:

a) Vector scan, or point-wise, similar to traditional commercial SL machines;
b) Mask projection, or layer-wise, which irradiates layer by layer;
c) Two-photon, high-resolution point-by-point approach;

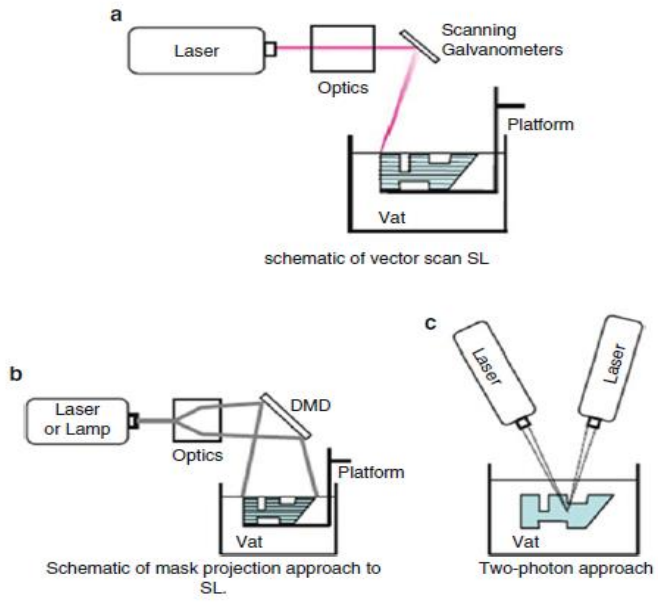


Figure 3: Photopolymerization schematic of the three main processes. Source: (Gibson & Rosen, 2015).

Every process has its benefits and drawbacks, in this case we beneficiate from a highly accurate technology with great surface finishes (Gibson & Rosen, 2015). Another advantage is the printers versatility, which can easily be modified to fit each project requirements (Gibson & Rosen, 2015).

The disadvantages in this system are the limitation to acrylates and epoxies, although many other photopolymerizable materials exist but none are commercialized

in a big scale (Gibson & Rosen, 2015). Also the materials used don't have the same quality as thermoplastics, they are known to age and lose their mechanical properties over time (Gibson & Rosen, 2015).

2.2.3. Material Jetting

This 3DP method was first developed in 1980 with patents related to the development of Ballistic Particle Manufacturing, which required simple deposition of drops of material onto a particle. In the beginning of 3DP, most techniques relied on heated waxy thermoplastics, however the recent focus in the evolution of these processes is the deposition of acrylate photopolymer, wherein droplets of liquid monomer are formed and exposed to UV light to encourage polymerization, which has many similarities to SL(Gibson & Rosen, 2015).

With the industry evolution, new materials are being tested for common droplet formation methods, which require a viscosity threshold in the range of 20-40 centipoise (cP) at printing temperature (Gibson & Rosen, 2015). To enable jetting, the materials must be heated until they liquefy. In order to lower the viscosity of the materials the most common practices are to use heat or solvents or other low viscosity components in the fluid. The deposits quality is influenced by many variables such as print head speed, droplet velocity and frequency. The materials used in this method are: metals, polymers and ceramics.

Every process has its limitations and material jetting (MJ) is not an exception, it is an extremely complex process since it uses materials that may or may not be in liquid state that need to be converted into continuous drops (Gibson & Rosen, 2015) as we can see in Figure 4. The second difficulty is to overcome droplet formation, since it is a very delicate process and small changes can have enormous impact on the substances in use. After controlling the viscosity, the next barrier is the deposition of the material: flight path, impact and substrate wetting or interaction; this will have influence in the of the droplet conversion from liquid to solid geometry. (Gibson & Rosen, 2015).

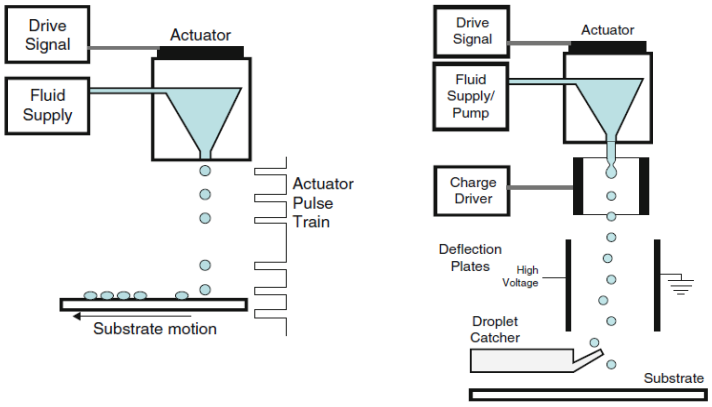


Figure 4: Schematic of main Material Jetting printing methods: Drop-On-Demand printing system (left) and Binary deflection continuous printing (right). Source:(Gibson & Rosen, 2015).

2.2.4. Binder Jetting

First created as "Three-Dimensional Printing" by the Massachusetts Institute of Technology, binder jetting is similar to PBF. Binder jetting (BJ) is a process in which a binder is printed onto a power bed to form part cross sections as shown in Figure 5, while in PBF a laser melts powder particles to define a part cross section. Like in MJ, BJ uses droplets composed of binder to form spherical agglomerates of binder liquid and powder particles as well as form the required bonding to the previously printed layer, after this a new powder bed is spread onto it (Gibson & Rosen, 2015).

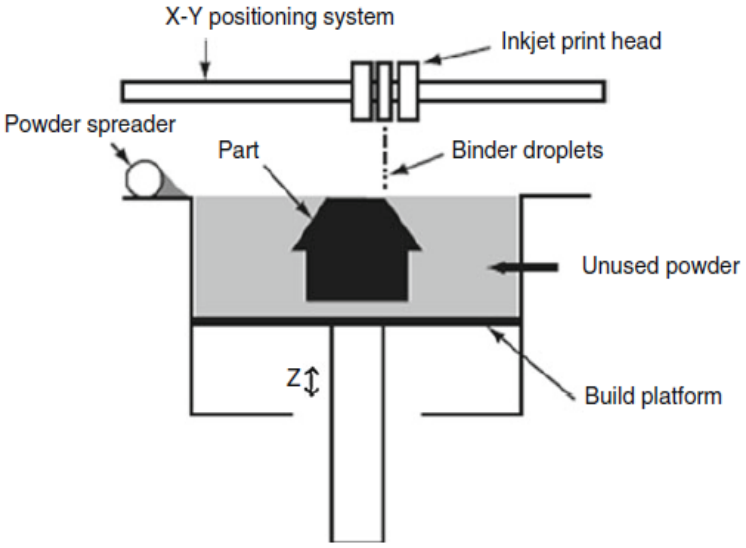


Figure 5: Schematic of the binder jetting method. Source: (Gibson & Rosen, 2015).

The BJ process and the power bed processes have many advantages in common, the lack of support structures, parts can be stacked in one layer and stacked in the powder bed to increase the number of parts being printed at a time (Gibson & Rosen, 2015). This method can also print visual appealing parts due to its ability to print with color (Gibson & Rosen, 2015).

Usually the BJ process has poorer accuracies and surface finishes than MJ and infiltration steps are required to ensure good mechanical properties (Gibson & Rosen, 2015).

2.2.5. Material Extrusion

Material extrusion (ME) technologies are currently the most popular on the market, due to the easy assembly, readiness to use and low cost of printers. This technique consists in extruding the material through a nozzle to a platform and building the object layer by layer, by moving the piston head or the platform horizontally for each layer and vertically to move to the next layer (Gibson & Rosen, 2015). The chamber where the material is kept is different depending on the state of the material, if the material is in liquid form the chamber should be pressurized in order to assure a constant flow of material through the nozzle. The diameter of the nozzle will depend on the travel across the deposit surface that is also kept at constant speed (Gibson & Rosen, 2015). However, if the material is in solid state it is usually fed in as a continuous filament. The material extruded is in a semisolid state when it comes out of the nozzle and must solidify while remaining in that shape in order to create the intended form, it must also bond to the previously deposited material so it can build a mechanically strong object (Gibson & Rosen, 2015).

The constrains in ME are related to build speed, accuracy and material density (Gibson & Rosen, 2015). Despite the low price of the machines, only the high-end tier has the capability of producing high precision objects and will take a considerably amount of time (Gibson & Rosen, 2015). All the nozzles are circular and consequently it is impossible to draw sharp corners (Gibson & Rosen, 2015). With this method is possible to adjust the fill pattern in order to lower weight and building time, at the cost of the part's strength (Gibson & Rosen, 2015). The printing itself has to be carefully thought since the part will have better strength performance in the *x-y* plane than the *z*, thus it

is best that major stress axes are aligned with *x-y* plane rather the *z* plane (Gibson & Rosen, 2015).

2.2.6. Sheet Lamination

Laminated Object Manufacturing (LOM) was one of the primordial 3DP techniques. LOM was defined by a layer-by-layer lamination of paper material sheets, cut using a CO_2 laser, each layer corresponded to one section of the CAD model of the object (Gibson & Rosen, 2015).

Many processes derived from LOM, which is based on the mechanism used to accomplish bonding between layers (Gibson & Rosen, 2015) as shown in Figure 6:

a) Gluing or adhesive bonding – uses a polymer-based adhesive (Gibson & Rosen, 2015);
b) Thermal bonding – depending on the manufacturing process it is required to have extensive post-processing to remove support materials or it can be difficult to automate for arbitrary and complex geometries (if the cross section has a geometry that is disconnected from the remaining geometry) (Gibson & Rosen, 2015);
c) Clamping – simple method that uses clamps and facilitates the disassembly of the laminates in order to adjust a particular section, it also allows easy recycling of the materials (Gibson & Rosen, 2015);
d) Ultrasonic welding – Ultrasonic AM (UAM) incorporates an ultrasonic metal seam welding and Computer Numeric Control (CNC) milling, the parts are built from top to bottom by putting the sheets side by side and trimming them using CNC milling, after this the layers are compressed with a rotating sonotrode which travels along the layers' length, bonding them (Gibson & Rosen, 2015). This process can be optimized by controlling some parameters in the sonotrode: oscillation amplitude, normal force, travel speed and temperature.

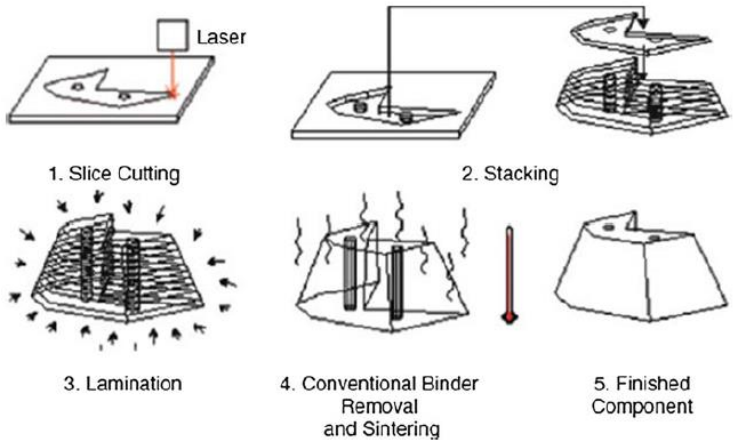


Figure 6: LOM process. Source: Gibson & Rosen, 2015).

2.2.7. Direct Energy Deposition

The concept of direct energy deposition (DED) is to melt the material as it is being deposited to create an object. Generally, it is used with metal powders, although it can work with polymers, ceramics and metal matrix composites (Gibson & Rosen, 2015).

DED methods channel energy to a focused region (typically a laser or an electron beam) in order to melt simultaneously the substrate and the material being deposited (Gibson & Rosen, 2015) as shown in Figure 7. DED and PBF are similar, however PBF melts the material that is pre-laid in a power-bed. The deposition used in DED is similar to extrusion-based processes in where for each pass of the DED head a path of solidified material is created and will end up creating each layer of the object (Gibson & Rosen, 2015). The material feeder can be one of two types: powder or wire. Each deposition head is composed of a collection of laser optics, powder nozzle(s), inert gas tubing and in some cases, sensors (Gibson & Rosen, 2015).

DED is able to produce fully dense parts with highly controllable microstructural features (Gibson & Rosen, 2015). Although there are drawbacks to this method, poor resolution and surface finish are inversely proportional to build speed with typical deposition rates as low as 25-40 g/h (Gibson & Rosen, 2015).

The unparalleled control of microstructure, the ability to change material composition and solidification rate allow designers to fully explore the limits of their creativity with DED method (Gibson & Rosen, 2015). This also allows to repair and

refurbish defective and damaged high-technology parts which can be composed of thin dense metal layers that are corrosion and wear resistant (Gibson & Rosen, 2015). Although DED is able to produce complex structures, PBF is more capable (Gibson & Rosen, 2015). This is due to the need of support structures and the fact that larger melt pools in DED lead to an inability to produce small-scale features due to poorer surface finishes with less accuracy (Gibson & Rosen, 2015).

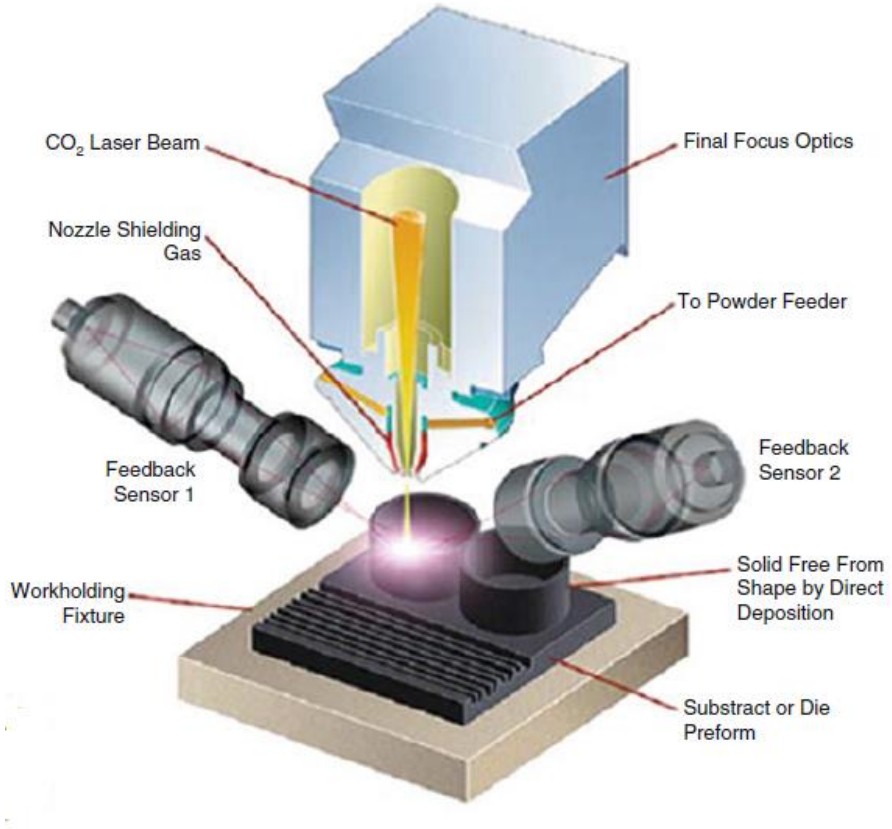


Figure 7: Direct Energy Deposition schematic. Source: Gibson & Rosen, 2015.

2.3. Materials used in additive manufacturing

In this section of the dissertation the materials used in AM will be explored as well as their characteristics, along with the methods in which they are used.

2.3.1. Polymers

Polymers can be classified either as thermoplastic, which can be classified regarding its crystallinity, or as thermoset polymers which degrade but do not melt as their temperature is increased, and are not frequent in PBF since it operates by melting particles to fabricate part cross sections (Gibson & Rosen, 2015). Crystalline polymers have a regular molecular structure, however the semi-crystalline polymers are more common due to its regions of regular structure(Gibson & Rosen, 2015). On the other side we have amorphous polymers that have a random molecular structure and polymer chains randomly intertwined (Gibson & Rosen, 2015). These polymers melt over a wide range of temperatures (Gibson & Rosen, 2015). As the crystallinity increases, its melting point tends to be more well-defined, and the material increasingly softens and viscosity lowers with increasing temperature. (Gibson & Rosen, 2015).

The polymer materials used in 3DP in liquid state or with low melting point are widely used due to its low cost, low weight and processing flexibility (Lee et al., 2019). They are specially used in medical support in orthopedic implants (Lee et al., 2019).

Powder bed methods beneficiate from the thermoplastics low melting temperatures, low thermal conductivities, low tendency for balling, reduced elongation and unique microstructures (Gibson & Rosen, 2015). PBF can have fillers that enhance their mechanical properties.

VP uses curable resins which do not melt and exhibit less creep and stress relaxation and these resins are mainly epoxies with some acrylate content (Gibson & Rosen, 2015).

In extrusion based systems (EBS) materials are versatile and can be melted and customized to the project's requirements, for example they can be used in aircraft parts since some materials have favorable flame, smoke and toxicity ratings. BJ machines can also use polymer powders to fabricate parts. Fused deposition modeling (FDM), which

is one derivative from EBS, works best with polymers that are amorphous in nature rather than the highly crystalline polymers that are more suitable for PBF processes.

In sheet lamination, polyvinyl chloride (PVC) is the most well-known polymer. Automated lay-up of polymer composite sheets is being researched and perhaps will be object of significant attention due to its potential.

2.3.2. Metals

The metallic materials used in 3DP are well-known in the aerospace, automobile, medical and manufacturing industries due to their excellent physical properties and versatility (Lee et al., 2019). The main materials are aluminum alloys, nickel-based alloys, stainless steel, and titanium alloys (Lee et al., 2019). What categorizes the cobalt-based alloys applied in the dental industry are its high specific stiffness, resilience, high recover capacity, elongation and heat-treated conditions (Lee et al., 2019). On the other side, nickel-based alloys are used in more extreme environments like the aerospace industry, thanks to high corrosion and temperature resistance (Lee et al., 2019). Titanium can also be printed with excellent ductility, corrosion, oxidation resistance and low density (Lee et al., 2019).

A wide range of metals has been processed using PBF. Generally, any metal that can be welded is considered to be a good candidate for PBF processing (Gibson & Rosen, 2015). Cu-based powders for parts requiring high thermal and electrical conductivities were also available. PBF can have fillers that enhance their mechanical properties.

BJ melts the material to forms layers leading to create the part, therefore any metal that shows good weldability is a good candidate for this method (Gibson & Rosen, 2015). Binder jetting uses powder and binder to pre-fabricate the part with low density, after that the metal will be melted and used as an infiltrant so that the part becomes fully dense (Gibson & Rosen, 2015).

In sheet lamination, metal can be used in bond-then-form and form-then-bond methods. The most common is cutting a sheet of metal and clamping them together with the use of thermal bonding (Gibson & Rosen, 2015).

2.3.3. Composites

This type of material is categorized for its remarkable versatility, low weight and tailorable properties, which have been revolutionizing high-performance industries (Lee et al., 2019). Examples of composite materials are carbon fibers and glass fibers, which are widely used in the aviation industry due to its high stiffness, strength, fatigue performance and corrosion resistance (Lee et al., 2019). Fiberglass has high thermal conductivity with a low coefficient of thermal expansion, also it is inflammable and will not be affected by curing temperatures used in manufacturing processes (Lee et al., 2019).

In PBS, parts were often infiltrated with epoxy to improve the surface finish and seal porosity in the parts. While in EBS, acrylonitrile butadiene styrene (ABS) is the most popular material, curiously this material was developed for FDM.

Low-cost BJ machines use plaster based and water based binders to manufacture parts in where sheet lamination also uses composite sheets to build parts.

2.3.4. Ceramics

Ceramics are strong, durable and fire resistant. Some examples are alumina, bioactive glasses, and zirconia (Lee et al., 2019). These materials are quite difficult to process because many cannot be heated to form a molten pool. Even when it is possible to create it, cracking often occurs during cooling due to thermal shock, making this material obliged to have a matrix composite. Ceramic materials are generally described as compounds that consist of metaloxides, carbides, and nitrides and their combinations (Gibson & Rosen, 2015). In PBF several ceramic materials are available commercially including aluminum oxide and titanium oxide (Gibson & Rosen, 2015).

The method used in BJ to fabricate ceramic parts is similar to the one used to fabricate metal parts, in which a ceramic powder bed is laid and glued together with binder that later on, will be melted and when the ceramic reaches its sintering temperature, is infiltrated with a binder reactive to ceramic that consolidates the part (Gibson & Rosen, 2015).

In sheet lamination processes, ceramic materials are most often fabricated using bond-then-form processes using ceramic-filled tapes (Gibson & Rosen, 2015). *"A*

challenge with this process is that thermal post-processing to consolidate metal or ceramic powders results in a large amount of shrinkage (12–18 %) which can lead to dimensional inaccuracies and distortion" (Gibson & Rosen, 2015).

In conclusion there are many processes and many materials. In order to choose the adequate method, we need to understand our project's requirements. In Table 1 we can summarize the basic information of the fundamental 3DP methods. There is also added information regarding the acceptable sizes of each method.

Table 1: Summary of 3DP methods: basic principles, example technologies, advantages, disadvantages, materials and build volume. Source:(Tofail et al., 2018)

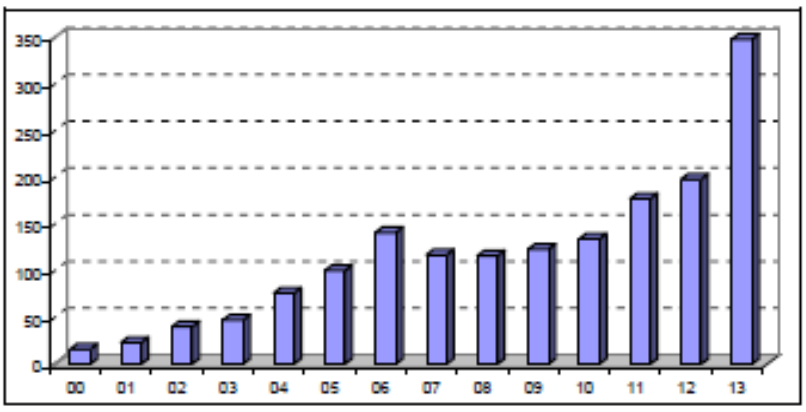
3DP Method	Basic Principle	Example technology	Advantages	Disadvantages	Materials	Build Volume (mm * mm * mm)
BJ	The object is built up layer by layer by jetting liquid binder onto thin layer of powder.	• 3D inkjet technology.	• Needless support structures/substrate; • Design freedom; • Large build volume; • High print speed; • Relatively low cost.	• Frail parts with limited mechanical properties; • May require post processing.	• Polymers; • Ceramics; • Composites; • Metals.	Versatile (small to large) X = <4000 Y = <2000 Z = <1000
DED	Focused thermal energy melts materials during deposition.	• Laser deposition; • Electron Beam; • Plasma arc melting.	• High degree control of grain structure; • High quality parts; • Excellent for repairs.	• Surface quality and speed requires a balance; • Limited to metals.	• Metals.	Versatile X = 600–3000 Y = 500–3500 Z = 350–5000
ME	Material is heated and pushed out through a nozzle.	• FDM; • Fused Filament Fabrication (FFF); • Fused Layer Modeling (FLM).	• Widespread use; • Inexpensive; • Scalable; • Can fully build functional parts.	• Vertical anisotropy; • Step-structured surface; • Not susceptible to fine details.	• Polymers; • Composites.	Small to medium X = <900 Y = <600 Z = <900
MJ	Deposition of build material droplets.	• 3D inkjet technology; • Direct Ink writing.	• High accuracy of droplet deposition; • Low waste; • Multiple material parts; • Multicolor.	• Support material is often required; • Mainly photopolymers and thermoset resins can be used.	• Polymers; • Ceramics; • Composites.	Small X = <300 Y = <200 Z = <200
PBF	Thermal energy fuses a small region of the powder bed of the build material.	• EBM; • Direct Metal Laser Sintering (DMLS); • SLS; • Selective Laser Melting (SLM).	• Relatively inexpensive; • Small footprint; • Integrated support structure; • Large range of material options.	• Slow build; • Lack of structural integrity; • Size limitations; • High power required; • Finish depends on precursor powder size.	• Metals; • Ceramics; • Polymers; • Composites.	Small X = 200–300 Y = 200–300 Z = 200–350
VP	Light-cured liquid polymer	• SL; • Digital Light Processing (DLP).	• Large parts; • Excellent accuracy; • Excellent surface finish and details.	• Limited to photopolymers only; • Low shelf life, poor mechanical properties of photopolymers; • Expensive precursors/Slow build process.	• Polymers; • Ceramics.	Medium X < 2100 Y < 700 Z < 800

2.4. Economics of additive manufacturing

Like any other new technology, the launching price is at its peak. When the product is good, other companies will try to replicate it and become competitors. With competition the market opens and the struggle to gather costumers will eventually end in two aspects: price and product quality (Gibson & Rosen, 2015). In spite that in the early ages the price of having a 3D printer was very high, the value this technology brought to companies was also very high and often the return on investment (ROI) was only a matter of months (Gibson & Rosen, 2015). As presented before, the various types of AM have their strengths and weaknesses, which were exploited by the vendors to develop different markets (Gibson & Rosen, 2015).

AM is one promising technology and like any other innovation there are many patents related to it. The early patents originated in the USA to ensure safe guard of intellectual property (IP). The first patent was filled by Charles Hull in 1984 regarding SL(Patent No. US4575330A, 1984), which expired in 2004, due to the 20-year term starting on the filling date. Another important patent was the Fused Deposition Modeling, filled by Scott Crump in 1989 which expired in 2009 (Patent No. US5121329A, 1989). The major difference between these two technologies is that the melt extrusion process is much easier to replicate at low cost compared to the laser-cured photopolymer systems.

With the opening of the patents the market grew exponentially concerning the number of low-cost AM machines sold from 2008 to 2013 (*Wohlers Report 2014*, n.d.) as shown in Graphic 1.



Graphic 1: Metal AM growth from 2000 to2013. Source: (Wolhers Report 2014, n.d.)

Nevertheless, there is still a huge number of patents related to AM and its components, which makes it difficult to navigate through and replicate. This new patents result from discoveries from use of these primordial technology.

All the interest in the AM is related with its versatility and impact across many industries. This leads to an understanding, AM technology is a disruptive business, since it shakes the foundations of what we think is the best method of operation. As many others disruptive businesses, it is beginning to be exponentially exploited and sold at reasonable prices. Due to evolution, 3DP is more capable and with even more advantages than before.

From a cost perspective the conventional mass production process can be cheaper, although if parts are smaller they can be printed in one go, dividing the cost and time among those pieces (Hopkinson & Dickens, 2003). Per-build costs can be categorized in four aspects: machine purchase/lease (P), machine operation cost (O), material cost (M) and labor cost (L) (Gibson & Rosen, 2015).

$$Cost = P + O + M + L$$

The machine purchase price will be dissolved in the parts produced. The amount of parts produced is directly related to the amount of working time and useful life of the machine. There are two options when acquiring a AM machine: it can be bought or financed/leased (Hopkinson & Dickens, 2003). Machine operation cost will be the build time multiplied by the cost rate of the machine, for example: the cost of the space renting and maintenance costs (Hopkinson & Dickens, 2003). Material cost is rather simple to calculate. It is the volume of the part multiplied by the cost of the material and the mass density. Some AM technologies, like PBF or energy deposition techniques, are able to recycle or reuse some of the material excess (Hopkinson & Dickens, 2003). Labor cost is related to the hourly cost of workers and the time they are needed to remove fabricated parts, clean the parts and the machine as well as prepare the machine to the next build (Hopkinson & Dickens, 2003).

Another path to determine the costs of 3DP is the (Ruffo & Hague, 2007) approach, where the total cost of a build (C) is the sum of raw material costs and indirect costs.

The cost per part is calculated as the total cost of the build divided by the number of parts in the build (Ruffo & Hague, 2007; Thomas, 2016):

$$C = \frac{P_{material} \times M + P_{indirect} \times T}{N}$$

Where:

- C = cost;
- $P_{material}$ = cost of the producing material (€/kg);
- $P_{indirect}$ = indirect costs (€/hour);
- T = time (hours);
- N = number of parts;
- M = mass (kg).

Thomas studies stated that for two parts, using three different AM technologies: SL, FDM and Laser Sintering (LS) (a derivation of PBF), the major cost was the machine for SL and FDM, while the material was the major contributor for LS. When (Hopkinson & Dickens, 2003) studied this matter, they identified the same factors as the major costs. Other cost factors were taken into account: the build orientation, build time, energy consumption, product design and labor.

Different printing methods will have different costs, when printing a component we have to take into consideration all the capabilities of all methods to reduce the costs and optimize the allocated resources. Unlike other manufacturing methods, 3DP will not be cheaper if produced in a big scale production. However, the position in which you print the parts, that will later be assembled into one piece, will affect the printing time. For example, in some cases it is more rentable to break down the component and assemble after printing than printing the component as a whole. With this, many pieces can be organized in the printer's platform and produced in a bigger scale than one by one, saving time and increasing efficiency.

2.5. Comparison between additive manufacturing and machining

Machining is one of the most accurate fabrication methods. It is a digital manufacturing technology called CNC that uses many tools like mills, lathes, grinders and routers to subtract material from a block as big as the part. The designated tool processes the CAD file and is positioned along the block on a designated path specified in terms of time (Gibson & Rosen, 2015; Yang & Kong, 1994). These successive positions are called commands which are the reference–position input to the machine that will obtain the results required moving around three or five axis (Choragudi, Kuttolamadom, Jones, Mears, & Kurfess, 2010; Yang & Kong, 1994). Machining CNC can be broken-down into three steps: an engineer designs CAD design, a computer processes the CAD file and transforms it into a CNC program called G-code and finally, the machine performs all the operations in order to create the part as shown in Figure 8 (Gibson & Rosen, 2015; Yang & Kong, 1994).

The difference between CNC and AM or injection molding, is the fact that CNC is a subtractive method and AM is and additive method. Also injection molding is a formative type of manufacturing technology. This means CNC will take material from a block, when during the manufacturing process AM will add to create parts (Varotsis, n.d.).

CNC utilizes almost all types of hard material. Some of the most common materials are: aluminum, brass, ABS, delrin and nylon (Varotsis, n.d.). The best feature of this technique is the ability to create highly customized parts with tight tolerances from ±0,025mm to ±0,125mm (Varotsis, n.d.).

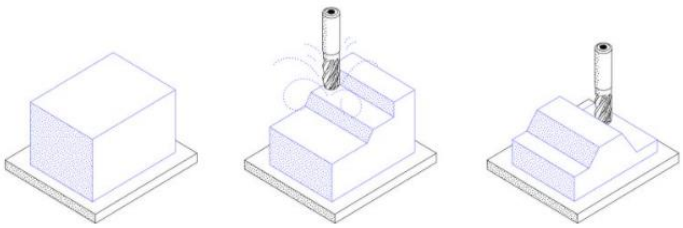


Figure 8: CNC machining manufacturing method. Source: https://www.3dhubs.com/guides/cnc-machining/

There are five important CNC machines (Varotsis, n.d.):

- 3-axis CNC machine – able to manufacture parts with simple geometries, with excellent accuracy and at a low cost;
- CNC lathes (CNC turning) – lowest cost per unit but are only able to produce parts with rotational symmetry;
- Indexed 5-axis CNC milling machine – quickly manufacture pieces that have features that do not align with one of the main axis, with very high accuracy;
- Continuous 5-axis CNC milling machine – creates parts with highly complex organic geometries and smooth contours at a high cost;
- Mill-turning CNC centers – combines the benefits of CNC turning and CNC milling into a single system to manufacture complex parts at a lower cost than other 5-axis CNC systems.

3DP can overcome CNC in a few, yet highly important situations, such as: producing low-cost prototypes, parts with highly complex geometries, turnaround times of 2-5 days and when a specific material is requested (Varotsis, n.d.). Although CNC is best suited for medium to high quantities, it is a competitor when working with metals even with low quantities. The cost comparison between CNC methods is shown at Table 2.

Table 2: Pricing comparison of CNC machining. Source: https://www.3dhubs.com/guides/cnc-machining/

CNC machine type	Machining cost
CNC milling (3-axis)	$75 (baseline for comparison
CNC turning (lathes)	$65 (-15%)
Indexed 5-axis CNC milling	$120 (+60%)
Continuous 5-axis CNC milling	$150 (+100%)
Mill-turning CNC centers	$95 (+25%)

2.6. Supply Chain Theory

The "SC concept" was defined by Martin Christopher in 1992 as a network of organizations that are involved through upstream and downstream linkages, in the form of products and services delivered to the ultimate consumer (Christopher, 2011; Richey, Daugherty, Genchev, & Autry, 2001), which can be shown in Figure 9. This concept is deeply connected with the value chain concept, created by Michael Porter, whom categorizes a firm in support activities and primary activities to organize and perform these activities differently and gain competitive advantage in the eyes of the consumer (Christopher, 2011).

There is endless potential in SC management, therefore there are innumerous ways of achieving differentiation by administering different kind of suppliers as shown in Figure 10, which summarizes the SC concept since the raw material is produced and shipped from supplier to the organization and delivered in retail stores by the organizations and therefore to the hands of the consumer (Axtman & Wilck, 2016; Mentzer et al., 2001).

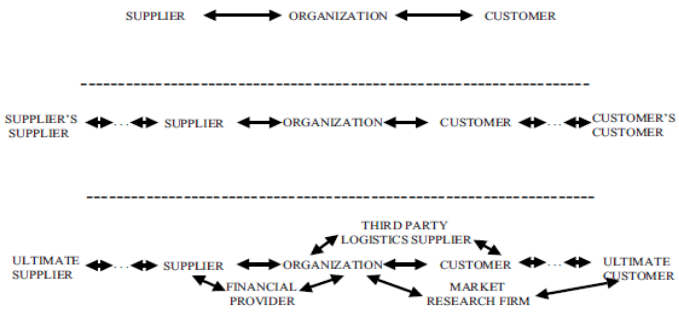


Figure 9: Types of channel relationships from the supplier to the consumer. Source: Mentzer et al., Journal Of Business Logistics, Vol.22, No2, 2001.

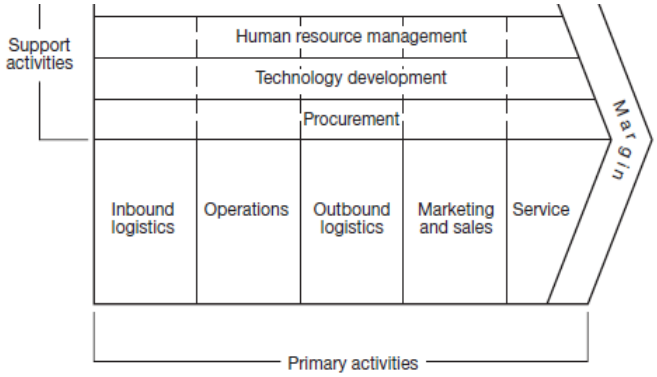


Figure 10: The value chain. Source: Porter, M., Competitive Advantage, The Free Press, 1985.

2.7. Regulation and Certification

Nowadays we have achieved a reduced amount of incidents considering the amount of traffic that has been exponentially growing throughout the years due to the low-cost carriers emergence.

The European airspace is regulated since 1910, when 3 Annexes and 41 Articles were agreed upon at the Aeronautical Congress in Paris, regarding aircraft registration, pilot licensing and airworthiness certificates. This was the beginning of aviation as we know it. The League of Nations was born from that convention as well.

In 1944 the Chicago Convention took place to ensure the world peace after the 2nd World War, and an agreement named Standard and Recommended Practices (SARPs) between 52 countries was struck in order to standardize, organize and control civil aviation in an international level. The League of Nations was developed to the International Civil Aviation Organization (ICAO). With this the ICAO annexes were further developed.

ICAO is a non-regulator entity, that sets the SARPs, which can be followed by any country. To ensure this good practices there are national authorities, in Portugal's case there is *Autoridade Nacional da Aviação Civil*, which is be under the EASA wing. While EASA regulates the provinces' national authorities that adhered to the Agency's rules and sets the Standard Operating Procedures (SOPs) in order to facilitate and ensure safety and security of all air traffic, except: military, museum and experimental aircrafts.

To ensure these good practices EASA relies on the ICAO Annexes, since ICAO is a worldwide organization that only a few countries are not part of, it is easier to establish SARPs. These Annexes regulate every part of aviation, from the material required to fabricate the seatbelt, to the licenses required to perform aircraft maintenance, passing through the procedures that air traffic controllers must follow. Every bit of the aviation operation is further exploit in these annexes in the "parts", for example Annex 02 part 145 regards the maintenance organizations.

The annex 06 topic is "Operation of Aircraft", which will be required to be studied in this thesis due to the Master Minimum Equipment List (MMEL), which sets the minimum equipment and in what terms, an aircraft can operate and is created by the

manufacturer along with the National Authority of the aircrafts manufacturer. There is a variation of the MMEL created by every operator, named Minimum Equipment List (MEL), which is validated by the Authority and maintain the continuing airworthiness of the aircraft. The Continuing Aircraft Airworthiness plan is given to the operator of the aircraft (that withholds an Aircraft Operator Certification (AOC)) and maintained by Aircraft Maintenance Organization (AMO), which issues a Certificate of Release Service (CRS) after every maintenance work done in the aircraft, and maintains the Certificate of Airworthiness (COA).

Within Part-145 there are many types of organizations regarding aviation maintenance: product organization approval (POA) which produces the components, design organization approval (DOA) which designs the components, AMO which performs the scheduled maintenance and the non-scheduled maintenance either in line or on the hangar, the maintenance repair and overall (MRO) that performs more specific interventions in components and aircrafts, last but not least the continuing airworthiness management organization (CAMO) that schedules the aircraft stop to perform maintenance work. POAs organizations are responsible for issuing the Certificate of Compliance (COC).

The Acceptable Means of Compliance (AMC) and the Guidance Materials (GM), approved by EASA, were created to facilitate the understanding of every aspect about the regulation set by EASA. There are Certification Specifications (CS), which are the baseline to further develop any product for an aircraft and are requested to the manufacturer.

EASA's part-21 presents the implementing rules for the initial airworthiness and environmental certification of aircraft and related products, parts and appliances, as well as for the certification of design and production organizations.

According to EASA Part-21 (21.A.31) (European Union Aviation Safety Agency, 2019):

"(a) The type design shall consist of:

1. the drawings and specifications, and a listing of those drawings and specifications, necessary to define the configuration and the design features of the product shown to comply with the applicable type-certification basis and environmental protection requirements;

2. information on materials and processes and on methods of manufacture and assembly of the product necessary to ensure the conformity of the product;

3. an approved airworthiness limitations section of the instructions for continued airworthiness as defined by the applicable certification specifications; and

4. any other data allowing by comparison the determination of the airworthiness and, if relevant, the environmental characteristics of later products of the same type.

(b) Each type design shall be adequately identified."

After this the Type-Certificate will attest the airworthiness of the component. Each component has a FORM-1, this is a certificate is released by a POA. This certificate ensures that the part is in accordance with the approved design, production, airworthiness and regulatory data (European Union Aviation Safety Agency, n.d.-a).

2.8. Aircraft Maintenance

To be allowed to fly, an aircraft must ensure its full capability to endure every thinkable scenario. For this, EASA audits national authorities which will audit carriers and maintenance entities is in accordance with the requirements requested by EASA.

Upon every lease or purchase of a civil airplane for commercial purposes, EASA issues the aircraft with an initial airworthiness certificate upon the issuing the Type-certificate for that type of aircraft. In order to maintain this airworthiness throughout time and use a maintenance plan for every part of the plane is struck between authorities and manufacturer and carriers can create one of their own only by exceeding it and therefore taking less risks.

There are parts of the airplane that have a life span due to their wear, they are called limited life parts. Under normal circumstances of use there are three ways it can be measured: calendar, cycles or flight hours. With this knowledge and the maintenance plan, there are two types of maintenance an aircraft can be subjected to: scheduled and non-scheduled. The planned maintenance is directly linked to the maintenance plan since it is controlled by the life spawn of the parts. On the contrary occasional maintenance occurs when the aircraft surpasses the limits of the parts, for example if one pilot lands the plane with too much down force the landing gear can create cracks that will in time, lead to its breakdown.

Currently the SC works like in any other industry, there is a request for parts due to a scheduled maintenance or a sporadic event, after this the parts are bought and shipped to the buyer if the supplier has it on stock, if not the part the part needs to be fabricated. Later on the parts are shipped and reach the final destination, where they will be assembled if the component is fabricated in many parts. After this it is installed and the plane is ready to fly again with an issued certificate of compliance (COC) stating the intervention.

3. Methodology

In this section we present and justify our methodological decisions in order to fulfil the study's objectives.

The research is developed by consulting literature from academic and scientific papers and official information. After the research, professionals from the industry were interviewed in order to gather knowledge about their experience and analyze this data.

With this research it is expected to collect important information to connect theory and practical experience in order to reveal relevant conclusions and launch new debates.

3.1. Study Approach and Design

Due to the research question, a qualitative approach was considered to be the most applicable. Guided by our research question we decided to inquire professionals in the aviation industry about their thoughts and opinions regarding the implementation of the 3DP technology in aircraft maintenance.

A semi-directive study was adopted to create a formal yet comfortable space so the interviewees felt free to share their thoughts and opinions without restrictions or inhibitions. The semi-directive interview is a conversation oriented by a script, that allows the comfortability of the interviewee due to the lack of stringency. The goal was to collect opinions and thoughts about the matter. The questions led the conversation toward answering the objectives.

3.2. Participants

All the participants (n=10) were employees at AEROMEC - MECÂNICA DE AERONAVES, S.A., a well-known aircraft maintenance provider in the sector that offered to provide people with the requirements needed. The participants were all male, with a broad specter of ages and an average of 31 years of experience. The selection of the interviewees followed the indicated set of criteria:

- Experience in aircraft parts and components;
- Experience in aircraft maintenance plans and management;
- Experience in aircraft maintenance;

- Experience in aircraft minimum operation requirements, regulations and part certification;

3.3. Data Collection: technique and instruments

When the data was collected, a semi structured interview technique was used. This technique was privileged so the interviewed was left in a calm and open state of mind in order to obtain the most reliable and broad perspectives on the matter.

This technique requires the use of a script (Annex 1) which can be summarized in Table 3. The interviews gathered 124 minutes and 54 seconds of recorded information.

3.3.1. Procedures

Prior to the interviews, preliminary contact was made order to verify the motivation and interest of the professionals in participating in this project, furthermore the general objectives of the thesis and the interview were explained. The interviews took place in AEROMEC headquarters because it was a meaningful place for the subjects, in order to standardize the interviews and create an environment that gave a sense of safe space so the interviewees would give the most reliable information possible and without holding back any opinion. The scheduling method was to contact the employee responsible for this project which directed the interviewer to the interviewees and assigned a quiet room. The interviewees were informed they were being recorded and there were no incorrect answers.

3.4. Data Treatment

The recordings were transcribed (Protocol 1 to 10) and subject to content analyses. The contents were summarized in Table 4 further ahead in this dissertation.

Table 3 Summarized script used to interview the subjects.

Theme	Objective
Legitimation of the interview and motivation to the interviewee	• Ensure the interviewee there aren't correct answers. • Inform that the interview is being recorded for academic uses only.
Characterization of the interviewee	• Understand the career path of the interviewee. • Perceive the current job of the interviewee and what type of work is performed.
Knowledge of 3D	• Inquire about the experience of the interviewee with 3DP in aircraft maintenance.
Benefits of 3DP to fabricate parts	• Identify the participant's perspectives about the main advantages in: o Planning; o Management; o Operation.
Limitations of the 3DP method in the fabrication process	• Identify the participant's perspectives about the main disadvantages in: o Planning; o Management; o Operation.
Perspectives about the evolution of the utilization of 3DP in aircraft maintenance.	• Understand the viability of the implementation of 3DP. • Inquire the influence 3DP will have in maintenance's evolution.
Conclusion and final acknowledgment	• Allow the opportunity to add anything the interviewee feels it's important. • Thank the interviewee.

4. Results and discussion

In this chapter the results of the research and the interviews are presented, applied and discussed. Our aim is to understand the participant's perspectives relatively to the scrutinized literature review.

4.1. Contributes of the literature review

The literature review allowed an overview on the many options available when fabricating a part, either in 3DP or machining. By analyzing the 3DP methods we are able to understand that they are utilized in specific situations with specific requirements. Also, mass production is not viable due to the time consumed and cost of the production methods. On the other hand, machining and other processes fulfill the demand of high scale production depending on the number of parts as studied on (Varotsis, n.d.).

The SC theory helped to formulate an overview of the current aircraft maintenance sector as explored further ahead in this study.

3DP main focuses are prototyping and very complex structures, although CNC can be price competitive, despite geometry limitations and high material waste. After understanding the purpose of the part being built, it is important to choose the right method of 3DP, as seen in the flowchart presented in Figure 11. For this we should focus on:

- Which material is the best option;
- The characteristics of the part (color, geometries…);
- The method's capabilities (accuracy, build size…).

The information acquired from the interviews gave a perception about the worker's thoughts regarding 3DP, taking into account the position and the role of the interviewee. The maintenance technicians' biggest concern was the regulation, as discussed in the literature review, since every part must be audited and certified. This certification is given by the manufacturer to the fabrication entity, which will produce that part in the terms the manufacturer demands. This leads to a monopoly of the fabrication industry, therefore the SC's maintenance is owned by the manufacturers.

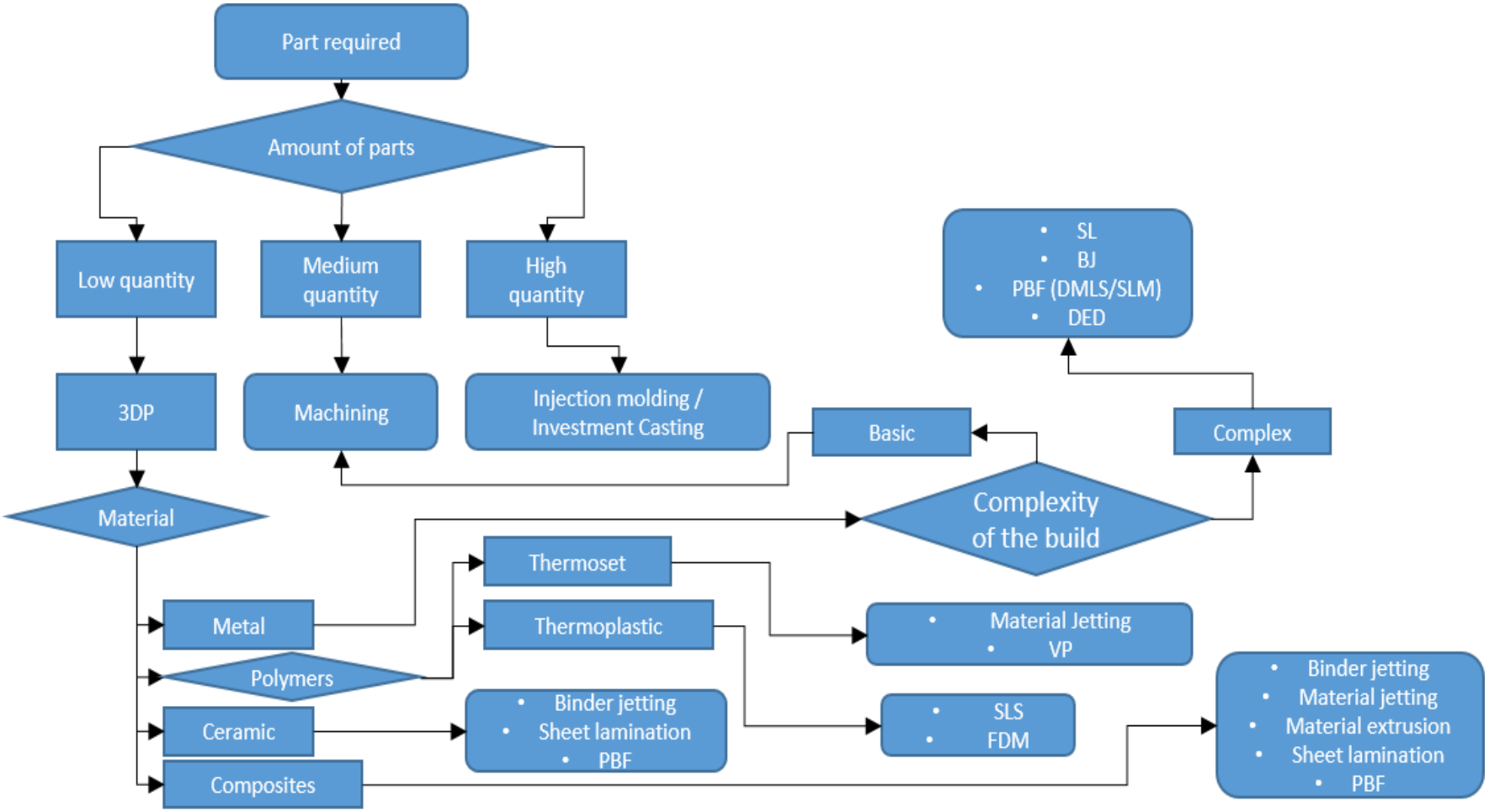


Figure 11: Flowchart for choosing of the best method regarding the material and the quantity of parts.

4.1.1. Understanding the maintenance role in the supply chain

Aviation plays an essential role in the product distribution industry, for example the perishable items, that would otherwise deteriorate if any other mean of transport was chosen due to the quickness available in aviation's transportation method.

The SC of the aviation industry is peculiar and maintenance plays an important role in aviation which is critical to the most part of SCs around the world since almost all other SCs require the transportation of products abroad the country. The process, shown in Figure 12, begins with the necessity to transport cargo or people in a fast and safe way. After this the airplane is planned and developed with the latest technology. Before the production the negotiations for the purchases of the airplanes begin, followed by the production of the parts and components that will later be assembled. Afterwards, the shipping of parts and accessories to an assembly factory is initiated. After the airplane is assembled and tested it is flown to the owner which can utilize it to transport only cargo or cargo and passengers. Cargo transport has different specification requirements due to the lack of passengers in the cabin, although it has specific regulation the base of the maintenance program is common with the passenger carrier type.

The aircraft must meet the MEL requirements in order to fly, and the AMO is the entity that performs the maintenance interventions. This entity only assembles parts, which are bought from a supplier with duly certificated or repaired in a backshop with the required certification. The parts are produced in a POA, who buys raw material and fabricates it to the manufacturer's specifications. Many of the parts machined have to be previously assembled since it is impossible to fabricate them in a solid piece.

Due to the wear out of the components and to ensure the aircraft's safety, the maintenance program must be followed to safeguard that any damage that isn't expected is repaired. The Log Book is where the interventions from the line maintenance, are described and which components will request substitution. The components that need repairing will limit the aircraft's operation in order to satisfy the aircraft's certificate of compliance requirements. The intervention specifications and limits are described in the MEL. The life of the limited life parts can be measured by

reaching the limit of flight hours, cycles or calendar. After reaching the limit they have to be replaced.

Any SC is vulnerable to change when new technologies are implemented and the aviation's maintenance SC is not an exception. The AM method will shorten the SC and create a bridge from the manufacturer to the last buyer. This will expedite the availability of the component in need and have many positive effects in the readiness of the aircraft. Faster delivery of the parts translates in less grounding time of the aircraft, which will reduce related costs and increase its profitability.

The concept of aircraft maintenance will be named "SCiAM– SC in Aviation Model", furthermore its derivation with AM application will be SCiAM– 3DP. This is a new conceptualization of the SC approach applied to the aviation industry. In Figure 13 we can observe the difference between the both methods.

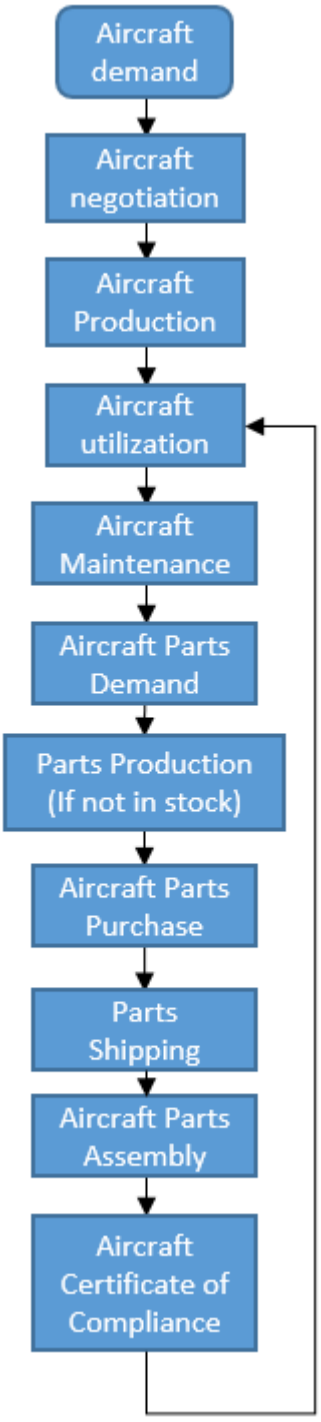


Figure 13 Flowchart regarding present SCiAM concept.

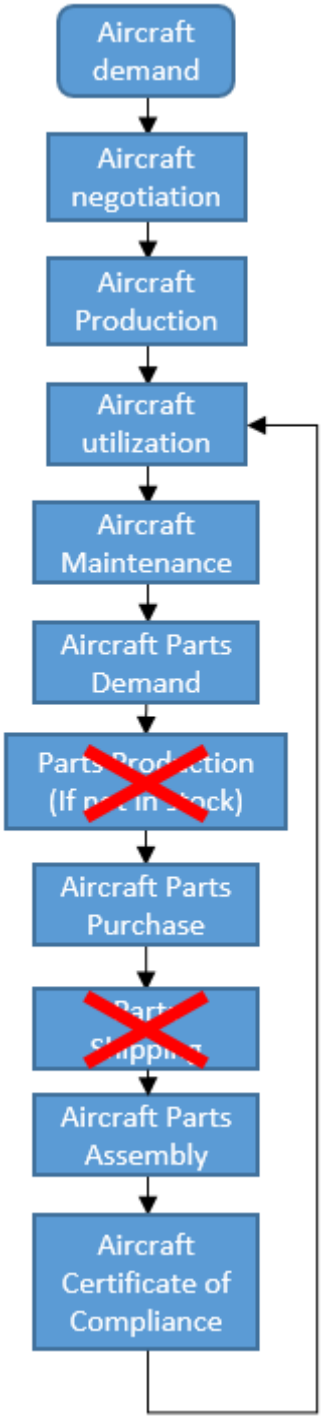


Figure 12 Flowchart demonstrating the benefits of the implementation of the SCiAM– 3DP concept.

4.1.2. Additive manufacturing in DOAs and POAs

Nowadays the AM process isn't firmly implemented in the maintenance's SC, altough aircrafts begin to have 3DP parts in their build (AIRBUS, n.d.), the fabrication method isn't certified in the maintenance's program, since it has specific certification. Regarding the previous planes that don't have any 3DP parts installed, according to GM 21.A.91 the use of this technology in Changes and Repairs to Type certificates and Supplemental Type Certificates, is considered to be a major change in the material, process and method of manufacture and should be evaluated as such (European Union Aviation Safety Agency, 2017). The use of AM is considered to be of major importance and POA's holders may be approved by EASA to implement 3DP in the manufacturing process. POA's may be authorized to use AM in spite of the skepticism about this method.

According to EASA Certification Policy the subject requesting authorization must ensure, regardless of the facility where the parts are to be fabricated, by test or experience that the material is suited for the intended component and is being purchased from an approved material supplier, controlled by approved inspection (European Union Aviation Safety Agency, 2017). The design of the component must perform equally or better under statically significant test data in the key production parameters (European Union Aviation Safety Agency, 2017). The tests must capture machine-to-machine variation within and between facilities and accurately represent the mechanical properties of the obtained intended parts (European Union Aviation Safety Agency, 2017).

"All aviation parts and products are required to meet the relevant certification specifications according to the type certification basis, e.g. regarding strength, durability, flammability etc., regardless of the material and process combination used to generate the engineering properties. However, those likely to require particular attention associated with the introduction of AM include:

- *CS X.603 Materials*
- *CS X.571 Fatigue & Damage Tolerance*
- *CS X.605 Fabrication Methods*

- *CS X.613 Material Strength Properties and Material Design Values*
- *CS X.853 Compartment Interiors*
- *CS E 70 Materials and Manufacturing Methods*
- *CS E 100 Strength (a)*
- *CS P 170 Materials and Manufacturing Methods*
- *CS P 240 Strength*
- *CS APU 60 Materials*
- *PART 21.A.20 Compliance with the type-certification basis, operational suitability data certification basis and environmental protection requirements*
- *PART 21.A.31 Type Design*
- *GM 21.A.91 Classification of Changes to type design*
- *PART 21.A.101 Designation of applicable certification specifications and environmental protection requirements*
- *PART 21.A.131 Scope – Applicable Design Data*
- *PART 21.A.133 Eligibility*
- *PART 21.A.147 Changes to the approved production organization*
- *PART 21.A.247 Changes in design assurance system*
- *PART 21.A.433 Repair Design*
- *GM 21.A.435 (a) Classification of Repairs*
- *GM 21.A.437 Issue of Repair Design Approval*
- *PART 21.A.447 Record keeping*
- *AMC 145.A.42(c) Acceptance of Components"*

(European Union Aviation Safety Agency, 2017)

4.1.3. How additive manufacturing affects aircraft maintenance's SC

3DP is revolutionary and might have a positive effect in aviation, especially in the maintenance field. The key benefits of this technology are:

- Strategic position – by being on-site, the availability of the parts printed is almost instant, which will prevent delays on the maintenance intervention;
- Versatility – 3DP allows the remodeling of the components, saving weight and allowing better performances;

- Value – the value of this technology can't me measured in numbers, having the opportunity to quickly rehearse an intervention, whether it is a difficult job or a prototype for future implementation, it will significantly increase a company's value. The possibilities where 3DP can be applied are enormous.

However, using AM does not go without setbacks:

- Development – 3DP has a long way to go regarding technological advancements. It still is a technology that does not allow mass production of a component, which inevitably reduced its cost.
- Certification – as explained before, certification is one of the most important roles in aviation and to a great degree, maintenance is what ensures every aircraft is capable to perform its duties. The amount of certification required to implement this technology is a major obstruction, also only a POA certification holder can fabricate parts, therefore the COAs would need to be certified as one.

AM may be relevant to the aviation industry specially in the maintenance sector, which will expedite the workflow by hastening the components replacement, since in non-expected maintenance that often occurs and requires part replacement that usually is not in stock and has to be imported. This will not only affect aviation, but it will positively affect the environment: less importations means less search for transportation which leads to less CO2 emissions. 3DP also allows close quality control due to the closeness to the field workers, which also overpasses human error when importing the components. Regardless of this, the value that this technology brings to a company surpasses practicality and shines the brightest because of the ability to create real size models able to recreate the original components and to test fitment and repair method.

AM is a new technology and in the aviation industry everything needs to be certified. This means, field workers need to have special training in the subject, the printing method must be certified as well as the material, the machine, the operator and the software required to process the files. This technology is relevant for most industries but in this case, the ROI is mainly dictated by the amount of situations where importing

a component takes longer than the time required to print the part, which mostly happens in non-scheduled maintenance. At this point of AM evolution and certification, the company will gain the ability to perform tests without fabricating the part, which narrows the possibility of use even more.

4.2. Interview results

4.2.1. 3DP's implementation advantages

The major part that the technicians (80%) mentioned the readiness of the aircraft would be positively affected by AM, as shown in Graphic 2, due to the part's availability topic that was consensual. Maintenance interventions would be accelerated, therefore reducing costs related to the aircraft's grounding. The main impact would be in the non-scheduled maintenance according to the interviewees, since lead times of the requested parts would be drastically reduced according to 90% of the interviewees. This is the main reason of interventions' delay, as stated by interviewee 7 and 8, and can be up to months. Furthermore, human error can occur when importing, from maintenance by requesting the wrong component or by procurement when purchasing the component, many of the interviewees experienced this.

3DP would also allow better results regarding the fabrication due to the opportunity to closely follow the manufacture and point-out the flaws of the build, which translates into quality control, mentioned by interviewees 3, 5 and 7. Additionally, the lack of necessity of having parts in stock, many have a limited life due to the material's deterioration. Also, according or interviewee 1, the parts in stock pay taxes.

The cost of the fabrication was one of the advantages most talked about, since the shipping was one of the costs cut, due to the strategically positioning of the printer. Although the price of the acquisition of the printer concerned 40% of the interviewees. Also the capacity mass production was another concern because AM doesn't have the ability to fabricate parts on a big scale. In some printing methods, that have enough space in the build platform, it is possible to mitigate this constraint by printing as many parts as possible in the same trial, therefore reducing the cost per part.

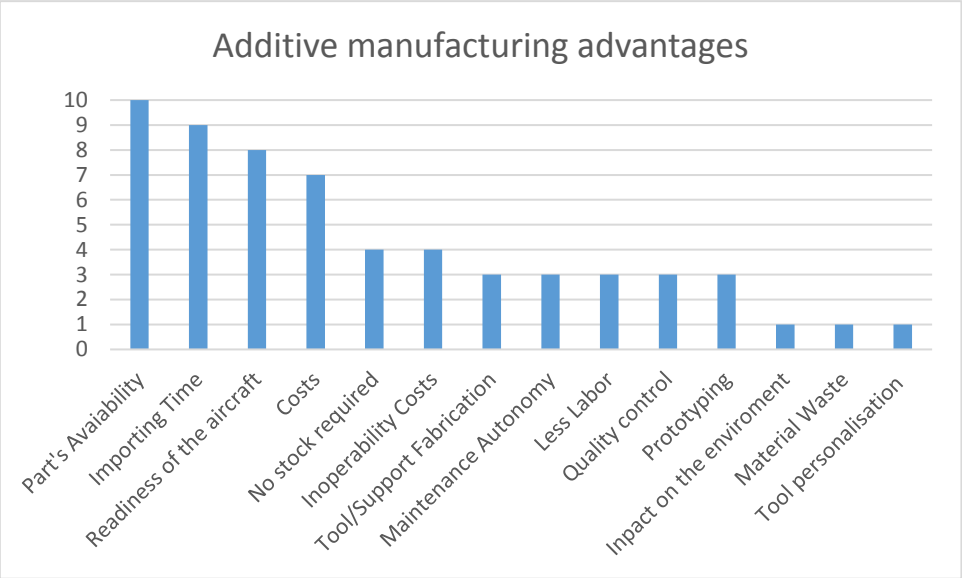
30% of the participants brought up the possibility to fabricate the tools requested to do specific jobs, like supports for the parts being worked on that also have to be

imported. This topic is especially relevant because it can be applied in the short term due to the lack of certification, although it was slightly addressed.

Another participant also mentioned the mental and physical wear when fabricating the parts, which leads to a higher number of deviances, therefore a worse performing fabrication method. When dealing with machines there is fewer opportunities where a human error can occur.

Some of the less mentioned yet important advantages, were the impact on the environment due to less importations. Also there is less material waste as result of this method being an addictive method rather an extrusion method. All this advantages would lead maintenance's autonomy, also referred by some interviewees as a big asset.

Interviewee 5 mentioned the increasing use of polymers and composites in modern aircrafts will allow a better implementation of AM technology. Polymers and composites are easier to print and use due to their lower melting point and mechanical properties.



Graphic 2 Main additive manufacturing advantages discussed in the interviews.

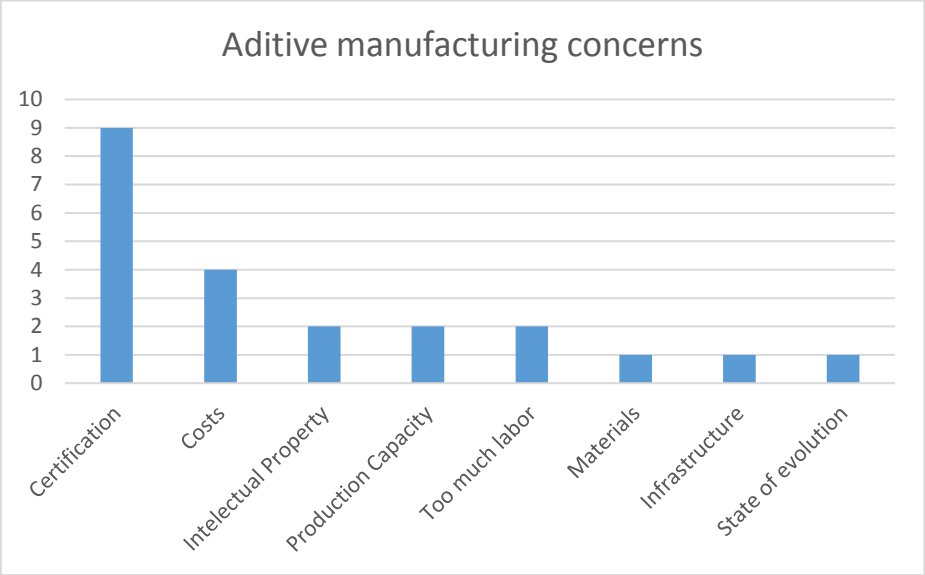
4.2.2. Concerns of 3DP implementation

Almost all of the interviewees were concerned about AM certification as shown in Graphic 3, particularly the FORM-1 and the part number. Every component is obliged to have both. They are important to trace its origin and the certification of compliance they provide. This created much skepticism related to the performance of the parts printed with this fabrication method and the materials used in 3DP since the technique's development is not in a perfect and final state. To mitigate this in the short term, there is the possibility to utilize AM to build prototypes. In certain situations, the component cannot be purchased and is important to experiment before fabricating the final component and risk producing something that cannot be applied. Also there is the possibility to implement AM in aircrafts that are not used for people's commercial transportation purposes, for example: cargo transport and recreational aircrafts. In the early stages of this new technology, it might be easier to implement it for use in non-related airworthiness parts, which are under a smaller scrutiny. This would open the opportunity to experiment and truly understand AM's capabilities.

Many of the interviewees were concerned about the costs regarding: training, the printer and the infrastructure needed to have all the printing methods required to print every material on the airplane. According to interviewee 7, only large companies are able to allocate enough resources and space to implement this new technology. The companies must have an infrastructure big enough to accommodate all the printer necessary to the ensure a fluent supply of parts with a wide range of materials and sizes.

Interviewees 7 and 10 had preoccupations regarding the design, fabrication and preparation of the component, they declared it was too much labor for only one company. This may be related to the intellectual property's problem. This is linked to the certification problem and may facilitate the question about the overwhelming labor.

If the manufacturer provides the designs, approved and certified, that reduces the workload since the part will be available with a press of a button.



Graphic 3 Main additive manufacturing concerns discussed in the interviews.

4.3 Summary

AM is predicted to have positive affect in the SCiAM concept. Not only it will reduce costs in the long term but it will also allow versatility in the short term, these ideas were predicted by the literature review's contributes and confirmed by the aviation's workers. The well-being of the environment is a globally growing concern and AM will have a major impact in this aspect, although not many of the interviewees had this concern. The biggest concern of the interviewees was regulation and certification. This was expected and justified due to the knowing aviation's scrutiny related to severe safety policies. The summary of the interviews is exposed in Table 4.

Table 4 Summary of the opinions gathered in the interviews.

		Protocol									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Advantages	Part's Availability	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Importing Time	■	■	■	■	■	■	■	■		■
	Readiness of the aircraft	■	■	■	■		■	■	■		■
	Costs	■	■	■	■	■	■	■			
	No stock required	■			■		■	■			
	Inoperability Costs			■	■		■	■			
	Tool/Support Fabrication		■	■				■			
	Maintenance Autonomy	■		■				■			
	Less Labor			■	■	■					
	Quality control			■		■		■			
	Prototyping								■	■	■
	Impact on the environment					■					
	Material Waste						■				
	Tool personalization		■								
Concerns	Certification	■		■	■	■	■	■	■	■	■
	Costs		■		■					■	■
	Intellectual Property				■			■			
	Production Capacity					■					■
	Extensive labor								■		■
	Materials								■		
	Infrastructure								■		
	State of evolution										■

5. Conclusion and future work

AM has come a long way since its creation and it has been in development ever since. This evolution led to the today's 3DP methods. This dissertation aimed for the understanding of the impact of AM in the manufacturing sector, SC and maintenance. To achieve this, experienced workers were interviewed and thorough investigation on the subject was done.

As a result of interviewing ten workers that had different roles in the organization and a wide range of experience, many valid opinions were taken, some of more impact and some of less relevance. The interviewees experience was considered to be a great asset in this dissertation. After these interviews something was very notorious, depending on the interviewee role in the organization they would have a more open perspective on the subject. The technicians valued this technology as something that would dramatically change the part's availability and expedite their work in day-to-day life due to the necessity of importing parts that were not expected to have defects. However, the procurement employees were skeptic due to the fact that the majority of the parts required could easily be predicted and imported. The unanimity in the new method's prompt response in part delivery, contrasted the unity concerning the certification of AM and all related aspects.

In conversation with many of the interviewees, the manufacturer's profit would be of some concern in order to obtain their approval of AM. Part fabrication of the components required to the aircraft maintenance is a big part of their income and represents a big market regarding authorized producers that will retard this process' evolution and implementation, in order to keep their share of the market. The solution found to surpass this obstacle is for the manufacturer to keep their intellectual property of the part's design and charge a fee for each print. This solution would benefit the manufacturer, who is responsible for the certification and could easily set rules to ensure trustworthiness when printing the parts. It would also cut the current suppliers from the supply-chain, as seen in Figure 13, which would lead to a decrease in part's cost and therefore cheaper maintenance in the long term. However, the initial cost of the printer, due to its complexity, is very high making the cost per part higher than the current methods like: injection molding or machining.

In the short term the interviewees acknowledge that having 3DP parts in the aircraft is not a possibility, due to the lack of experience with the method and testing of the materials.

The research showed that if the AMO is also certified as a POA and follows the directives exposed on 4.1.2, in theory they could have a 3D printer in the maintenance's workshop. Surpassing the certification problem and acknowledging inability to produce good enough parts, there is the possibility to fabricate prototypes and support structures required to work on the aircraft. An example given by one of the interviewees was that in the maintenance intervention they were performing, a component was not available for purchase and was required to finish the work, they needed to dictate the specifications and fabricate the component in a POA. AM would prove to be valuable in this situation because they could "test-run" the prototype's specifications and change them as they needed them, instead the measured and asked the POA to fabricate it. According to the interviewee this was a high risk scenario because the component was costly and there was no room for mistakes. In the interviewee opinion in this situation the AM technology would be much beneficial and valuable. In this state of evolution 3DP is advantageous when creating a low number of very complex parts, otherwise the other methods would be more profitable.

In the long term, the autonomy acquired by the maintenance workshop would be extended and it would be even possible to develop to fully automatic systems that once the airplane arrives, it uploads the flight information data to the company's data base and immediately understands the requirements for the next maintenance intervention. Furthermore, with this autonomy the parts could even be printed automatically to ensure the printer is being used in all the time that is available.

In this decade we might see a change in people's perspectives on addictive manufacturing due to its normalization and standardization. With this research I believe there is room for AM implementation in the aircraft maintenance world, initially in the non-commercial flight's maintenance (teaching, recreational, airplanes prepared for agriculture, etc.) later in the evolution of AM, as it may be possible to have fully functional parts providers in the maintenance's workshop. These particular findings may be useful to expedite the interest from aircraft maintenance providers in order to

acquire this technology. In the future it might be important to understand how to overtake the certification problem and start performing properties tests to the component in order to certify them with a AM production. These findings indicate there is still much ground to cover in order to understand where 3DP can be applied and its possibilities of implementation.

The questions derived questions presented in the beginning of this dissertation are now clarified. This technology will affect the aviation sector in all its strands due to the shorten of the SC. Lastly, maintenance's processes will be expedited and the resources will be available quicker.

The objectives proposed in this dissertation were achieved. Although, there is the possibility to further exploit the certification concern, that was shown to be a major and relevant constraint in 3DP application. Contacting EASA and the *manufacturers* might enlighten and allow an understanding of where is current the applicability of AM is placed.

This technology will change the supply-chain dramatically. In a really far future we can be looking to a fully automated system where there is no human interaction with the aircraft and it all starts with the on-site automated production system like the 3DP methods studied.

6. References

Airbus. (2019a). *Airbus forecasts - press release*.

Airbus. (2019b). Cities, Airports & Aircraft 2019-2038. Retrieved from fdsa

AIRBUS. (n.d.). 3D Printing Decarbonisation meets digitalisation. Retrieved from https://www.airbus.com/public-affairs/brussels/our-topics/innovation/3d-printing.html

Axtman, S. J., & Wilck, J. H. (2016). *A Review of Aviation Manufacturing and Supply Chain Processes*. (December 2015).

Blanther, J. E. (1892). *Patent No. US473901A*. United States of America.

Bourell, D. L. (2016). Perspectives on Additive Manufacturing. *Annual Review of Materials Research*, *46*(1), 1–18. https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-070115-031606

Choragudi, A., Kuttolamadom, M. A., Jones, J. J., Mears, M. L., & Kurfess, T. (2010). *Investigation of the Machining of Titanium Components for Lightweight Vehicles*.

Christopher, M. (2011). LOGISTICS & SUPPLY CHAIN MANAGEMENT. In *International Commerce Review* (4th ed., Vol. 7). https://doi.org/10.1007/s12146-007-0019-8

Crump, S. (1989). *Patent No. US5121329A*. Retrieved from https://patents.google.com/patent/US5121329

European Union Aviation Safety Agency. (n.d.-a). EASA regulations. Retrieved from https://www.easa.europa.eu/regulations

European Union Aviation Safety Agency. (n.d.-b). EASA website. Retrieved from https://www.easa.europa.eu/the-agency/the-agency

European Union Aviation Safety Agency. (2017). *Certification Memorandum Additive Manufacturing* (Vol. 100). Retrieved from https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/EASA CM-S-008 Additive Manufacturing.pdf

European Union Aviation Safety Agency. (2019). *Easy Access Rules for Airworthiness and Environmental Certification (Regulation (EU) No 748/2012)*. 471.

Gibson, I., & Rosen, D. (2015). *Additive Manufacturing Technologies*.

Hopkinson, N., & Dickens, P. (2003). Analysis of rapid manufacturing - Using layer manufacturing processes for production. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, *217*(1), 31–40. https://doi.org/10.1243/095440603762554596

Hull, C. (1984). *Patent No. US4575330A*. Retrieved from https://patents.google.com/patent/US4575330

Lee, T. C., Ramlan, R., & Shahrubudin, N. (2019). An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications. *Procedia Manufacturing*, *35*. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089

Lipson, H., & Kurman, M. (2013). *Fabricated - the new world of 3D printing*. Indianapolis, United States of America: John Wiley & Sons, Inc.

Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., & Zacharia, Z. G. (2001). Defining supply chain management. Journal of Business logistics. *Journal of Business Logistics*, *22*(2), 1–25.

Munz Otto, J. (1956). *Patent No. 2775758*. United States of America.

Richey, R., Daugherty, P., Genchev, S., & Autry, C. (2001). JOURNAL OF BUSINESS LOGISTICS, Vol. 25, No. 2, 2004 229. *Journal of Business Logistics*, *22*(2), 1–25. Retrieved from http://www.cba.ua.edu/~grichey/Research/Publications/RL_Timing and Resources.pdf

Ruffo, M., & Hague, R. (2007). Cost estimation for rapid manufacturing - Simultaneous production of mixed components using laser sintering. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, *221*(11), 1585–1591. https://doi.org/10.1243/09544054JEM894

Thomas, D. (2016). Costs, benefits, and adoption of additive manufacturing: a supply chain perspective. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *85*(5–8). https://doi.org/10.1007/s00170-015-7973-6

Tofail, S. A. M., Koumoulos, E. P., Bandyopadhyay, A., Bose, S., O'Donoghue, L., & Charitidis, C. (2018). Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities. *Materials Today*, *21*(1), 22–37. https://doi.org/10.1016/j.mattod.2017.07.001

Varotsis, A. B. (n.d.). 3d-printing vs cnc machining. Retrieved October 4, 2020, from https://www.3dhubs.com/knowledge-base/3d-printing-vs-cnc-machining/#case-study-metal

What is 3D Printing? (n.d.). Retrieved from https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/

Wohlers Report 2014. (n.d.). https://doi.org/978-0-9913332-0-2

Yang, D. C. H., & Kong, T. (1994). *Parametric interpolator v e r s u s linear interpolator for precision CNC machining*. *26*(3), 225–234. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0010-4485(94)90045-0

Zhai, Y., Lados, D. A., & Lagoy, J. L. (2014). Additive Manufacturing: Making Imagination the major Limitation. *Jom*, *66*(5), 808–816. https://doi.org/10.1007/s11837-014-0886-2

7. Annexes

7.1. Annex 1

Tema	Objetivo	Tópicos de questões	Observações
1. Legitimação da entrevista e motivação do entrevistado	1.1 Reforçar a importância anonimato, os objetivos e uso académico das informações. 1.2 Motivar o entrevistado e agradecer a colaboração.	• Referenciar que não há respostas certas ou erradas. • Referenciar que a entrevista vai ser gravada apenas para uso académico.	Disponibilizar a tese no final
2. Caracterização do entrevistado.	2.1 Percurso do entrevistado. 2.2 Papeis que desempenha na área da manutenção.	• Como é que chegou até aqui [dizer nome da organização]? Gostaria que me falasse um pouco sobre o seu percurso, só para ficar a conhecê-lo(a) um pouco melhor… • Atualmente quais são as funções que executa no seu trabalho?	
3. Vantagens e desvantagens da impressão 3D.	3.1Identificar as perspetivas dos participantes sobre: 3.2 Os principais pontos fortes; Limitações da impressão 3D na manutenção?	• Está familiarizado com a tecnologia de impressão 3D? - Se sim: como vê esta questão na sua área de trabalho? E os seus colegas pensam da mesma maneira? - Se não: obrigado pela sua colaboração. • Quais as aplicações que esta tecnologia tem? • Quais os benefícios em relação às técnicas de manufatura atuais? • Quais as desvantagens que vê nesta tecnologia?	A primeira questão define o tipo de entrevista (geralmente faz-se de forma aberta: Como vê este assunto das novas peças?)
4. Influência da impressão 3D na manutenção aeronáutica.	4.1 Inquirir sobre a viabilidade desta tecnologia e sobre a sua eficácia.	• Que tipo de materiais conhece que são utilizados na impressão 3D? • Em relação à fiabilidade das peças produzidas, qual a sua opinião? • No seu dia-a-dia, acha que esta tecnologia é aplicável? • Acha que irá	
5. Futuro da manutenção	5.1 Inquirir sobre a influência que vai ter no futuro.	• Qual o impacto a nível de planeamento das manutenções programadas? E nas não programadas? • Com base na sua experiência, de que forma a impressão 3D influência o dia-a-dia da manutenção aeronáutica?	

7.2. Protocol number 1

1 - Boa tarde, esta entrevista é anónima e será apenas utilizada para funções académicas e para a realização da minha tese final de mestrado. Queria agradecer a sua colaboração e gostava de saber qual foi o seu percurso até chegar aqui.

2 - Boa tarde, eu comecei em 1996 na OGMA, na parte da fabricação, ou seja estava no PC12, entretanto 6 anos mais tarde passei para a fabricação em compósitos de uma parte do Dornier 728, aquilo entretanto faliu, a empresa faliu e eu fui realocado no projeto que tinha acabado de começar que era fazer manutenção dos C-130 da Força Aérea Francesa na parte elétrica e aviónicos, tive lá cerca de 16 anos e depois passei para a aviação comercial onde tirei a licença de TMA B1 e B2 e tenho a família EMBRAER averbada, neste momento estou aqui a liderar a produção na modificação dos Falcons da Força Aérea Portuguesa.

1 - Está familiarizado com a impressão 3D?

2 - Não estou, nunca vi ao vivo.

1 - Mas conhece o conceito?

2 - Conheço o conceito, sim. Ao vivo nunca vi, tenho pena, gostava de ver.

1 - Pode ser que ainda venha a ter aí umas impressoras. Genericamente quais é que acha que são as aplicações na área da aviação.

2 - Esta indústria é muito escrutinada, ou seja nós não podemos meter nada no avião se não tiver o *serial number* e o *form* 1, ou seja qualquer coisa que diga onde é que a peça foi feita, sobre que normas, qual é o lote, etc. para sabermos a rastreabilidade do item em causa, é assim daí a minha dúvida seria será que pode ser aplicado a uma empresa que não seja a sua habilitação.

1 - Pois, neste momento ainda não existe, é isso que estou à procura, perceber se é viável ou não, perceber que caminhos se podem tomar para agilizar esta situação porque os *manufacturers* têm um lobby e não querem abrir mão disso. Mas em relação

às peças, acha que todas as peças têm a mesma certificação e o mesmo grau de escrutínio?

2 - Não têm todas o mesmo grau, porque há umas que são digamos assim em português: é perigo de voo, para o qual há uma diferença maior e há outras que não são tanto, ou seja se aquilo falhar o avião não cai, mas lá está como disse e bem para tudo há um lobby, vou-lhe dar um exemplo: os interiores, os *side walls*, o teto, tudo, todas essas peças, há uma indústria por trás a fabricá-las, e essa indústria está sobre a supervisão de quem fez o desenho do avião. Vou dar um caso: se for para se meter uma cafeteira num avião, qualquer coisa nova, nós temos que ter um SB (*service bolletin*) que tem que ir sempre ao fabricante. A ideia é boa, agora não sei até que ponto nos primórdios será aplicada, tenho dúvidas que certas indústrias não façam força para isso. Isso era a mesma coisa que eu agora ter aqui um problema e vou fazer essa peça e não dou cavaco a ninguém, não sei se vai ser assim tão fácil fazer isso.

1 - Então e assumindo que as impressoras e as peças eram certificadas, ultrapassando essa barreira, quais acha que seriamos benefícios e as limitações?

2 - Primeiro de tudo terás que me dizer qual é o tipo de material que se está a trabalhar nas impressoras 3D.

1 - Todos: cerâmicos, metais, plásticos, compósitos.

2 - Tudo é fabricado ali?

1 - Quase tudo sim.

2 - Ultrapassando esse problema que identificámos, abre-se todo um mundo, é difícil, tirando os equipamentos, os displays, lâmpadas, não sei se é possível fazer uma lâmpada, mas peças mais simples como uma parte do interior acho que isso é super proveitoso porque em termos de custos seria muito melhor para quem está a fazer manutenção ao avião.

1 - E no seu dia a dia em que é que isso se ia traduzir?

2 - No meu dia a dia no que isso se podia traduzir é uma mais célere aplicação de materiais que eu tivesse em falta, ou seja em vez de ter que fazer uma encomenda a

uma empresa que se calhar está nos Estados Unidos, eu se calhar podia fazer essa peça localmente, ou seja em vez de estar a esperar uma semana, se calhar em dois dias teria a peça, porque hoje em dia a maior parte das empresas tem um mínimo de stock ou seja o stock de peças suplentes as empresas querem um mínimo porque essas peças pagam imposto e a cada ano essa peça paga esse imposto.

1 - Portanto vê algumas desvantagens?

2 - Se quem produz esse tipo de peça garantir a durabilidade, características mecânicas e tudo o que está à volta dessa peça, e esteja dentro dos parâmetros da EASA ou a FAA ou o que seja não vejo inconveniente nenhum.

1 - Existem dois tipos de manutenção, programada e não programada, tendo isso em conta qual acha que será o impacto em cada uma delas?

2 - Acho que vai ter mais impacto na não programada, porque por exemplo uma companhia que tenha uma frota de aviões para fazer manutenção, vamos dar o caso do 320, eles nas ações programadas já sabem mais ou menos passado X aviões o que vai ser preciso, e têm em stock para esse avião. A não programada são manutenções porque alguém detetou uma anomalia e tendo esse tipo de ferramenta podemos atuar logo, em vez de estarmos à espera atuamos logo. Portanto em termos de não programada acho que é uma mais valia.

1 - Portanto resumindo, acha que esta tecnologia é aplicável?

2 - Claro que sim.

1 - Ok muito obrigado pela colaboração, se quiser acrescentar algo sinta-se à vontade.

2 - Seria bom de quem trabalha no avião ter alguma noção do processo, saber o que é como se faz e quais os problemas que podem acontecer, acho que isso é sempre bom.

1 - Ok muito obrigado mais uma vez.

7.3. Protocol number 2

1 - Boa tarde, esta entrevista é só para efeitos académicos e não vai ser divulgada de forma nenhuma.

1 - Fale-me um pouco de si, um pouco do seu percurso até aqui.

2 - Eu comecei na aviação em 1979, comecei na aviação leve em São Paulo, barras e aviónica e fazia instalações de cabelagens e painéis em aeronaves pequenas (asa alta, CESSNA), trabalhei muitos anos ali, foi o início da minha carreira. Ali eu já fiz a carteira da ANAC, precintei, fiz o curso, precintei e passei… Instrumentos, aviónica… essas modalidades da carteira lá do Brasil e ali é que foi o início da minha carreira. Dali eu passei para outra empresa para instrumentos que era a UNTI, trabalhei com instrumentos, fazia calibrações e bússolas e indicador de RPM, horizonte artificial... Apareceu um concurso em EMBRAER junto com a ANAC no Brasil, ao todo forAM30 candidatos e fui um dos escolhidos, passei no curso, no teste e na entrevista e fui fazer o curso de mecânica de manutenção teórico em EMBRAER tecnológico e espacial fica em São José dos Campos. Ficámos lá os 30 escolhidos do Brasil todo, desde o Norte até ao Sul a fazer o curso, durante 1 ano e meio. Após isso voltei para São Paulo, trabalhei um tempo lá após o curso para cumprir as horas práticas, além das que eu fazia na EMBRAER, eu fui também fazer numa empresa particular de informática e aviação. A EMBRAER chamou-me de volta para trabalhar e eu voltei como Inspetor de Manutenção e Inspetor de Produção, (quando eu voltei na época lá do Brasil) dos bandeirantes, (bandeirulo) e do Xingu. O bandeirulo é o bandeirante, conhece o bandeirante? O M110. Quando a EMBRAER nasceu que antes era Osíris; o primeiro avião que a EMBRAER fez foi o bandeirante e o bandeirulo é um que tem um narizão comprido e tem um radar lá que é o mariem que usa, e aí eu voltei para trabalhar na linha de produção deles; o Xingu e o bandeirante. Trabalhei lá durante muitos anos, dentro da EMBRAER fiz outro concurso interno, passei para a linha já final de preparação para voo. Fiz outro curso, outros exames lá dentro, passei para ensaios em voo trabalhei com ensaios de voo. Fazia voos, tenho mais de 1.000 horas de voo - primeiro voo, segundo voo, terceiro voo da aeronauri após sair da linha de produção, fazíamos voos fotográficos de aeronaves novas e entrega para clientes. Trabalhei no processo, no projeto de ensaios de voo, produção e manutenção na EMBRAER, forAM15 anos. Teve um intervalo em que eu saí, fui para outras empresas, mas voltei e completou 15 anos. Dali saí e fui para a Vasp, que já não existe, faliu. Trabalhei na VARGE, na TAN, na LIDER, na HELIBRASSE, e vim para Portugal em 2006; entrei na OGMA como Técnico de Manutenção em 2006/2007, voltei para o Brasil e fui trabalhar para uma offshore na HELIBRASSE, quando trabalhei já era helicópteros e quando voltei de Portugal para o Brasil após a OGMA fui trabalhar em

offshore, helicópteros offshore em Macaé - Rio de Janeiro; morava em São Paulo trabalhava no Rio e tenho aproximadamente curso de 9 anos de helicóptero e voltei agora já fazem 4 anos, para Portugal. Novamente fui trabalhar na OGMA e da OGMA vim para a AEROMEC já tirei o EASA, as carteiras todas, B1, B2 e B1.3 falta a C que quer fazer equivalência do curso superior para ver se pego a C para ficar completo, mas resumidamente…. queria fazer o mais rápido possível. A minha vida foi essa, devem ser uns 30 e… somando a minha vida em aeronáutica foram uns 38/39 anos.

1 - Qual é a sua função agora?

2 - Sou TMA – Técnico de Manutenção Aeronáutica

1 - Está familiarizado com as técnicas de impressão 3D? Conhece o conceito?

2 - Não. Tenho uma noção… é com software?

1 - É uma impressora que imprime a 3D.

2 - Ah 3D, impressora 3D, sim! Tenho uns 3 dentes impressos a 3D. O meu dentista mostrou o meu dente a ser fabricado.

1 - Pois é muito versátil. Como é que acha que isso pode vir a afetar o seu dia a dia?

2 - Com uma impressora?

1 - Sim, aqui no seu trabalho.

2 - Facilidade de ter uma ferramenta que seria difícil de importar ou viria de muito longe, demora ou muito cara, poderia estar a fazer uma ferramenta com mais facilidade, com um preço menor.

1 - Isso também é importante, até agora por acaso ainda não tinham falado em ferramentas, só em peças, nas entrevistas que já fiz.

2 - Mas é possível fazer ferramentas. Ferramentas especiais, fazer aqui uma ferramenta própria para poderes usar aqui na sua função, podes projetar e podes fazer o que quiseres.

1 - Quais é que são os benefícios que vê na impressão 3D aplicados à manutenção de aeronáutica?

2 - É fazer a ferramenta, o seu projeto, a ferramenta apropriada para aquele uso que queres no dia a dia. A pessoa pode personalizar a sua ferramenta, a sua ferramenta especial, podes fazê-la. Acho que é isso. O custo, pode ser que o custo seja menor.

1 - Em relação ao planeamento, à gestão e à operação em si como é que acha que pode vir a afetar estes 3 pontos. O planeamento sendo a importação, a gestão sendo…

2 - A ferramenta… você tem uma impressora que vai facilitar o planeamento, a aquisição da ferramenta vai ser muito mais rápida, é tempo que vais ganhar, a administração com o custo.

1 - E em relação a desvantagens ou limitações?

2 - Não sei o preço da impressora, deve custar muito caro. O meu dentista tinha duas. Como é muito caro e é novidade, quem tem 1 não tem nenhum porque se der problemas… então ele comprou 2, mas eu acho que … Não sei como está o preço da impressora agora. São mais caras?

1 - São muito caras.

2 - Acho que uma desvantagem seria o preço da impressora.

1 - Há impressoras que chegam a custar 500 mil euros, mas também há impressoras a 200€. É uma questão de qualidade.

1 - Para finalizar, achas que esta tecnologia é viável no seu trabalho?

2 - Acho que é viável. Quanto custa um avião? Ou seja, estamos a falar que a impressora é cara, mas não deve ser mais cara que um avião, e mais cara ainda é a manutenção do avião. Eu acho que uma manutenção do avião que não é barato, podes estar a melhorar a qualidade de várias coisas, para trabalhar na aeronave com a impressora que é cara, mas que para a aviação não. Tem nenhum pobre que tem avião.

1 - Muito obrigado pela atenção, se quiser acrescentar alguma coisa esteja à vontade.

7.4. Protocol number 3

1 - Boa tarde, esta entrevista é anónima, não vai ser divulgada de forma nenhuma, portanto não há respostas certas ou erradas. É uma questão de opinião.

1 - Fale-me um pouco do seu percurso até agora, por favor.

2 - Começando pelo meu percurso profissional. Comecei a trabalhar em 2002 na OGMA em Alverca, comecei como estagiário, num período de 9 meses em que enquadrei a parte de Qualidade do Departamento de Engenharia e Manutenção, na altura na OGMA tinha a Engenharia de Motores, Engenharia de Componentes, Engenharia de Aviação Civil, Engenharia de Aviação Executiva e de Aviação Militar. Depois posteriormente, ingressei na parte da configuração na parte de Projeto; houve uma divisão na empresa em que separaram o departamento de engenharia e parte ficou na parte de Manutenção e a outra parte do pessoal ficou na parte do Projeto, eu fui um dos que ficou na parte do projeto de modificação de aeronaves; fui um dos responsáveis pelo desenvolvimento da DOA – *Design Organisation Aproval* e fiquei como *Configuration Manager* e desempenhei funções durante 5 ou 6 anos. Depois fui para uma modificação do P3 da Força Aérea Portuguesa em 2007/2008 como Gestor da Configuração da Modificação, mas depois terminei como Gestor de Programa da parte da Força Aérea Portuguesa da OGMA. Depois dessa altura, a partir de 2010, ingressei como Responsável de Projetos - *Project Manager* e *Program* Manager - até ao ano de 2012; aí geri o programa da Força Aérea Portuguesa do P3, dos Camarões, e depois em 2012 fui convidado para ser o Gestor de Segurança de Voo da OGMA, a implementar o *Safety Management System*. Saí em 2015, deixei completamente a manutenção e o projeto e ingressei na aviação executiva. Na aviação executiva estive há volta de 4 anos até voltar aqui e depois regressei à AEROMEC e agora estou a desempenhar as funções que anteriormente tinha desempenhado na OGMA que era Gestão de Programa.

1 - Portanto tem bastante experiência na área. Está familiarizado com a tecnologia de impressão 3D?

2 - Não, não. Já ouvi falar, já conheço, mas ao detalhe não sei.

1 - Não há problema, o que importa é saber o conceito. Portanto quais é que acha que são as aplicações na sua área de trabalho?

2 - Pelo que vi agora recentemente por um colega nosso da parte dentária fiquei admirado, mas daquilo que eu vejo, é que às vezes temos situações em que temos de receber e pedir equipamentos em AOG – *Aircraft On the Ground*, o avião quando está

na placa para sair, às vezes esse timing demora muito tempo e depois esses custos são altíssimos. O que é que é a impressão 3D, é termos a possibilidade de imprimir esses componentes logo na altura. Há vantagens económicas e há vantagens a todos os níveis de tempo, só que o problema que está aí é que para ser uma componente a entrar num avião, tem de estar a impressora - o equipamento que faz essa componente - certificada pela autoridade; como eu vejo ainda isso como uma situação a longo prazo. O que eu vejo a curto prazo, é os equipamentos de suporte à manutenção do avião, pequenos apoios, suportes em que em vez de estarmos a mandar comprar e com os timings do *shipment*, conseguir imprimir e na própria altura ter o problema resolvido. Que é um mercado de negócio a longo prazo, isso é… Agora tem de se ver a balança do custo e da produtividade.

1 - Quais é que acha que são os benefícios da impressão 3D em relação às técnicas de manufatura atuais?

2 - Para já mão de obra. Creio que é necessária uma pessoa ou duas no máximo, depende também a dimensão, mas em termos de apoio à manutenção aeronáutica, não estou a ver mais do que 2 pessoas sendo a segunda sempre um backup. Logo aí estamos a falar de custos mensais que temos com o operário, em vez de ter 4 ou 5 é apenas 1 ou 2. E depois são os timings, conseguimos ter um suporte num, dois dias, três no máximo controlado por nós *on time*; não é em termos administrativos, ter que fazer documentos, ir à procura de fornecedores, nós próprios somos autónomos em produzir o que queremos na parte de suporte, vejo essa vantagem, posso estar enganado mas é isso que vejo. É como ter em casa uma impressora e depois imprimir. Por exemplo a minha mulher tem uma impressora de hóstias em casa, e aquilo é um papel próprio que compramos em forma de hóstia e aquilo imprime na hora. Em vez de ter trabalho em sair de casa com uma *pen* ir a uma casa que só tem daquelas impressoras e gastar uma pipa de massa, com 50 cêntimos conseguimos imprimir a hóstia. Mete o boneco, como isto que estou a ver agora, podia ter isto num bolo em formato A4 e isto comia-se tudo em hóstia. A vantagem que vejo na impressão 3D é essa, não tão simples como a da hóstia, mas é que nem saímos de casa. A impressora 3D eu vejo como a mesma plataforma, estamos aqui num espaço, a impressora não deve ter as mesmas dimensões obviamente, mas sai a informação e ela [a peça] sai. E isto parecendo que não, poupa-

se muito, em termos de logística, recursos humanos e o timing ganha-se, ganhando o tempo ganha-se clientes, porque conseguimos produzir em maior quantidade com o mesmo tempo. Tem vantagens tem.

1 - E em relação às desvantagens?

2 - No mundo aeronáutico, é não ter a certificação para imprimir componentes em 3D a usar no avião, tem de ter uma certificação da autoridade.

1 - Portanto isso será um impasse gigante?

2 - Não tenho dúvidas que é gigante, nem tenho dúvidas que os fabricantes não vão deixar, porque onde se ganha muito é exatamente nos componentes que vão para dentro do avião, ou suportes que vamos usar dentro do avião, tudo o que é para usar dentro do avião para operação, para voar, estar com os motores em marcha até descolar, até aterrar e desligar os motores tudo que está lá dentro do avião tem que ter um COC, que é passado por uma empresa, uma POA – *Production Organization Aproval*, temos a POA e temos a DOA – que é o Design, temos a 21J e a 21G, ou seja isto ia afetar as POAS de nível internacional, onde tinham que fazer os desenhos, depois o processo de manufatura todo quebrava 50%, estamos a falar que tudo o que são fabricantes são POA's, (Universal, Recoil Collins, O'neil well) tudo tem uma POA, e que isso ia abanar as coisas, ia.

1 - No seu dia-a-dia, acha que esta tecnologia é aplicável? E se sim, de que forma?

2 - É aplicável, por exemplo, uma pessoa tem de fazer suportes para o avião e nesses suportes não estarmos à espera de fornecedores e nas condições que os fornecedores nos querem impingir… sendo nós autónomos nas coisas. Isso até tem vantagem. Só na parte de suporte à manutenção do avião, não na parte que vai para o avião.

1 - Muito obrigada, se tiver alguma coisa a acrescentar…

7.5. Protocol number 4

1 - Antes de mais bom dia. Queria reforçar que esta entrevista é anónima e que estes dados serão apenas utilizados para uso académico e portanto não vão ser divulgados de forma nenhuma. Queria agradecer a sua colaboração, em relação às respostas não há respostas certas ou erradas, isto é uma questão de opinião e como já disse a entrevista

está a ser gravada apenas para uso académico. Caso seja necessário posso disponibilizar a tese no final caso queira. Em relação a si, fale-me um pouco do seu percurso, como é que chegou a esta empresa…

2 - Eu tenho um *backround* em engenharia mecânica, especializado em manutenção aeronáutica, posteriormente tirei um doutoramento na aplicação de metodologias de inteligência artificial à gestão da manutenção e nesse âmbito voltei à indústria, a esta empresa para exercer funções novamente na indústria aeronáutica.

1 - E que funções são essas?

2 - Gestão da inovação e planeamento.

1 - Isso é precisamente uma área que eu estou à procura, o planeamento. Atualmente que funções é que executa?

2 - Essas funções de gestão de inovação e planeamento. Controlo de cartas de trabalho, isso na parte do planeamento e na parte da gestão da inovação e contacto com as universidades e com entidades de investigação e desenvolvimento para o estabelecimento de parcerias no âmbito de transferência de tecnologia.

1 - E em relação à tecnologia, está familiarizado com a tecnologia de impressão 3D? Como é que vê esta questão na sua área de trabalho?

2 - Tenho algum conhecimento. Relativamente à aplicação da impressão 3D é no âmbito da manutenção?

1 - Sim.

2 - No âmbito da manutenção vejo algum potencial, no entanto receio que a regulamentação existente seja um entrave à aplicação dessa tecnologia.

1 - De que forma?

2 - Na certificação dos componentes produzidos, logo a começar por aí.

1 - Portanto neste momento a impressão 3D não lhe parece viável?

2 - Não diria que não é viável, diria que muita legislação tem que ser alterada para permitir a sua aplicação. Quanto a mim ainda estamos a uma distância de alguns anos

para que a tecnologia de impressão 3D seja de uso corrente na manutenção aeronáutica.

1 - Em relação à certificação, conhece os passos necessários para a certificação de uma peça?

2 - Não é a minha especialidade, tenho uma ideia relativamente ao processo e certificação que é necessária do ponto de vista dos *certified parts manufacturers* que têm que cumprir com os requisitos impostos pelo fabricante que por sua vez tem que cumprir com os requisitos impostos pela autoridade aeronáutica e isto estamos a falar de gestão da qualidade, sistemas de gestão da qualidade que têm que estar certificados, todas essas questões. Ou seja, esta questão é importante porque estamos a ver a complexidade em termos de certificação e regulamentação que são exigidos aos tais *certified part manufacturers* e acho que algo semelhante vai ser exigido à produção das peças através da tecnologia de impressão 3D, daí as minhas reticências.

1 - Ainda em relação à certificação, de que forma é que acha que podemos dar a volta a esta situação sem termos que esperar tantos anos?

2 - Não vejo como em termos de procedimento, porque como digo: isto vai ter que ser uma decisão tomada ao nível da EASA, na europa, a nível da FAA nos Estados Unidos e a única forma que vejo é que haja uma pressão grande por parte dos fabricantes para que isso aconteça e isso não é algo que seja do interesse dos fabricantes porque dessa forma eles estão a perder o monopólio de fornecimento das peças e não vejo os operadores com poder negocial suficiente para fazerem o *lobbying* para a produção das peças de forma descentralizada, digamos assim.

1 - E dentro da aeronave, existem peças com vários níveis de certificação?

2 - Sim

1 - Portanto existe uma certificação menos elevada, correto? Ou menos regulamentada.

2 - Não é uma questão de ser menos regulamentada, existem vários níveis de criticidade nas peças ao nível da aeronave, existe um documento que é a *minimum equipment list* e a *master minimum equipment list* que são os equipamentos mínimos necessários que têm que estar a operar para que a aeronave seja considerada aeronavegável, nós aí

conseguimos filtrar os componentes mais críticos que são necessários para uma condição seguira de voo e aqueles que não são necessários, esse seria um bom ponto de partida para na eventualidade de ser possível aplicar este tipo de tecnologia, estou a ver que será aplicável àqueles que estão fora da *master equipment list*.

1 - E em relação à impressão 3D na linha de manutenção, quais são os benefícios e os contratempos que acha que existem?

2 - Os benefícios são evidentes, o encurtamento dos *lead times* para receber esses equipamentos, quanto a custo não me posso pronunciar, não tenho ideia, mas acredito que sim que sejam inferiores, que o custo de produção com tecnologia 3D seja inferior e o custo de aquisição que seja superior. Agora também existe outra questão, tudo o que é fornecido em termos aeronáuticos tem que ser acompanhado de um documento que comprove que aquela peça foi produzida obedecendo às certificações aplicáveis, existe um documento que é o EASA Form1 que atesta isso, essa questão também tem que ser tida em conta na elaboração dos componentes com tecnologia 3D. Agora em termos de benefícios, claro que existe essa flexibilidade e agilização do processo de manutenção em si, para *part numbers* com *lead times* muito grandes.

1 - Portanto isso é numa parte mais de planeamento certo? Ou seja os *lead times* têm a ver com encomendar peças?

2 - Certo.

1 - E nas partes de gestão e de operação acha que existe algum benefício?

2 - Os benefícios são os mesmos, em termos operacionais é a disponibilidade do material, ou seja eles sobrepõem-se, o benefício é o mesmo em ter o componente mais rapidamente do que de outra forma, do que estará a adquirir, estar a fazer uma pesquisa de mercado, ver qual é o fornecedor com o custo mais baixo, emitir a ordem de compra, esperar pelo fornecimento do material, ou seja se o tempo de produção encurtar todo este tempo é um benefício grande, este benefício é transversal a todos esses níveis: ao da gestão, se estivermos a considerar a gestão mais em termos de custo tem que ser ponderado mas em termos de planeamento eu diria o tempo e em termos operacionais a mesma coisa.

1 - Portanto até agora falou-me em vantagens e numa desvantagem que é a certificação, vê mais alguma desvantagem?

2 - Eu já estou a assumir que…

1 - Que estão certificadas, certo.

2 - E que em termos estruturais o componente garante esses requisitos. Essa questão pode também ser uma desvantagem, não garantindo…

1 - Este estudo é feito tendo em conta que as peças têm as mesmas ou melhores propriedades. Porque obviamente que existem impressoras melhores e impressoras piores e a qualidade tem muito a ver com o tipo de impressora que se usa. Mas estamos sempre a pensar em impressoras de alta qualidade que asseguram a segurança de voo.

2 - Por acaso aqui também só estamos a focar a questão da produção física, mas temos também a questão dos desenhos, ou seja como é que os desenhos são obtidos uma vez que são documentos proprietários não é?

1 - Sim, são propriedade intelectual.

2 - Exatamente, ou seja essa questão também é relevante, como obter o desenho do componente que está a ser replicado.

1 - Quais é que acha que são as opções para isso?

2 - Novamente, por causa da questão da propriedade intelectual teria que ser bem vista com os fornecedores, os OAM's, nem que seja com um pagamento de um fee ou algo assim, acho que é um desafio.

1 - Em relação às manutenções, existem dois tipos: as programadas e as não programadas. Qual acha que será o impacto em cada uma delas?

2 - É assim, acho que se estiver a referir às manutenções programadas só referindo os *checks* programados, nos *checks* programados nós temos tarefas planeadas e não planeadas, ou seja e toda a manutenção é concebida de forma planeada ou programada, decorrente da *scheduled maintenance* é que temos a *unshceduled maintenance*, tipicamente. Existem eventos durante a operação da aeronave que podem resultar em *unscheduled maintenance* pura e simples: *bird strikes*, *tail strikes*, hard *landings*, esse

tipo de coisas. Nessa eventualidade a aeronave pode ter que ser sujeita a manutenção fora do seu programa de manutenção, mas tipicamente toda a manutenção programada tem uma manutenção não programada associada. Assim sendo a tecnologia 3D terá benefício em toda a manutenção, mas vejo mais decorrente da manutenção não planeada, porque essa é aquela que não é esperada, na manutenção programada se tivermos a máquina bem oleada e as cadeias logísticas bem definidas e a serem operadas corretamente nós conseguimos adquirir e armazenar as peças necessárias à priori e isso é mais difícil com manutenção não planeada por isso vejo que nessa lógica de encurtar os *lead times* o beneficio seja maior na manutenção não planeada.

1 - Pronto chegámos ao final, agradeço a sua colaboração. Se quiser acrescentar alguma coisa…

2 - Mas é isso estou um bocadinho reticente na aplicação desta tecnologia a curto prazo devido às questões de certificação e regulamentação.

7.6. Protocol number 5

1 - Boa tarde, o meu nome é Diogo e venho aqui fazer uma entrevista sobre impressão 3D e como é que vai afetar a área da manutenção. Esta entrevista é anónima, não vai ser divulgada de forma nenhuma e, portanto, não há respostas certas ou erradas, é uma questão de opinião.

1 - Fale-me um pouco do seu percurso até aqui.

2 - O meu nome é XXXXXX, tenho 20 anos de aviação, o meu percurso foi começado na OMNI, basicamente iniciei em manutenção estrutural, depois mais tarde fui fazendo um bocadinho mais de cada coisa, fui-me inteirando mais de sistemas e tirei licença B1 e sou B1.1 e também *Sheet Metal*. Tenho vários cursos de aeronaves (não sei se é pertinente… vou tentar não me esquecer de nenhuma), tenho em EMBRAER 135, 145, 170 e 190; tenho também formação do Puma SA330; Epsilon; tenho o Chipmunk também; o Aviocar série 100 e 300; tenho o Falcon 50, Falcon 20; o P3; o Orion, e o F16. Espero que não me tenha esquecido de mais nenhuma.

1 - O F16 é o mais giro.

2 - E pronto, entretanto quis procurar outras… outros voos, vá, por assim dizer… outras experiências e vim para aqui. Estou aqui na AEROMEC há 6 meses.

1 - Portanto atualmente quais são as funções que executa?

2 - Eu estou aqui como TMA.1.

1 - E está familiarizado com a técnica de impressão 3D?

2 - Sim, sim… Não conheço a 100% tudo, mas sim tenho uma vista geral.

1 - Vê a impressão 3D aplicável à sua área? Ao seu dia-a-dia?

2 - Sim. Em vários sítios, sim.

1 - De que forma?

2 - Na aviação tens muitos componentes plásticos, por assim dizer, tens muitas peças. Eu acho que até é bom porque hoje em dia tens de ter moldes para criar os moldes tens que ter, sem ser nas outras de alumínio ou não sei o que eles usam para os moldes dos plásticos, mas todos os materiais vá, por assim dizer. Penso que se calhar poderá ser mais económico, mais viável e ter menos impacto no clima por exemplo. Para já só conheço a impressão 3D de plástico. Certo?

1 - Não.

2 - Não? Tem mais coisas? É por isso que disse que não conheço tudo.

1 - Metais, cerâmicos, polímeros, tem tudo… um pouco de tudo.

2 - Todos esses materiais existem na aeronáutica. Não tem interferência para nós, será talvez para os fabricantes, mas os que fabricam podem incorporar nas próprias empresas a impressão 3D. Desistir de uma e começar noutra, por exemplo. Se eles acharem que tem benefícios, mas penso que sim. Sou leigo na matéria, mas eu penso que sim.

1 - E em termos de tempo, o que é que acha? Acha que é a mesma coisa? Ou seja, encomendar uma peça ou ter ali uma impressora para imprimir a peça.

2 - Ter aqui a impressora? Isso é um bocado complicado, para já, na aeronáutica. Porque isso requer FORM1, requer autorizações do fabricante. Os fabricantes todos que

fabricam essas peças tem autorização do próprio fabricante. Se não for o próprio fabricante da marca, vá deste caso da Marcell Dassou que é a do Falcon 50, eles têm que ter autorização e sofrer auditorias para poderem fabricar essas peças. Se eles derem autorização aqui a eles e for, digamos… se for o fabricante a autorizar eu acho excelente. Não tem nada a ver… não estás à espera… vem em AOG mas demora sempre e depois podem ter em stock ou pode não ter, pode variar o preço, hoje é uma coisa amanhã é outra. Acho que isso era excelente. Para mim acho que sim.

1 - Portanto, que benefícios é que identifica as áreas de planeamento, gestão de recursos e operação?

2 - A impressão 3D? Os recursos?.... Não sei…. Não sei o que é que eles poderiam… do que é que eles necessitam ou poderiam ganhar com a impressão 3D… Não sei.

1 - Não, nas 3 áreas de: planeamento, gestão e operação.

2 - Ah incluindo aqui?

1 - Sim.

2 - Eu penso que essencialmente seria o tempo e os custos. Fazendo, como estavas a dizer, aqui diretamente logo; e o controlo, podes controlar muito melhor o que se estava a fazer, vês logo se tem defeito ou não, mas até pode vir e ter de repetir. Já veio por engano também. Já apanhei umas vezes isso, peças por engano, sejam eles ou nós a requisitar por engano, depois aquilo tem de voltar para trás, e uma aeronave no chão… é dinheiro a cada dia que passa… e nisso não tem nada a ver não é, uma pessoa tem justificações nas medidas todas. Tempo, controlo da qualidade e o valor monetário para mim é o essencial.

1 - E em termos de limitações ou desvantagens?

2 - Existem impressoras grandes, certo?

1 - Sim.

2 - Portanto, não estou a ver assim grande coisa. Se o controlo de qualidade for feito e bem feito aqui, pelas próprias pessoas, há sempre departamentos para isso e pessoas

que podem ver os defeitos e se tem algum problema ou não… Não vejo que exista nada… Para mim não há.

1 - Portanto já falámos um pouco do impacto que terá no seu dia-a-dia. Para finalizar, acha que esta tecnologia é viável?

2 - Aqui na manutenção, sim. Até porque tu já tens aviões que já estão completamente a deixar a fuselagens de alumínio para trás. Grande parte de fuselagem em carbono e compósitos, vá. Portanto existindo essas impressoras enormes, sei mais ou menos porque vejo programas (de televisão)… e só acho que têm a ganhar com isso certamente, até porque as tecnologias são o futuro, não há volta a dar. Também não se pode dizer que deixam de ser 10 pessoas que estão ali e passam a ser 1 ou 2 pessoas a controlar uma máquina, mas as pessoas vão-se adaptar e as máquinas precisam sempre de alguém por detrás. Portanto isso vai ser inevitável. De certa maneira é bom porque as pessoas também descansam de outra maneira, assim tens menos desgaste físico e psicológico de certa maneira… portanto também é uma qualidade de vida para as pessoas, não és tu que tens de estar ali a dar cabo da vista a fazer calibres e a ver tudo, as máquinas fazem isso e o restante que elas não conseguem, porque elas não conseguem sempre fazer tudo, fazemos nós, mas eu acho que isso é excelente, e é inevitável para o futuro.

1 - Ok, muito obrigado pelo seu tempo e se tiver alguma ciosa a acrescentar, por favor sinta-se à vontade.

7.7. Protocol number 6

1 - Vou gravar esta entrevista como já tinha dito, obrigado por participar. Esta informação é anónima e será utilizada para objetivos académicos e não vai ser divulgada de forma nenhuma, não há respostas certas ou erradas porque é uma questão de opinião e visão. Portanto fala-me um pouco sobre o teu percurso.

2 - Em aeronáutica?

1 - Sim.

2 - O meu percurso em aeronáutica começou na OGMA, fiz uma formação de estruturas aeronáuticas, o nome do curso era PAME- produção aeronáutica e montagem de

estruturas, quando acabei o curso fiquei a trabalhar na OGMA e fiquei na fabricação, consistia em componentes que vinham já fabricados, *frames*, portanto *frames* de estrutura de fuselagem; o fabrico daquilo é por extrusão, tínhamos chapas de revestimento e o nosso trabalho era agarrar nos *frames*, nas *stringers*, que também são fabricadas por processo de extrusão, o nosso trabalho era basicamente montar a estrutura do avião, *fastener* de rebitagem sólida. E pronto foi esse o meu percurso na OGMA, ingressei no curso de TMA, a fazer o curso de TMA e a trabalhar aqui ao mesmo tempo e pronto estou aqui e já estive na manutenção de linha em Lisboa na frota de ATR72 - 600 e aqui em C-*checks* também da frota ATR.

1 - Estás familiarizado com a impressão 3D?

2 - Não.

1 - Mas sabes o que é que é?

2 - Sei que basicamente aquilo funciona por deposição de materiais. Mas não sei que materiais conseguem utilizar.

1 - Os materiais são basicamente todos: cerâmicos, metálicos, polímeros, plásticos, tudo.

2 - É interessante, agora a aplicação em si, de componentes estruturais não sei até que ponto, imagina que vais fazer um componente que tradicionalmente é fabricado em CNC, esse componente para ser aplicado na aeronave tem que ser submetido aos testes de fadiga e ciclos de fadiga, não sei que o processo de deposição e de fabrico 3D, que garantias tem a nível estrutural, estou a falar mesmo das ligações cristalinas do material dessa coisa toda. Componentes não estruturais é aplicável, agora estruturais não sei essa já é a parte da engenharia.

1 - Essa parte também não consigo estudá-la, portanto estou mais à procura do conceito e de como é que isso vai ajudar a manutenção.

2 - Acho que isso depois tem a ver com a capacidade de produção, não sei qual é a capacidade de produção de uma maquina de impressão 3D, se consegue fazer rapidamente e em grande escala, em *bulk*.

1 - Depende, em grande escala não, ou seja não é a mesma coisa que a produção em massa, mas por exemplo criar a mesma peça em várias peças, ou seja separá-las e fazer a peça se calhar mais rápido do que uma produção em massa faria, ou ao contrário se o componente for produzido em várias peças em massa tu se calhar consegues imprimir só numa peça. Portanto há várias opções e isso depende muito de peça para peça. Mas então em relação às técnicas de produção atuais de forma é que achas que a impressão 3D se destaca?

2 - Por exemplo, em vez de teres uma peça, vou falar de peças estruturais outra vez, tu em vez de teres… para já qual é a dimensão?

1 - Tens várias, grandes ou pequenas. O que precisares.

2 - Imprimir em grande dimensão pode ter vantagens sim, tens esses *frames*, não sei se sabes o que são *frames* não sei qual é a tua área…

1 - Sei e também é manutenção.

2 - Componentes estruturais, estou a falar de produção de componentes estruturais em liga de alumínio, pode ter vantagens, a produção do processo de extrusão consome muito tempo em relação à deposição.

1 - Por exemplo a produção 3D em relação à maquinação, à extrusão.

2 - Certo, aí tens uma vantagem que é: no processo de maquinação tens sempre *waste*, desperdício de material, tens um bloco e vais maquinar aquilo, tens sempre o desperdício do material, no processo de impressão 3D usas só o material que precisas para fabricar a peça, só aí reduzes custos.

1 - Então e falando um pouco sobre a certificação, o que achas sobre a certificação de peças e das impressoras?

2 - Basicamente tu fabricares uma peça por impressão 3D o processo de certificação seria o mesmo. Tens uma peça, antes de ser considerada aeronavegável é submetida a testes de stress *loading* e ciclos de fadiga, para ser certificada tem que ser submetida ao mesmo processo que uma peça tradicional e o que muda é o processo de fabricação. Se for provado por esses testes que a peça tem essas capacidades, é aeronavegável.

1 - E assumindo que é. Quais são os benefícios que vês que esta técnica pode trazer para o planeamento, a gestão e a operação?

2 - Então se calhar podíamos começar com um exemplo que já aconteceu aqui, termos peças estruturais que em inspeções detetamos que têm cracks ou que não são aeronavegáveis, e por serem peças que normalmente não se encontram com esse tipo de falhas não há stock, já aconteceu ficarmos à espera 3 meses de uma peça em específico que não há em armazém e o fabricante não tinha e ninguém tinha esse componente, se for esse o caso, num caso assim específico, essa máquina consegues saber que consegues produzir uma peça em X tempo ou aquela específica em X tempo, acho que é mais fácil, no aspeto do planeamento consegues agilizar o processo, para já os custos de uma máquina dessas são mais baixos que uma máquina de CNC, não sei e se calhar consegues ter uma máquina dessas mais prontamente disponível em qualquer "*shop*", digamos assim, do que uma máquina de CNC e dares um projeto para uma pessoa fabricar em CNC se calhar tem uma grande parte de análise e de introdução de dados na máquina e tolerâncias, se calhar uma máquina de impressão digital precisas de uma peça que não há prontamente disponível em lado nenhum, tens o ficheiro, acho que funciona com um ficheiro, se o fabricante der um ficheiro dessa peça e fornecer a uma "*shop*" que tenha uma impressora 3D acho que isso… Estás a perceber? Passa a estar disponível quase instantaneamente. E não precisa de ter grandes quantidades em stock.

1 - E por exemplo em relação à operação da aeronave?

2 - Como assim operação?

1 - De estar *airworthiness*, de estar apta a voar… De que forma achas que a implementação desta tecnologia vai influenciar o dia-a-dia da aeronave?

2 - Então em vez de termos uma aeronave *grounded*, imaginemos que temos uma aeronave no chão, que não está aeronavegável, vai cair sobre o que estava a falar agora, às vezes as aeronaves ficam inoperáveis por falta de componentes, e neste caso pode afetar a operação positivamente, por reduzires os custos de inoperabilidade da aeronave e custos em que a aeronave está *grounded*.

1 - E diz-me uma coisa, vês alguma limitação ou desvantagem nesta tecnologia? Sem ser a parte da certificação.

2 - Certo, podes ter limitação, estava a falar em componentes estruturais da aeronave, mas por exemplo: componentes de motores que têm uma certa fiabilidade já testada, é uma coisa que já está testada.

1 - Assumindo que a peça tem a certificação toda e passou os testes todos, em termos de planeamento de dia-a-dia, quais achas que vão ser as limitações?

2 - Não sei porque não consigo dizer porque não conheço bem o processo, e se não conheço o processo não te consigo dizer limitações.

1 - É compreensível.

2 - Mas agora estava a pensar numa coisa que é: imagina que a empresa compra uma máquina de impressão 3D, isto já depois de ser testado e provado, aquela treta toda das certificações, se fosse aquele caso que estava a falar em que ficámos 3 meses à espera, o fabricante fornecia o ficheiro à empresa, a peça era fabricada prontamente disponível e certificada era só tirar da impressora e pôr na aeronave. Ocorreu-me agora… Não sei se isto é viável ou não mas é uma ideia.

1 - É esse o objetivo, é que seja viável…

2 - Eliminar intermediários?

1 - Exatamente… Eles não gostam muito dessa ideia, mas com base na tua experiência, de que formas achas que esta tecnologia vai influenciar o teu dia-a-dia? Já falaste um pouco da prontidão das peças…

2 - Ao técnico em si, não sei se influencia assim tanto, porque o nosso trabalho é executar, se calhar afeta mais o dia-a-dia do trabalho, como tu estavas a dizer, de quem trabalha em planeamento…

1 - Então se tivesses aí uma impressora, te dessem um ficheiro e dissessem: “imprime.”…

2 - Se nós no nosso dia-a-dia já fabricamos, o técnico de manutenção aeronáutica em *sheet* metal é formado para fabricar em *sheet* metal, se somos capazes de fabricar em

sheet metal e se formos devidamente ensinados a funcionar com a máquina de impressão 3D, não vejo porque não…

1 - Então na tua opinião esta tecnologia é aplicável?

2 - Sim, é aplicável.

1 - Então muito obrigado pela disponibilidade e colaboração, se quiseres acrescentar algo sente-te à vontade.

2 - Não tenho nada a acrescentar.

7.8. Protocol number 7

1 - Esta entrevista é relacionada com a impressão 3D e a forma como vai influenciar a manutenção aeronáutica, ou seja a produção de peças, a linha de montagem assim falando por alto. Isto é uma entrevista que não tem respostas certas ou erradas, é uma questão de opinião, é isso que estou à procura. Só vai ser utilizada para meios académicos, ou seja, para a minha tese. A sua identidade não vai ser exposta de forma nenhuma. Para começar peço que me contextualize um pouco a sua experiência na área, para sustentar a sua opinião tese.

2 - Sobre impressão 3D?

1 - Não, sobre a sua experiência de vida e de trabalho.

2 - Posso te dizer que a minha experiência acabou por ser um bocadinho vasta porque trabalhei na General Aviation com aviões de escolas de pilotagem, ao mesmo tempo com algum transporte aéreo comercial em turbo hélices, depois mais tarde trabalhei com helicópteros, trabalhei muito na parte da gestão da aeronavegabilidade, trabalhei muito na questão de fazer *faze-ins* e *faze-outs* de aeronaves, nomeadamente dos helicópteros. Depois mais tarde fui trabalhar para a NetJets, ainda estive num outro operador charter com 767 e depois voltei par a NetJets. Acabou por ser uma experiência nesse sentido. Dentro dessa experiencia 98% foi gestão de aeronavegabilidade continuada e 2% foi alguma gestão e suporte à manutenção. Praticamente falando esta é a minha história profissional.

1 - Ok perfeito, é mesmo isso que estou à procura. Atualmente quais são as funções que exerce?

2 - Olha exerço uma função que se chama "*maintenance progrAMtechnician*". O que é isso de "*maintenance progrAMtechnician*"? Tenho uma frota alocada a mim e aquilo que eu faço é uma das partes de gestão continuada de aeronavegabilidade, que é questão de manter atualizado os programas de manutenção, executar no sentido de criar novas revisões ou apenas uma revisão inicial ao programa de manutenção, análise de AD's, análise de service *bolletins* e toda a informação técnica providenciada pelo fabricante da aeronave, DOA's ou qualquer suporte aviónico ou apliances, nomeadamente compliances, tudo o que esteja montado dentro do avião desde garrafas de oxigénio até cadeiras, enfim. E a fiabilidade, portanto fazer estudos de fiabilidade e qualquer ajuste em termos de uma ordem de engenharia, ou seja um novo procedimento de uma nova tarefa que possa ajudar na melhoria da fiabilidade ou de qualquer questão que esteja relacionada com a aeronave. Depois também dou algum suporte a algum projeto que possa haver, algum projeto de corrosão ou de *weight and balance*. Acaba por ser um bocadinho nesse sentido.

1 - Portanto o professor é quem trata dos *maintenance plans* das aeronaves?

2 - Não, nós somos vários colegas e eu tenho uma frota locada a mim e eu nesta frota tomo conta desses pontos. Claro que acabo por ser um executante, depois acima de mim tem um supervisor e managers que acabam por avaliar e estar a par daquilo que se faz e manter o máximo de rigor e qualidade possível.

1 - Ok, diga-me uma coisa, encomenda peças ou só trata da revisão das ordens de trabalho?

2 - Não, nós dentro do departamento temos uma ou duas pessoas que tratam disso, que a função delas mesmo são as peças, compra de peças, verificar onde estão em stock, trazê-las ou disponibilizá-las para o service center, portanto eu não faço esse tipo de trabalho e se eu estiver relacionado com as peças é mais num teor mais técnico. Por exemplo: saber se o *part number* 2345 pode ser aplicado às nossas aeronaves ou em concreto às minhas aeronaves, se há alguma contra indicação *listed*, é um estudo mais técnico do que propriamente comprar a peça e distribuí-la.

1 - Ok. Está familiarizado com o conceito de impressão 3D?

2 - Conheço um bocadinho de forma genérica o que é a impressão 3D mas não é uma área que domine.

1 - Mas sabe o que é certo? De uma forma abrangente…

2 - Sim, sim.

1 - Tem alguma experiência com impressão 3D?

2 - Não, nenhuma, aquilo que vi foi meramente em literatura comercial, revistas, visão, *youtube*, mas pessoalmente nunca vi.

1 - E vê a impressão 3D a ser implementada numa linha manutenção?

2 - Depende daquilo que se quer, a manutenção aeronáutica exige um controlo muito rigoroso de tudo aquilo que se utilize, e tudo aquilo que se utiliza tem que ser certificado, e para ser certificado tem que passar por um *compliance check list* da parte da agência, neste caso Europa –EASA ou eventualmente com a participação das autoridades locais caso seja necessário. Aquilo que acontece que mediante as regras que estão a sair, cada vez mais existe um rigor muito intensivo porque à medida que os meios sofrem evolução, há mais necessidade de verificação e de compliances, isto tudo porque a automação também traz outras questões, provavelmente a impressão 3D e alguma ação que possa ter poderá ser relevante, depende é da forma como é feita e qual seja a sua utilização, porque tudo aquilo que se passe no contexto aeronáutico é de alguma forma previamente certificado, observado, estudado, penso até que no caso da implementação direta da impressão 3D tem que se demonstrar um grande conjunto de pontos, mas não é impossível, depende é daquilo que se quer.

1 - Então e se eu quisesse implementar isso, que passos tinha que tomar e por exemplo para o processo de fabrico que passos tinha que tomar para aprovar esse processo e para as peças em si se há vários níveis de certificação, ou seja se há peças que são mais fáceis de certificar ou mais difíceis, se há peças que não têm certificação…

2 - Só uma questão quando falas de peças, ferramentas… são para manutenção, ou são peças para aeronaves?

1 - Peças, ferramentas, componentes para aeronaves, tudo, tudo o que seja utilizado.

2 - E a questão que me estás a pôr é extremamente crítica, por dois pontos: para já de acordo com a *part* 21 cabe ao fabricante, mediante as regras de certificação as tais CS's, fazer com que a aeronave seja construída debaixo de um determinado conjunto de normas, todos os componentes que são criados têm que obedecer a esse conjunto de normas, tem que ser de um determinado material, esse material tem que obedecer ao *compliance* X e só depois de ser testado é que é introduzido na aeronave. Relativamente às ferramentas, muitas das ferramentas que são usadas nas aeronaves, muitas delas são ferramentas que se podem comprar em qualquer lado porque podem ser de chaves Philips, até alicates, até uma chave de torque por exemplo, agora têm é que obedecer aos padrões que o fabricante exige para poderem mexer naquela aeronave, a maior parte acaba por ser normas padrão mas existem determinadas ferramentas para fazer manutenção dos motores que são específicas para aquele tipo de motor. Portanto o que é preciso fazer e validar? Relativamente à questão que tu me metes tudo aquilo que se faça tem que se submeter a um critério de avaliação inicial, e isso poderá ser mandado à agência, num diálogo com a agência, quando digo agência digo EASA, como digo FAA, dependendo do sítio onde tu estejas. Depois segundo ponto: caberá à EASA, ou à FAA, ou à agência, depois verificar se as normas tidas em conta durante o processo, se essas normas possam ser validadas ou não. Isto é: mediante uma avaliação "ok há uma impressão 3D, o que é que isto faz? Vai imprimir isto? Mas o que é que está a imprimir? Qual é o resultado?", acaba por ser uma questão de *compliance*. Terceira coisa, depois disto e se houver um ponto positivo, ok acordam ou não acordam, depois essas normas são postas em produção, mas posso-te dizer que são coisas que podem levar anos, não são coisas que sejam feitas de um dia para o outro tudo isto tem que obedecer a um grande conjunto de critérios.

1 - Sim, por isso é que lhe perguntei pelos vários níveis de certificação. Porque compreendo que seja a longo prazo, mas também vejo uma possibilidade de se produzir componentes que não sejam tão importantes e que portanto não tenham tanta certificação, por exemplo um *armrest* de um avião antigo, uma parte plástica que não seja importante e seja apenas estético, compreendo que também tenha certificação. A

minha pergunta é: que certificação é que tem e se acha que é possível, a curto prazo, usar-se a impressão 3D para produzir essas peças.

2 - Isto a *part21* é extensa nesse sentido, porque tudo o que seja criar uma peça nova exige um determinado número de padrões, e pode-se ter em conta duas linhas: esta peça vai condicionar a aeronavegabilidade da aeronave? Sim, então obrigatoriamente tem que seguir um conjunto de medidas mais apertados. Se não, então provavelmente deverão sair critérios que não aqueles tão apertados. Uma coisa é certa, há um *compliance* sempre em tudo o que se instala no avião, independentemente de ser uma simples carpete, que vou ter que testar se ela é ou não, se ela em contacto com o fogo vai arder ou não, aquilo também obedece a um determinado número de regras, aí é que eu digo, independentemente que seja um plástico ou qualquer elemento que metas dentro da aeronave, tudo isto tem que ser previamente analisado. Imagina que é uma peça plástica e que essa peça que não tem significado nenhum, como peça em si, mas quando tu montas num conjunto ou num sistema… Tem que haver um *assessment*, tem que haver uma análise e dizer "não essa peça mesmo instalada no sistema em que está não apresenta perigo". Vou-te dar um exemplo: o acidente do Concord. O acidente do Concord também esteve relacionado com uma peça que também tinha sido feita sem cumprir as normas do fabricante numa outra aeronave que tinha descolado antes do Concord, e essa peça com a vibração saltou, jamais alguém se ia lembrar que pelo facto daquela peça não estar fabricada com as normas do fabricante porque ao fim ao cabo é um suporte de uma treta de nada, mas com a vibração e alguma carga térmica ela não foi suficientemente capaz de aguentar aos *demands* que tinha, isto também acontece com todos os elementos que são instalados no avião. O avião é uma máquina que no aspeto de *compliance* geral se quer num estado quase perfeito, então tudo o que é lá instalado tem que obedecer a um conjunto de regras, mesmo que seja um simples plástico, mas este plástico tem que ser demonstrado que se torna seguro para voo, porque ninguém quer instalar nada na aeronave que se houver uma fonte de ignição aquilo não esteja previamente estudado e certificado que não vai entrar em ignição, portanto é um bocadinho difícil tudo o que se queira, a instalação numa aeronave tem que ser muito cuidada, tem que obedecer a um conjunto de regras, obviamente que elas acartam mais se for um item diretamente relacionado com a *airworthiness* e

provavelmente não tem um estudo tao exaustivo se for para um item não *airworthiness*, um plástico ou aquilo que for, mas mesmo assim tem que se demonstrar um conjunto de pontos.

1 - Sim claro. E tendo em consideração que, num universo alternativo onde as impressoras já estão certificadas, o método também já está e a própria *part* também já está, ou seja o próprio componente, que impacto é que acha que vai ter a nível de planeamento da manutenção, a nível de gestão e a nível da operação da aeronave.

2 - Que impacto uma vez a peça já produzida, e vamos imaginar que já tinha sido feito todo o processo de certificação e tinha sido aceite?

1 - Exatamente.

2 - Pronto, que impacto é que isto vai ter na manutenção e na instalação da aeronave. Se a peça cumprir as mesmas normas das outras peças e componentes, se forAMaceites como compliances, não vejo que vá alterar nada. A única coisa, vamos imaginar que se faz um componente igual ao outro, e as mesmas bases de certificação forem cumpridas, se o componente for praticamente igual, se as autoridades ou se as entidades certificadoras o aceitam como tal…

1 - Olhando à parte da certificação, é isso que o professor está a querer dizer certo?

2 - Sim porque isto na indústria aeronáutica, aquilo que se tem que ter em conta quando se está a instalar um componente ou se está a mexer numa ferramenta, embora as ferramentas sejam genéricas, continuo a ter ferramentas que só podem ser utilizadas para um determinado fim, a partir do momento que há uma agência ou uma entidade certificada que diga que aquele componente ou que aquela ferramenta está *compliant* e pode ser utilizada na indústria aeronáutica, acabas por ter luz verde para tudo aquilo que possas fazer.

1 - E tendo isso em conta, como é que ter uma impressora numa oficina influencia o dia a dia dos trabalhadores e de quem encomenda as peças?

2 - É como te digo, hipoteticamente falando depois de o processo ser aprovado, desde o momento em que chegas à impressora e tu imprimas dois, três ou quatro componentes, não tens problema nenhum de espera de peças, tudo aquilo que aqui é

feito é feito no próprio momento, ou seja o *downtime* do avião é praticamente zero. Mesmo que ele pare em linha um stop e numa transição entre um voo 1 e um voo 2, se for preciso mudar um componente e se tens esse componente disponível e o puderes imprimir, claro que sim, se for um processo aprovado e tudo aquilo esteja devidamente certificado, tu imprimes o componente e tu usas, não há problema maior nesse sentido porque já é um processo certificado e aprovado. Em termos de ação direta tens uma redução de custos também e tens uma redução do tempo.

1 - É mesmo isso que estou, à procura. Da sua opinião à cerca do impacto que vai ter nas empresas e nas vidas dos trabalhadores.

2 - Sim, isso seria o ideal, porque hoje em dia um dos problemas que existe, por exemplo na europa, quando queres uma peça de uma aeronave que não é de construção europeia, tens que estar à espera dois, três, quatro, sete dias ou mais dias, dependendo do stock que o fabricante tem. Hoje em dia grande parte da indústria aeronáutica europeia baseia-se no sentido de utilizar aviões da Airbus por dois sentidos: um porque há incentivos para que consumas o produto europeu, isto nas companhias europeias, outro também porque no fornecimento de componentes tu consegues uma disponibilidade muito mais rápida. Estás a falar de França e distribuição para o resto da europa, do que propriamente dito se é boeing e na distribuição, embora seja feita em mais do que um ponto, vamos imaginar o caso mais direto, tens que estar à espera que haja desalfandegamentos e transações e isso também dificulta muito a expedição da peça, agora o facto de teres uma impressora no local claro que resulta, há alguma falha ou uma avaria, vamos imprimir o componente e instalá-lo, num curto espaço de tempo faz-se o resto sem impacto na operação.

1 - E o professor há pouco estava a falar de manutenção não programada, porque é em linha, quero também saber a sua opinião do impacto em manutenção programada.

2 - Em manutenção programada também acaba por ser tudo o que seja componentes, qualquer manutenção ou melhor qualquer service center, qualquer companhia aérea quer duas coisas: antes demais que haja uma facilidade em termos de um acordo contratual entre as DOAs, uma tem que fornecer X e outra Y, uma das coisas que tem que estar contratualizada é quem é que vai fornecer os componentes a quem. Portanto

se o operador aéreo vai dar esta benesse ao service center ou então é o próprio operador aéreo que tem que fornecer os componentes ao service center, independentemente das questões contratuais que existem, a partir do momento que haja uma possibilidade que o service center ter uma impressão 3D vai beneficiar o operador aéreo porque no contrato porque vai dizer expressamente "não, já que vocês têm isso então tratam desta situação toda" e vai ajudar o próprio service center porque muitas das vezes primeiro que o operador aéreo arranje e forneça o componente isso às vezes pode levar dias e atrasar os trabalhos a decorrer do hangar, e quanto mais rápido um avião sair do hangar mais rápido entra outro, por isso acaba por otimizar não só o trabalho do operador como o próprio trabalho do service center

1 - Que pontos negativos ou pontos fracos vê na implementação desta tecnologia?

2 - Pontos negativos é o processo de certificação, vai ser um processo demoroso, complicado. Depois outro ponto é a aceitação, da parte dos operadores como dos service centres para instalar nas suas aeronaves e para instalar em outras aeronaves material impresso.

1 - E por parte dos fabricantes?

2 - Por parte dos fabricantes, obviamente que vão dificultar muito o processo de aprovação, vão sempre chegar perante as autoridades e provar que é quase impossível isto ser feito e a partir daí as autoridades criarem um conjunto de regras, desconheço o que deveriam ser mas provavelmente facilitar e continuar a haver um fornecimento ou qualquer peça que fosse impressa teria que ser sempre submetida a uma avaliação da parte do fabricante mas isso acabava por ser praticamente o mesmo… Pontos positivos: se isto fosse um processo fácil, redução de custo, dos *downtimes* quer de manutenção quer de operação, maximizar a operação e diminuir o tempo de paragem da aeronave, maximização dos custos, rapidez no fornecimento de peças e o facto de não haver necessidade de ter peças em stock que se podem desgastar com o tempo, nomeadamente equipamento que tenha tempo de vida limitado por ter borrachas ou por ter aquilo que for. Seria extremamente benéfico nesse sentido.

1 - E vê alguma solução para a questão dos fabricantes puxarem para um lado e as outras pessoas puxarem para outro? Ou seja, como podemos ajudar os fabricantes a aceitar esta tecnologia?

2 - Isto infelizmente a única forma que vejo aqui é dizeres a um fabricante que ele vai ganhar dinheiro, porque é a única forma que eu vejo que vai haver aceitação ou não.

1 - E como é que isso se faz?

2 - Tens que demonstrar que o facto de haver uma impressão 3D para eles pode significar milhões, porque aquilo que um fabricante de uma aeronave e de um componente faz, é provavelmente, porque eles não vão contruir exceto algumas exceções, mas vamos imaginar, montar uma bomba hidráulica, aquilo que vai haver é o fabricante X fez o design do componente e sabe o que vai la instalar mas vai ao mercado ver quem é que tem uma borracha com estas especificações, a empresa B, "olha empresa B quero comprar", há sempre ali uma interação entre várias empresas, se o fabricante puder com uma única peça, replicar ou recriar esta peça um milhão de vezes, para ele também é vantajoso, porque não tem que gastar dinheiro para fornecer o material a outros, ele pode também com um único componente recriar ele mesmo milhões e isto fará com que ele com uma impressão 3D não precise de uma linha de montagem como tem e um conjunto de equipamentos que podem ser dispendiosos, do ponto de vista deles também haverá muitas vantagens, mas terá que ser verificado por eles e que acaba por ser dispendioso para eles e benéfico, se virem isto e se for um processo certificado e aprovado claro que eles têm que cumprir o que para eles acaba por ser muito bom.

1 - E em termos de propriedade intelectual?

2 - Isso depois é uma questão de se conversar e de saber até que ponto é que eles têm que manter uma determinada licença durante um X de tempo e a partir daí pode ser replicado, é um pouco o que se passa com os medicamentos, o laboratório X cria um medicamento, mas depois a patente acaba dali a 5 anos, depois os laboratórios genéricos e isso pegam-no componente químico e fazem as cópias daquilo.

1 - As patentes são de 5 anos certo?

2 - Sim, agora tens componentes padrão que se usam há 60, 70 anos, mas cada vez mais a utilização de novos sistemas e novos componentes também faz com que agora tenhas muita coisa a ser feita.

1 - Sim, agora até há pessoas especializadas em navegar pelas pingas da chuva das patentes, ou seja para não se estar a pagar a patente fazem-se pequenas alterações aqui e ali, cria-se um componente muito parecido mas que já tem o nível de diferença suficiente para que não se tenha que pagar a patente.

2 - Sim mas isso acaba por ser e relacionado com outras questões legais que se podem chegar a acordos " tu disponibilizas isso e uns tanto por cento são dados à marca", isso acaba por ser uma solução legal, só que eles não vão deixar como é obvio, eles vão sempre querer que qualquer componente que seja replicado tenha um serial *number* tipo 3D001 ou 3D002, eles têm que ter uma base de dados com isso com registos onde está instalado e por cada instalação tem que se dar X.

1 - Isso até seria uma solução para o problema dos fabricantes, ou seja eles não têm custo rigorosamente nenhum ou seja a oficina ou o hangar é que compra o material, a impressora e os desenhos e depois o fabricante não faz nada, ou seja faz os desenhos uma vez, os outros produzem e o fabricante recebe uma percentagem.

2 - Sim, sim, sim.

1 - Acho que seria uma boa solução.

2 - Sim, é uma das coisas a ver e a ter em conta. Aquilo que me ocorre de uma forma rápida, sim.

1 - E de que forma esta tecnologia vai influenciar a evolução da manutenção?

2 - A manutenção tem estado a mudar desde há alguns anos para cá porque tem-se identificado cada vez mais uma adição de sistemas eletrónicos de sistemas e de automatismos que hoje em dia a própria manutenção e com a utilização de muitos sensores, praticamente o próprio avião quase que consegue comunicar e dizer "olha já chegou a altura de substituir este componente", portanto o próprio avião acaba por ter um sistema de registos e isso veio facilitar muito a forma como se faz manutenção, e hoje em dia continuamos a ter os mesmos sistemas eletromecânicos mas a organização

de sistemas de aviónicos e sistemas eletrónicos também têm revolucionado a forma como se vê hoje a manutenção, até se diz que a manutenção é um processo muito mais eletrónico do que propriamente técnico, porque hoje em dia os sistemas estão muito mais fiáveis, os novos materiais, tudo aquilo… A utilização da impressão 3D na manutenção e a evolução que isto poderia ter, sem dúvida que seria uma ajuda bastante preciosa, uma vez que os próprio sistemas da aeronave podiam muito bem comunicar com o sistema 3D via wi-fi ou via a forma que fosse, e ter uma base de dados programada pelo fabricante e quando fosse preciso imprimir algum componente as normas do fabricante estavam lá e era só replicar automaticamente na impressora, e criava uma imagem virtual ou seja o que fosse, essa parte não percebo muito bem, mas podia criar um modelo em computador e assim ser impressora, não sei se isso é possível ou não. As aeronaves podiam vir com uma base de dados interna, assim como se faz com o FMS, eram atualizadas de X em X tempo, e corrigiam um determinado numero de parâmetros, por exemplo por uma questão de fiabilidade o *part number* 3 até 2013 falhava muito então até há uma maior disponibilidade do *part number* 4 ou 5 que vem corrigir o que o 3 tinha de errado. Até numa questão de fiabilidade pode ajudar muito, em vez de ser impressa só uma cópia pode haver já informação pré-programada daquilo que é preciso imprimir ou daquilo que é preciso recriar, aquilo passa para uma memória e a impressora cria o que está guardado na memória, não sei se isto é possível ou não.

1 - Nunca tinha pensado nisso, mas é super fazível.

2 - É uma das coisas que pode acontecer.

1 - Ok, não tenho mais perguntas para fazer em relação a este tema. Muito obrigado pela sua participação. Se quiser acrescentar alguma coisa sinta-se à vontade.

2 - Não tens que agradecer. A única coisa que tenho para dizer é muitos parabéns por essa ideia, que jamais me iria ocorrer nesse sentido, mas aquilo que te digo é que quando há 30 anos se falava em drones ninguém sabia o que é que era, ninguém via a utilidade prática, nem sequer se imaginava que um dia fosse possível transportar pessoas em drones e utilizar drones para combate a incêndios e outras coisas mais, portanto acaba por ser isso, segue em frente e a ideia agarra-a bem e defende-a o máximo que possas e quem sabe daqui a uns tempos aquilo que estivemos a falar seja

algo prático, é o que eu desejo. Que tudo corra bem e que consigas levar o teu projeto para a frente.

1 - Mais uma vez obrigado.

7.9. Protocol number 8

1 - Boa tarde, esta entrevista vai ser gravada de forma a mais tarde ser transcrita e utilizada exclusivamente no âmbito académico. Peço-lhe que me contextualize a sua experiência.

2 – Fiz o técnico, acabei nos anos 80, fiz mestrado em estruturas e fadiga no técnico também, fui dos primeiros a fazer mestrado no técnico, com 3 anos de formação, depois fiz investigação no técnico a nível de materiais nobres, como o titânio e o níquel, para a aeronave da força aérea que era o A7P, o Corsair. Estive como engenheiro da força aérea portuguesa cerca de 12 anos a trabalhar em Alfragide, na direção de engenharia da força aérea, depois trabalhei ainda na força aérea na área da qualidade, depois fui para a OGMA e fui responsável por toda a modificação dos F16 da força aérea, os 40 aviões que foram modificados na configuração ACU Prime LU, fui o responsável pelo programa. Saí da OGMA em 87 e vim para a AEROMEC onde sou responsável pela engenharia.

1 – Obrigado. Conhece a impressão 3D?

2 – Sim, aqui em termos de manutenção só podemos simular, não podemos estar a fabricar. Mas em termos de simular e estudar o problema e podermos preparar a solução, ou ajudar a preparar a solução penso que possa ser uma opção.

1 – E se as impressoras e as peças fossem certificadas pelo fabricante? Como acha que isso poderia vir a influenciar o vosso dia –a-dia?

2 – Mas a impressão na impressora?

1 – Já existem peças impressas em vários aviões, simplesmente ainda não está implementado na manutenção, ou seja, só na fabricação do avião. E aquilo que estou a estudar é na manutenção.

2 – OK, em termos de manutenção, muitas vezes o que nos faz atrasar é a falta de material, mas isso implica que nós sejamos uma empresa certificada para fabricar e qualificada para isso, se isso fosse possível em termos de manutenção era muito bom, logicamente. Porque permite-nos ganhar muito tempo, nós detetamos um problema aqui e temos que estar à espera de encomendar e o tempo de entrega, portanto naturalmente que era bom, porém não me parece que seja uma coisa muito viável porque ninguém tem capacidade de fazer tudo. Era bom, mas não me parece viável na manutenção.

1 – A longo prazo ou a médio prazo?

2 – Mesmo a longo prazo, não me parece viável porque por exemplo neste avião que está aqui, teve duzentas e sete anomalias, e muitas delas precisam de material, se eu admitisse que fazia tudo numa 3D que obrigava a desenhos, toda a modulação e tudo mais, ainda ficava mais difícil para entregar o avião.

1 – Mas imagine que o fabricante fornecia os desenhos.

2 – Claro que se estiver tudo preparado e for só clicar num botão é bom.

1 – Exatamente, é isso que estou à procura.

2 – Mas isso é o que nós desejamos em teoria, porque as peças têm patentes, as peças são um grande negócio para quem as vende e, portanto, não facilitam as coisas.

1 – Claro. Mas então qual é o processo quando detetam uma anomalia?

2 – Portanto uma anomalia é detetada na inspeção básica do avião, e por cada anomalia que é identificada é feita uma carta de não rotina, em que identifica qual foi o problema e tem que ser dada a ação corretiva. E a ação corretiva pode ser várias como: tratar, reparar ou substituir. Portanto assim identificada a necessidade de substituir é faz-se o pedido à logística que faz a aquisição no mercado ou vai-se ao stock se houver em stock. Basicamente é essa a envolvente.

1 – E imaginando que era tudo certificado e que era possível ter aqui uma impressora, como é que ter essa impressora ia influenciar essa logística?

2 – Em vez de encomendar fabricava-se, mas teria que ter a matéria prima toda porque o avião tem vários materiais, e tinha que ter a matéria prima toda em stock para conseguir fazer, e tinha que ter capacidade de tratamentos térmicos, pintura… Pintura é mais fácil mas pronto há toda uma infraestrutura que é necessária para manufaturar uma peça tinha que estar disponível aqui, o que significa que a empresa teria que ter uma dimensão em termos de resposta que muitas não têm. Mas pronto está aqui a falta, faz-se, mas isso depois cria grandes problemas de certificação, a nível de autoridade nacional, de fabricante, pronto há todo um conjunto em termos de aeronáutica que tem que se garantir e não posso fabricar uma coisa como fabrico para minha casa, portanto há toda uma legislação que tem que ser cumprida que não é tão linear ou fácil para empresas de menor dimensão. Se estivesse a pensar numa TAP que trabalha com um ou dois modelos de avião, ou numa OGMA que trabalha com vários modelos de avião, mas tem toda uma estrutura com vários *shops* que apoiam a manutenção, a coisa será mais fácil, mas mesmo essas não conseguem fazer isso.

1 – E pontos fracos da utilização desta nova tecnologia?

2 – Talvez pensar que faz tudo o que quer com ela.

1 – Em que sentido?

2 – Em termos de facilitismo. Sinceramente acho que a questão da impressão 3D é importante, que mais não seja para simular e antecipar dificuldades, simular no avião se a peça que é necessária, ou no caso de uma manufatura simular a ação corretiva. Só tem vantagens.

1 – Simular uma ação corretiva em que sentido?

2 – Queres projetar uma peça para um determinado sítio, simulá-la inicialmente numa matéria plástica ou num compósito qualquer antes de a mandar fabricar. Noutro dia tivemos uma reparação num outro avião em que tivemos que maquinar toda uma estrutura e se tivesse a impressão 3D podia projetá-la e colocá-la no avião e ver se bate tudo certo e depois mando manufaturar com o molde e corremos muito menos riscos do que eu corri por exemplo nesse trabalho de mandar fazer uma peça que custava uns milhares de euros com desenho específico e sem simular, apenas a tirar medidas. São coisas que são muito boas.

1 – Mas isso se calhar consegue ser aplicado agora certo?

2 – Sim, em termos de simulação e teste dá perfeitamente, em termos de execução para aplicação não é assim tão linear.

1 – Talvez a longo prazo. Então e com que frequência é que vocês encomendam peças?

2 – Muito grande, este avião em duzentas anomalias, no prazo de duas semanas, mais de trezentas ou quatrocentas situações. É muito grande. Não te sei dizer exatamente porque depende do ritmo de trabalho, mas é muito grande.

1 – E essas peças costumam chegar em mais ou menos quanto tempo?

2 – Se vierem AOG são quarenta e oito horas, se for normal e vier do stock admitimos cinco dias depende de onde vem.

1 – Qual o melhor e o pior cenário?

2 – O melhor cenário é de um dia para o outro, o pior cenário é dizerem-me que não havia em stock e demora três meses. E eu não consigo fazer, tenho que arranjar outra solução, que foi este caso.

1 – As GI's que falou têm sempre intervenções certo?

2 – Sim, sempre.

1 – E na manutenção não programada?

2 – Também necessitam de peças, pode sempre necessitar de peças.

1 – Ok, muito obrigado pela participação, se tiver algo a acrescentar sinta-se à vontade.

2 – Nada a acrescentar.

7.10. Protocol number 9

1 – Boa tarde, esta entrevista é informal e procura perceber a sua opinião em relação à implementação de 3DP, o que pode trazer de bom, o que traz de mau.

2 – A nível de quê?

1 – A nível de planeamento, de gestão e de operação da aeronave.

2 – Nós na aeronave, na parte de gestão, na parte de gestão a título de manutenção, não na parte de gestão de voo. Nós temos uns protocolos de inspeção e de manutenção da aeronave que são periódicas. Chamadas inspeções das cem horas, das duzentas ou grandes inspeções GI's. Isso é o que é estabelecido e coordenado por tempos pelo fabricante, cada fabricante dá determinados tempos para inspeção da aeronave ao fim tantas horas. Independentemente disso temos as inspeções das anomalias reportadas pelos pilotos. Sempre que há voos é natural que hajam anomalias nas aeronaves, quer mecânicas quer elétricas, essas avarias são normalmente derramadas no techlog, que é a caderneta técnica de bordo e essas anomalias são corrigidas dentro de determinado tempo, dependendo da gravidade da anomalia, as anomalias podem ser classificadas em A, B, C ou D. A: tem que ser resolvida no espaço de vinte e quatro horas, são graves ou importante para ser resolvida nesse espaço de tempo. Depois temos a B, peço desculpa a A é imediata e a B é em vinte e quatro horas. A categoria C é em dez dias e a D é cento e vinte dias, portanto este escalão de classificação das anomalias é que é estabelecido pelo fabricante e é o fabricante que diz que tem que ser resolvido nesse espaço de tempo. Isto é o que se apresenta na questão das anomalias que são derramadas no techlog. Depois de efetuada a correção da anomalia, é lançado o tipo de correção que é feito em função da anomalia que é apresentada de acordo com o fabricante, o manual do avião estabelece estes tempos, estabelece os conhecidos ATA-100, cada ATA corresponde a um determinado tipo de anomalia ou de inspeção. É um programa vasto vai desde por exemplo o 21 que é ar condicionado, 22 *autopilot*, 23 comunicações, 24 *eletrical power*, 25 forros e tudo o que é relacionado com cabine, vai até uma gama muito vasta. Pronto isso é estabelecido pelo fabricante e essas anomalias têm que ser corrigidas e quando feita a correção ou por substituição do componente ou por substituição da própria cablagem, essa parte informativa derramada no techlog a dizer o que é que foi feito de acordo com o ATA e aquilo que é estabelecido no manual de manutenção de acordo com a anomalia que foi resolvida.

1 – Então e como é que uma impressora 3D ia influenciar por exemplo uma anomalia A?

2 – Aqui não vejo…

1 – Tendo em conta que as peças e a própria impressora já estariam certificadas para imprimir as peças.

2 – Só fazendo um estudo da aplicabilidade de uma impressora 3D nesta área, não sei qual seria a sua aplicabilidade. O que é que requer uma inspeção? A inspeção de acordo com o Part-3 o chamado o IPC que nos mostra, os manuais das aeronaves é tudo on-line, nós vamos ao CMM, o manual do componente ou o IPC, aí temos as fotografias da localização dos componentes, qual é a função desse componente, depois temos o *part list* que nos dá, precisamos de mudar por exemplo um setor de navegação, vamos ver o *part list* qual é a referência dele e qual é o *part-number* dele e é substituído. Agora a necessidade de uma impressora 3D não sei porque a própria já é dada pelo próprio fabricante, entramos no fabricante e verificamos todos os manuais referentes à aeronave quer manutenção quer *part list*, como deve calcular um avião tem milhares de componentes, aqui nesta área não sei o que poderia interessar uma impressora 3D, talvez a nível de projetos, neste momento não estamos autorizados a fazer, mas no caso de uma empresa que possa fazer um estudo de um projeto para instalar determinado componente ou modificação de uma aeronave internamente quer de origem mecânica quer elétrica, isso obedece a um projeto e aí sim deva ser importante uma impressão 3D porque obriga a desenhos na sua totalidade, aqui sim vejo o interesse de uma impressora 3D. Só talvez nessa área, na parte de manutenção não vejo grande interesse.

1 – Nem para impressão de peças ou ferramentas?

2 - De peças não sei, é como digo para ver as peças o fabricante mostra on-line…

1 – Mas imagine que em vez de encomendar uma peça que vê on-line a pode imprimir aqui.

2 – Nós imprimir aquilo que está no manual…

1 – Sim, exatamente.

2 – Se houvesse em 3D, o que não é o caso…

1 – Sim já existem algumas peças…

2 – Posso mostrar-lhe aqui por exemplo, vamos aqui à parte da manutenção, publicações técnicas, e a gente tem tudo on-line.

1 – Certo, mas tendo duas opções: ou imprime aqui ou encomenda ao fabricante… por exemplo essa peça que me está a mostrar….

2 – Então íamos ao IPC ver que é um *bolt*… O que é que para aqui serviria a impressora 3D…

1 – Então percebia que precisava dessa tal porca, imprimia a porca em vez de ir encomendar ao fabricante. Tudo o que seja metálico, plástico ou compósito pode ser impresso.

2 – Fazia uma porca no seu todo a 3 dimensões?

1 – Exato.

2 – Sim é realmente uma opção, não sei se não ficara um bocado dispendioso.

1 – Não sei, o que é que acha mais dispendioso, ter aqui uma impressora ou estar sempre a encomendar peças? Com alfândega, com transporte…

2 – Pois, mas imprimir as peças sob o próprio fabricante?

1 – Sim, sempre.

2 – Tínhamos que ter autorização do fabricante, como deve calcular qualquer componente que entra numa aeronave tem que ter um documento que é um certificado de origem, esse certificado de origem é um FORM-1, que tem o seu certificado de origem e diz que é um componente que está apto a entrar numa aeronave, qualquer componente tem que ter sempre um FORM-1 para garantir a sua origem e o seu bom funcionamento. Mas via mais isso como projeto de instalação. Determinados projetos e componente que aparece a fotografia, mas não conseguimos identificar claramente, se calhar aí tem mais aplicabilidade porque não estou a ver em particular a Bombardier a autorizar-nos a fabricar peças.

1 – Pois eles perdem algum dinheiro com isso…

2 – Pois perdem o valor, porque uma porca aeronáutica ou um parafuso aeronáutico não é o mesmo preço de quando vamos aí ao mercado, tudo o que é aeronáutico é caro pela sua garantia, trabalho, material que é utilizado, como calcula uma aeronave tem

que ter tudo em condições para garantir a sua segurança. Porque nós e qualquer um em aeronáutica, zela pela segurança de quem lá vai.

1 – Sim, acima de tudo.

2 – E isso é importante. Quer isso quer manufaturar um vidro, estou a falar nisto porque a própria Bombardier não fabrica os aviões, a Bombardier monta aviões. Todos os componentes são-lhes fornecidos por fabricantes. A Bombardier não fabrica portas, parafusos, nem porcas nem fios. Mas tem fornecedores específicos para aqueles componentes e devidamente certificados.

1 – Já tenho muita informação para a minha tese, muito obrigado.

2 – De nada, só dei o exemplo daquilo que nós trabalhamos aqui.

1 – Muito obrigado. Queria só pedir-lhe que me contasse um pouco da sua experiencia e percurso.

2 – A minha experiência aeronáutica são 52 anos. Comecei a trabalhar depois da Força Aérea na parte de aviões, depois fui para as linhas aéreas de Moçambique para aviónicos que na altura era rádio, eletricidade e instrumentos como na TAP, entretanto já tinha feito o curso, além do curso industrial tinha feito um curso técnico na escola militar de eletromecânica de Paço de Arcos, aí fiz 8/9 meses de formação rádio/radar, depois fui para fora para a parte militar, fui para a Guiné, depois para Moçambique e depois fui convidado para ir para as linhas aéreas de Moçambique que na altura da ETA e pronto a minha formação foi toda aí, comecei por fazer o curso do Fokker F27, do Boeing 737 que foi feito em Seattle, depois vim fazer o curso do Boeing 707 à TAP, do 747 também na TAP, pronto e depois continuei. Depois vim para Portugal e ingressei na TAP, depois saí e vim para outras empresas como Aerocondor que já não existe, fiz a formação do Caravan2, um avião bi-motor, depois foi fazer cursos aqui, fiz o Learjet 40 e 45 da Bombardier, fiz o Challenger 300 também da Bombardier, fiz o curso do 1900 que é um avião turbo-hélice, o Kingair que também é um avião turbo-hélice, o Citation 750, Citation 10, pronto e a minha foi toda assim. Muitos aviões, muitos cursos, pronto e minha área é aviónica, tudo o que seja parte elétrica e eletrónica, hoje em dia não há nada na aeronave que não seja comandado eletronicamente, até os motores, evoluiu

muito desde os tempos em que comecei no mundo da aeronáutica. Comecei na parte militar em 64 e foi sempre…

1 – Muito obrigado pela participação.

7.11. Protocol number 10

1 - Boa tarde, já está a ser gravado, esta entrevista é só para a minha tese, não vai ser utilizada noutro lado, portanto é anónima e a sua entidade não vai ser revelada. Pedia só que me enquadrasse um bocado na sua experiência até agora

2 - Enquadrasse a minha experiência?

1 - Sim. Quais é que foram os seus cargos até agora…?

2 - Então, tenho cerca de 25 anos de aeronáutica, mais 5 anos de indústria automóvel. Comecei, no início da carreira, como gestor de fornecedores. Depois passei para cargos de liderança onde tive experiências na área de *procurement* e logística. A primeira fase, há volta de 18/20 anos na indústria aeronáutica, depois 5 anos na indústria automóvel, depois retornei outra vez à indústria aeronáutica.

1 - E neste momento, que cargo é que exerce?

2 - Responsável de compras e logística.

1 - Na manutenção de um avião, com que frequência é que se encomendam peças?

2 - Com que frequência, na manutenção de um avião?

1 - Sim, quer seja ela programada ou não programada.

2 - A frequência é constante, portanto, na manutenção programada nós temos diversas ferramentas que permitem a área de planeamento. Existem diversas ferramentas nas organizações em que a área de planeamento de materiais tem que identificar as necessidades quer olhando para os consumos históricos, quer com base de previsões futuras para fazer reabastecimento, e isto é, de algum modo utilizarmos a SC com planeamento e depois na manutenção, quer de linha quer de base nos *findings*, mas os

findings depois são diversas situações que surgem e nós temos que ir à procura de soluções no mercado.

1 - Ok, e está familiarizado com a impressão 3D?

2 - Sim, com o conceito de impressão 3D sim. Conheço isso da indústria automóvel, neste momento esse conceito de impressão 3D não se aplica na indústria que nós temos em Portugal até porque, mais tarde acho que sim, mas tem de ser sempre com uma certificação dos OEM's e, portanto, o processo de certificação é que é complexo. A produção 3D na indústria automóvel já existe há algum tempo e faz parte do processo de manutenção de modo extremamente fluido e simples.

1 - Ok, e na indústria automóvel como é que se processa a parte da impressão 3D? O desenho é fornecido pelo fabricante? Como é que isso se processa?

2 - Pode ser feito através de engenharia reversa, empresas que tenham capacidade para isso, e isso aí será no fundo peças alternativas, como pode ser, por exemplo, os próprios distribuidores autorizados ou reparadores autorizados, pelo fabricante que têm acesso aos desenhos e depois com esse desenho fazem o…. No fundo conseguem através do desenho, passar para alguns programas que existem, desde CATIASH, SOLIDWORKS e outros programas existentes em que é impresso diretamente na máquina de 3D.

1 - Ok e tendo isso em conta, num futuro em que as impressoras e os materiais e as peças seriam todas elas certificadas, como é que acha que isso iria influenciar a SC, a própria manutenção e a operação do avião?

2 - Vamos ver, eu acho que, por exemplo neste momento, principalmente a escala de produção consegue-se níveis de preços que vão ser extremamente difíceis em termos de produção 3D ou impressão 3D, a única coisa que a impressão 3D nos traz, a vantagem que traz, é por exemplo, uma empresa que possa ter uma base de manutenção próxima da operação e em caso a caso ir utilizando, mas existem diversos vetores que têm que ser analisados: o tempo de entrega, a complexidade da peça, porque a peça de impressão 3D é sempre mais cara, muito mais cara.

1 - Ok, portanto essa é uma das suas preocupações em relação à impressão 3D, o custo.

2 - A impressão 3D mete-se aí por uma questão que é a disponibilidade. Só em situações em que a cadeia de abastecimento tem dificuldade em abastecer é que a impressão 3D se vai sobrepor. Estou a dizer em termos, em tese e não estou a falar em casos específicos depois os casos específicos têm de ser analisados caso a caso. A impressão 3D não vai ser uma panaceia para a cadeia de abastecimento, pelo menos no momento em que ela está… mais tarde não sei. Mas no momento e no estado de evolução que a impressão 3D tem não estou a ver… porque depois, no fundo, se nós começarmos a utilizar a impressão 3D para massificar a produção, deixa de ser impressão 3D e os preços não são… portanto a impressão 3D vai ser utilizada caso a caso, situações urgentes e necessárias mas sei que é uma solução mas não é uma panaceia para todos os problemas da cadeia de abastecimento.

1 - Ok, e de que forma é que acha que, no futuro, assumindo que vai ser implementado, de que forma é que acha que a impressão 3D vai afetar a cadeia de abastecimento?

2 - São situações complementares. Portanto a cadeia de abastecimento vai ter de existir porque a produção massificada, enquanto ela existir tem um preço e tem uma disponibilidade que é extremamente distinta. A produção 3D, quem conhecer o conceito de produção 3D, se tiver um processo de engenharia reverso…no fundo pegar numa peça, transformar essa peça num desenho e depois do desenho passar isso para uma impressora… o *time consuming* e os recursos envolvidos nisso são acentuados e isso não vai ser uma solução para todas as empresas… vão ser situações esporádicas, específicas, muito bem identificadas, senão depois nós iríamos passar para uma situação em que iria tentar massificar-se a produção 3D nas organizações, portanto… eu acho que nós temos que dar ainda diversos passos e as próprias organizações têm que dar diversos passos até chegar a situações em que existem regras e definições próprias para o conceito de produção de 3D no fundo, porque num processo de manutenção… quando estamos a falar de impressão 3D estamos a falar na parte de plásticos, não estamos a falar na parte de compósitos, porque se nós formos, por exemplo, pra a injeção de metal, não está desenvolvido ainda, existe mas não está desenvolvido ainda a esse nível, penso que poderá vir a desenvolver-se; mas há aqui ainda uma série de situações que têm ainda de ir afazer um caminho, os processos têm de ir amadurecendo.

1 - Portanto, atualmente a utilização desta tecnologia seria mais no âmbito de projetos e, digamos, de tentativa e erro de manutenção específica, é isso?

2 - Projetos... Sim nalguns casos se a empresa tiver depois capacidades para certificar as peças, se as empresas não tiverem capacidades para certificar as peças ficam com a peça feita sem estar certificada e na indústria aeronáutica as peças precisam de certificação.

1 - Muito obrigado pela participação, se tiver alguma coisa a acrescentar sinta-se à vontade.