



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP**  
**ESCOLA DE MINAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**



**PAULO VITOR OLIVEIRA BARBOSA**

**DESAFIOS DAS PEQUENAS EMPRESAS PARA A INCLUSÃO DA  
MANUFATURA ADITIVA NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0.**

**OURO PRETO - MG**  
**2019**

**PAULO VITOR OLIVEIRA BARBOSA**

**pv.oliveirabarbosa@gmail.com**

**DESAFIOS DAS PEQUENAS EMPRESAS PARA A INCLUSÃO DA  
MANUFATURA ADITIVA NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0.**

Monografia apresentada ao Curso de  
Graduação de Engenharia de Produção  
da Universidade Federal de Ouro Preto  
como requisito para a obtenção do  
título de Engenheiro de Produção.

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

B238d Barbosa, Paulo Vitor Oliveira .

Desafios das pequenas empresas para a inclusão da manufatura aditiva no contexto da indústria 4.0. [manuscrito] / Paulo Vitor Oliveira Barbosa. - 2019.

73 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientadora: Profa. Dra. Irce Fernandes Gomes Guimarães .

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Produção .

1. Indústria 4.0. 2. Manufatura Aditiva. 3. Impressão 3D. 4. Micro-empresa. I. Guimarães , Irce Fernandes Gomes. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621.7

**Professora orientadora:** Prof<sup>ª</sup>. Dra Irce Fernandes Gomes Guimarães

**OURO PRETO – MG  
2019**



## MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas

Departamento Engenharia de Produção, Administração e Economia

### ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA DO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Aos 13 dias do mês de dezembro de 2019, às 10:30hs, no prédio da Escola de Minas – Campus Morro do Cruzeiro – UFOP, foi realizada a apresentação de Monografia do aluno Paulo Vitor Oliveira Barbo, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores: Prof<sup>o</sup>. Irce Fernandes Gomes Guimarães, Prof. Davi das Chagas Neves, Prof. Aloisio de Castro Gomes Junior. O aluno apresentou a monografia intitulada: **“DESAFIOS DAS PEQUENAS EMPRESAS PARA A INCLUSÃO DA MANUFATURA ADITIVA NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0”**. A comissão examinadora deliberou, por unanimidade, pela aprovação do candidato, concedendo-lhe o prazo de 15 dias para incorporação das alterações sugeridas no texto final. Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da comissão examinadora e pelo aluno.

Ouro Preto, 13 de dezembro de 2019.

Prof<sup>o</sup>. Irce Fernandes Gomes Guimarães

Professora Orientadora/ Presidente – UFOP/DEPRO

Prof. Davi das Chagas Neves

Professor convidado – UFOP/DEPRO

Prof. Aloisio de Castro Gomes Junior

Professor convidado – UFOP/DEPRO

Paulo Vitor Oliveira Barbo

Aluno - UFOP/DEPRO

Dedico este trabalho à minha família,  
Aureo, Regina e Roberta, amo vocês.

## AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus, por guiar meus passos em minha trajetória mundana.

Minha família, Aureo, Regina e Roberta por nunca medirem esforços para que eu alcançasse meus objetivos, sempre me apoiando nas minhas decisões.

Às pessoas que conheci em Ouro Preto e que de alguma forma me foram essenciais para meu sucesso acadêmico e profissional, em especial Raissa, Tabuada e a todos os professores da UFOP.

À cidade de Ouro Preto, lugar fantástico onde vivi experiências inimagináveis, que guardarei com muito carinho para o resto da vida.

Às grandes amizades que aqui fiz, em especial, o eterno 13.2, jamais serão esquecidos.

Por fim, minha segunda casa eternizada, a república Baviera! “Quantas saudades daqueles tempos que não voltam mais...”

## RESUMO

A evolução histórica da indústria sofreu muitas transformações desde a manufatura tradicional. Muitos itens eram produzidos artesanalmente, passando pelo surgimento de novas fontes energéticas, desenvolvimento de produção em escala até o conceito de indústria 4.0. Neste conceito tecnologia, produção, comunicação e tempo são variáveis integradas. Destaca-se como um dos pilares da indústria 4.0 a manufatura aditiva, hoje também conhecida como indústria de impressão 3D, que já estão presentes no contexto de pequenas à grandes empresas. Diante do surgimento de uma série de micro e pequenas empresas voltadas para esse ramo, e com o rápido avanço da intersectorialidade de bens e materiais, esta pesquisa pretende elencar os possíveis desafios a serem enfrentados por fornecedores de pequeno porte deste tipo de serviço. Para tal, será apresentada uma revisão bibliográfica acerca da importância da manufatura aditiva no contexto da indústria 4.0, acrescida de um estudo de caso usando uma pequena empresa como objeto de estudo. Dessa forma, além da revisão dos principais conceitos relativos ao tema, levantar-se-á sua aplicabilidade no exemplo do estudo de caso, comparando-se o modelo com as principais evoluções que aconteceram neste setor e a avaliação da funcionalidade da indústria 4.0 no exemplo estudado. Ao final do estudo são apresentadas diretrizes para auxiliar as pequenas e médias empresas no desenvolvimento da atividade com a manufatura aditiva.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0, Manufatura Aditiva, Impressão 3D, Microempresa, Pequena Empresa.



## ABSTRACT

The historical evolution of the industry has undergone many transformations since traditional manufacturing. Many items were produced by hand, from the emergence of new energy sources, development of scale production to the concept of industry 4.0. In this concept technology, production, communication and time are integrated variables. One of the pillars of industry 4.0 stands out as additive manufacturing, now also known as the 3D printing industry, which are already present in the context of small to large companies. Given the emergence of a series of micro and small companies focused on this field, and with the rapid advance of the intersectoriality of goods and materials, this research intends to list the possible challenges to be faced by small suppliers of this type of service. To this end, a literature review will be presented on the importance of additive manufacturing in the context of industry 4.0, plus a case study using a small company as the object of study. Thus, in addition to the review of the main concepts related to the theme, its applicability will be raised in the case study example, comparing the model with the main developments that occurred in this sector and the evaluation of industry 4.0 functionality in the example studied. At the end of the study, guidelines are presented to assist small and medium enterprises in the development of the activity.

**Keywords:** Industry 4.0, Additive Manufacturing, 3D Printing, Micro business, Small Business.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Nove Tendências para a Indústria 4.0 .....                                    | 6  |
| Figura 2: Produtividade para diferentes setores .....                                   | 10 |
| Figura 3: Desenvolvimento absoluto de empregos.....                                     | 11 |
| Figura 4: Nível de implementação da tecnologia .....                                    | 12 |
| Figura 5: Diferentes usos para a impressão 3D .....                                     | 15 |
| Figura 6: Diferentes tipos de impressoras 3D .....                                      | 15 |
| Figura 7: Resistência vertical e horizontal em diferentes tipos de impressoras 3D ..... | 16 |
| Figura 8: Impressora 3D tipo FDM .....  | 18 |
| Figura 9: Custo para o uso da manufatura aditiva .....                                  | 24 |
| Figura 10: Relação de tempo de produção entre impressão 3D e injeção de plástico....    | 24 |
| Figura 11: Uso dos filamentos.....  | 31 |
| Figura 12: Custo por quilo de filamento.....  | 31 |
| Figura 13: Serviços prestados.....  | 32 |
| Figura 14: Relação da receita .....   | 33 |
| Figura 15: Fluxograma do processo realizado pela empresa.....                           | 36 |
| Figura 16: Renderização de todo o projeto, peças separadas .....                        | 40 |
| Figura 17: Renderização de todo o projeto.....  | 40 |
| Figura 18: Reparação de erros .....   | 41 |
| Figura 19: Parâmetros de impressão.....   | 42 |
| Figura 20: Parâmetros de impressão na prática .....                                     | 44 |
| Figura 21: Dados da impressão retirados do <i>software Simplify3D</i> .....             | 45 |
| Figura 22: Quantidade total de <i>layers</i> para o parâmetro padrão.....               | 45 |
| Figura 23: Dados da impressão retirados do <i>software Simplify3D</i> .....             | 46 |
| Figura 24: Quantidade total de <i>layers</i> para o parâmetro otimizado .....           | 46 |
| Figura 25: Parâmetros de impressão definidos .....                                      | 48 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 26: Acabamento da peça .....           | 49 |
| Figura 27: Diretrizes .....                   | 51 |
| Figura 28: Exemplo de outros trabalhos .....  | 57 |
| Figura 29: Exemplos de outros trabalhos ..... | 58 |
| Figura 30: Exemplos de outros trabalhos ..... | 59 |
| Figura 31: Exemplos de outros trabalhos ..... | 60 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1: Tipos de pesquisa e classificação para este estudo ..... | 28 |
| Tabela 2: Parâmetros padrão .....                                  | 45 |
| Tabela 3: Parâmetros otimizados .....                              | 46 |
| Tabela 4: Resultados da otimização .....                           | 47 |
| Tabela 5: Custo energético e custo do material .....               | 47 |
| Tabela 6: Vantagens e desvantagens da manufatura aditiva .....     | 52 |

## SUMÁRIO

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1      | Considerações Iniciais .....   | 1         |
| 1.2      | Objetivos.....   | 2         |
| 1.2.1    | <b>Objetivo Geral.....</b>   | <b>2</b>  |
| 1.2.2    | <b>Objetivos Específicos .....</b>   | <b>2</b>  |
| 1.3      | Hipóteses e relevância do estudo .....   | 3         |
| 1.3.1.   | <b>Hipóteses em relação a indústria 4.0.....</b>   | <b>3</b>  |
| 1.3.2    | <b>Hipóteses em relação a Manufatura Aditiva.....</b>  | <b>4</b>  |
| 1.3.3    | <b>Hipóteses em relação ao mercado para as pequenas e médias empresas na indústria 4.0 .....</b> | <b>4</b>  |
| 1.3.     | Organização da monografia.....   | 5         |
| <b>2</b> | <b>PRINCÍPIOS GERAIS DA MANUFATURA ADITIVA NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0.....</b>                 | <b>6</b>  |
| 2.1      | Princípios gerais da indústria 4.0.....  | 6         |
| 2.2      | A indústria 4.0 no Brasil.....   | 13        |
| 2.2.1    | <b>Manufatura aditiva.....</b>   | <b>14</b> |
| 2.2.2    | <b><i>Fused Deposition Modeling (FDM)</i>.....</b>   | <b>17</b> |
| 2.2.3    | <b>Aplicações para a manufatura aditiva.....</b>   | <b>18</b> |
| 2.2.4    | <b>Vantagens e desvantagens da impressão 3D .....</b>  | <b>21</b> |
| 2.2.5    | <b>Mudanças da tecnologia 3D na Indústria.....</b>   | <b>25</b> |
| <b>3</b> | <b>METODOLOGIA.....</b>  | <b>27</b> |
| 3.1      | Classificação da pesquisa .....  | 27        |
| 3.2      | Instrumentos de coleta de dados .....  | 28        |
| <b>4</b> | <b>O CASO DE UMA MICRO EMPRESA DE MODELAGEM EM 3D.....</b>                                       | <b>29</b> |
| 4.1      | Materiais utilizados.....  | 30        |
| 4.2      | Fornecedor de material .....   | 31        |
| 4.3      | Áreas de atuação e clientes .....  | 32        |
| 4.4      | Tipo de impressoras 3D utilizado pela Cubo Maker. ....   | 33        |
| 4.5      | <i>Softwares</i> utilizados pela Cubo Maker .....  | 34        |

|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| 4.6          | Manutenção das impressoras 3D .....   | 35        |
| 4.7          | Processos da empresa Cubo Maker .....   | 35        |
| 4.8          | Vantagens e desvantagens da aquisição de impressoras 3D para a empresa..                                | 37        |
| <b>4.8.1</b> | <b>Vantagens .....</b>  | <b>37</b> |
| <b>4.8.2</b> | <b>Desvantagens.....</b>  | <b>37</b> |
| <b>5</b>     | <b> APLICAÇÃO DA MANUFATURA 3D EM UM PROJETO DE BARRAGEM<br/>E PRIMITIVO DA EMPRESA CUBO MAKER.....</b> | <b>39</b> |
| 5.1          | Dimensionamento .....   | 39        |
| 5.2          | Renderização .....  | 39        |
| 5.3          | Reparação dos arquivos e definição dos parâmetros de impressão. ....                                    | 41        |
| 5.4          | Parâmetros de impressão .....   | 42        |
| <b>5.4.1</b> | <b>Análise dos parâmetros de impressão e otimização do processo.....</b>                                | <b>44</b> |
| <b>5.4.2</b> | <b>Considerações do processo de otimização .....</b>  | <b>47</b> |
| 5.5          | Impressão 3D .....  | 48        |
| 5.6          | Acabamento .....  | 48        |
| <b>6</b>     | <b> DIRETRIZES.....</b>   | <b>50</b> |
| <b>7</b>     | <b> CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>   | <b>54</b> |
|              | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>   | <b>55</b> |
|              | <b>APÊNDICE A – EXEMPLO DE PREMIAÇÃO 1.....</b>   | <b>57</b> |
|              | <b>APÊNDICE B – EXEMPLO DE PREMIAÇÃO 2.....</b>   | <b>58</b> |
|              | <b>APÊNDICE C – EXEMPLO DE UMA PROTEÇÃO DE UMA CVT.....</b>   | <b>59</b> |
|              | <b>APÊNDICE D – EXEMPLO DO INTERIOR DE UMA DAS MÁQUINAS.....</b>  | <b>60</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo é apresentada a contextualização deste estudo. Assim, apresenta-se uma introdução sobre o tema que se pretende desenvolver, os objetivos, hipóteses, relevância e a estruturação do estudo.

### 1.1 Considerações Iniciais

A evolução da tecnologia de produção tem ocorrido exponencialmente desde a era a primeira Revolução Industrial, no século XVIII. É possível acompanhar tal evolução por meio de um breve histórico.

A primeira Revolução Industrial do século XVIII ficou marcada pela substituição da força de trabalho humana para a produção de manufatura por máquinas que utilizavam outro método de energia, o vapor. Já no século XIX, a descoberta da eletricidade trouxe outras transformações no contexto industrial e com isso foi marcada pela produção de linhas de montagem a partir de Henry Ford. Além de nova fonte de energia foi possível ampliar a escala de produção, e, reduzir o tempo de produção (*lead time*).

Mais adiante, no século XX o grande marco foi a tecnologia de produção pela automação com o uso de controles e computadores que podiam ser programados. Isto culminou no surgimento dos robôs pelos quais foi possível observar maior celeridade e agilidade na produção (OLIVEIRA, 2004).

Atualmente, a quarta revolução industrial já é uma realidade em muitos países, que, não diz respeito somente a sistemas e máquinas inteligentes e conectadas. A grande revolução, antes não vista, é a fusão das mais novas tecnologias e a interação entre domínios físicos, digitais e biológicos (SCHWAB, 2019). Tecnicamente, a informação, a comunicação e a indústria vêm evoluindo sinergicamente, o que permite a expansão do modo de produção para além do local de trabalho por meio de conexões em redes e em tempo real – conhecida como indústria 4.0 (I. 4.0). Indicadores que sinalizam a inserção da I4.0 estão em alguns componentes tais como, *big data*, robôs autônomos, simulação, realidade aumentada, integração de sistemas, manufatura aditiva, *cybersegurança*, nuvem, e *internet* industrial (ALMADA-LOBO, 2015; KUSIAK, 2007).

Essa inserção na indústria permite que empresas iniciantes possam se aventurar neste novo cenário antes não atingível. Este fator traz novos rumos para o meio industrial principalmente no tocante a manufatura aditiva. Assim, é fundamental que todo contexto industrial, principalmente as pequenas e médias empresas, se preparem para atender as demandas futuras.

Segundo Corner *et al* (2014) a Manufatura Aditiva é uma desconstrução da manufatura tradicional, feita por moldes para a manufatura rápida de produtos por meio do uso de computadores, sistemas de *design* digital (CAD) e *softwares* que convertem os arquivos 3D em códigos a serem lidos pela impressora. Tais máquinas, aceleraram, dinamizaram e permitem a customização rápida de produtos, fazendo com que a produção possa variar em volume, quantidade e material.

Hoje em dia, novas pequenas empresas estão surgindo utilizando a manufatura aditiva como principal foco. A liberação de *Know How* e *softwares* por parte dos criadores, ação comumente conhecida como *Open Source*, democratizou o mercado, possibilitando que vários pequenos empresários pudessem se aventurar na nova tecnologia.

Diante disto, é fundamental que estes pequenos empresários saibam como antecipar e prever as futuras demandas do mercado para este setor, bem como novas maneiras de agregar maiores conteúdos de outros pilares da indústria 4.0. Mediante a este fato, este estudo se norteará pela seguinte questão:

## **Quais são os principais desafios que as micro e pequenas empresas de manufatura aditiva poderão vivenciar com a formalização da indústria 4.0?**

### **1.2 Objetivos**

#### **1.2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste estudo é apresentar diretrizes para o planejamento de serviços em manufatura aditiva para micro e pequeno empresas.

#### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Para alcançar o objetivo geral proposto neste estudo, foram definidos os seguintes objetivos específicos:



- Realizar revisão bibliográfica sobre a manufatura aditiva;
- Listar os principais desafios na indústria de impressão 3D para trabalhos ofertados por micro e pequenas empresas;
- Apresentar um estudo de caso no cenário da manufatura aditiva;
- Construir um paralelo histórico operacional sobre a manufatura de produtos ao longo do tempo.

### **1.3 Hipóteses e relevância do estudo**

O rápido progresso dos meios de comunicação e a integração com as novas formas de produção tornam o assunto da indústria 4.0 algo atual, relevante e desafiador, especialmente no mercado de microempresas de impressão 3D. Esse nicho se justifica uma vez que a manufatura aditiva vem se expandindo além das grandes indústrias através da disseminação dos métodos de produção e pesquisa via internet e autogestão de recursos. Neste sentido, dúvidas, hipóteses são apresentadas em muitos contextos industriais. Algumas delas são destacadas a seguir:

#### **1.3.1. Hipóteses em relação a indústria 4.0**

- A indústria 4.0 tem muito a oferecer para as empresas no atual cenário econômico mundial. Grande parte deste benefício, está se consolidando na Europa, China, principalmente na Alemanha. Lá, a terceira revolução industrial já é bastante utilizada por todos os segmentos econômicos, o que faz com que este país esteja à frente das principais economias mundiais;
- Alguns especialistas dizem que o Brasil ainda está na fase da terceira revolução industrial, a qual, o uso da automação na produção, tem uso extensivo. Estes especialistas, ainda dizem que para o país tentar recuperar boa parte desta inserção de tecnologia presente na indústria 4.0, seria necessários cerca de 100 anos;
- Este cenário nacional não é otimista, pois deixa o país frágil na corrida tecnológica. Além disto, grande parte do maquinário disponível em torno da indústria 4.0 é importado, o que dificulta o emprego do equipamento nas fábricas. Outro ponto negativo, é falta de informação e conhecimento, que dificulta o aprendizado;

- Diante de todas as revoluções industriais, a economia mundial sempre obteve excelentes resultados, por isso, vários especialistas apontam que o próximo crescimento econômico vertiginoso no mundo, será obtido através da indústria 4.0. Economias emergentes possuem a possibilidade de mudar suas perspectivas de forma relativamente rápida.

### **1.3.2 Hipóteses em relação a Manufatura Aditiva**

- A manufatura aditiva ainda enfrentará diversas adversidades ao longo de sua evolução. No Brasil, ela se desenvolveu de forma rápida para os tipos mais simples de impressoras 3D, e ainda está atrás de grandes potências como a Alemanha, quando se compara o setor para tipos de impressoras mais complexas, como as de impressão em metal;
- O ponto disruptivo nesta tecnologia, será a substituição por completo, do modelo tradicional de manufatura, por este. Isto se concretizará à medida que, informação, conhecimento e tecnologia atingirem um patamar em que se sustente as inovações presentes;
- Alguns pontos ainda prejudicam o uso da impressão 3D nos processos produtivos, entre eles, o custo alto de material e maquinário, elevado tempo de produção, falta de conhecimento na área e deficiência produtiva para grandes lotes de produtos;
- Porém, existem vários pontos positivos para a implementação da manufatura no processo produtivo, como a customização fácil, prototipagem rápida, impressão de geometrias complexas e dinamismo produtivo.

### **1.3.3 Hipóteses em relação ao mercado para as pequenas e médias empresas na indústria 4.0**

- A indústria 4.0 ainda está pouco presente nas pequenas e médias empresas no Brasil. Diante da crise econômica, muitas empresas não possuem capital suficiente para programar essa nova tecnologia nos seus processos produtivos;
- É fundamental observar que, o Brasil tem muito a evoluir na questão tecnológica. Por ser um país de exploração de produtos de base, o desenvolvimento de novas tecnologias é deixado de lado, o que faz com que

empresários de diferentes setores produtivos sintam dificuldades para evoluir seus meios de produção.

Com base em todas as hipóteses geradas para a elaboração deste estudo e nas dificuldades encontradas da inserção de manufatura aditiva pelas empresas, a relevância desta pesquisa está em divulgar as experiências por meio de uma análise de um caso real e estudo de materiais acerca do assunto em um caso real. Outra importância, está no tocante a melhorar o desempenho das atividades por meio de informações geradas em pesquisas da manufatura aditiva no contexto industrial.

### **1.3. Organização da monografia**

Este presente trabalho está dividido em 7 capítulos. No primeiro deles, a introdução ao tema, os objetivos, a relevância e as hipóteses são explicadas. No segundo capítulo, as referências bibliográficas surgem, com o intuito de examinar e levantar conceitos referentes a temas como, indústria 4.0, manufatura aditiva e impressão 3D. Já no terceiro capítulo desta monografia, é apresentada toda a metodologia discorrida no trabalho. Já no próximo capítulo, é feita a introdução ao estudo de caso deste trabalho, realizado na empresa Cubo Maker. Após discorrer sobre o tema, dá-se início, no capítulo cinco, a apresentação de um projeto feito pela empresa onde se utilizou a manufatura aditiva como forma de produção. No próximo capítulo, são traçadas várias diretrizes para a inclusão da manufatura aditiva em micro e pequenas empresas. No sétimo e último capítulo é discorrida a conclusão deste trabalho.

## 2 PRINCÍPIOS GERAIS DA MANUFATURA ADITIVA NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0

### 2.1 Princípios gerais da indústria 4.0

A Indústria 4.0, também chamada de quarta revolução industrial, é um conceito proposto recentemente e que, abrange as principais inovações tecnológicas em diferentes setores da indústria.

No contexto do uso deste novo panorama, muito se tem falado sobre quais são os principais desafios da I.4.0. Assim de acordo com Basl (2018), as mais significativas empresas de consultoria como *Gartner Group* (Gartner, 2016), *Boston Consulting Group*, *Price Waterhouse Coopers* (PWC, 2016) ou *Deloitte*, apresentaram suas tipologias do que seriam, para elas, as tendências e inclusões da indústria 4.0. Foram mencionadas majoritariamente as tendências destacadas na figura 1.

Figura 1: Nove Tendências para a Indústria 4.0  
Fonte: RÜßMANN *et al.* (2015)

Essas nove tendências são definidas por Rüßmann (2015) da seguinte forma:

- *Big data*: no contexto da indústria 4.0, a coleta e avaliação abrangente de dados de diversas fontes como, equipamentos, sistemas de produção e o gerenciamento de empresas e clientes, se tornará padrão para apoiar a tomada de decisão em tempo real dentro do ambiente fabril. Neste sentido, grandes quantidades de dados começaram a ser analisados recentemente no mundo da manufatura, economizando energia, otimizando a qualidade da produção e melhorando o serviço do equipamento. Como exemplo do *big data*, pode-se citar o Grupo Pão de Açúcar, que por meio da disponibilização de programas de recompensas para seus clientes dentro da sua rede de varejo conseguiu identificar os produtos preferidos de seus consumidores, o que possibilitou ao grupo, ofertar de forma personalizada estes produtos (“I” na figura 1);
- Robôs autônomos: fabricantes de diferentes partes do planeta já utilizam robôs autônomos para realizarem tarefas complexas há algum tempo, porém eles agora estão sendo usados para uma utilidade ainda maior. Estão se tornando mais autônomos, flexíveis e cooperativos. Eventualmente, eles

vão interagir e trabalhar com segurança lado a lado com os seres humanos, e até mesmo aprender com eles. Os robôs possuem custo menor e tem uma maior variedade de recursos atualmente na fabricação. Como exemplo, podem-se citar robôs autônomos encarregados de realizar a entrega de um pacote em algum endereço, coletando em tempo real informações como, condições de tráfego, pedestres, clima e área urbana (“A” na figura 1);

- Simulação: na fase de engenharia, as simulações em 3D de produtos, materiais e processos de produção já são usadas há algum tempo, porém, no futuro, estas serão mais amplamente usadas também nas plantas produtivas. Estas simulações aproveitarão dados em tempo real para espelhar o mundo físico em um mundo virtual, incluindo produtos, máquinas e humanos. Assim, o operador pode realizar testes prévios que otimizem as configurações da máquina para o próximo produto, tudo isso feito no ambiente virtual, o que diminui os tempos de configuração das máquinas e aumenta a qualidade. Como exemplo, pode-se citar a *Siemens*, que, em conjunto com um fornecedor alemão de máquinas e ferramentas, desenvolveram uma máquina virtual que pode simular a usinagem de peças usando dados da máquina física. Com isto, a empresa conseguiu diminuir o tempo de configuração atual em até 80% (“B” na figura 1);
- Sistemas de integração horizontais e verticais: os sistemas de tecnologia da informação (TI) atuais não estão totalmente integrados, de modo, que até nos departamentos de engenharia, produção e serviços, as empresas, os fornecedores e clientes ainda são pouco interligados. Isto também está presente quando relacionamos as funções da empresa até o nível do chão de fábrica. Com a indústria 4.0, empresas, departamentos, funções e capacidades produtivas se tornarão muito mais coesas. Redes universais de integração de dados entre empresas evoluíram e permitiram uma cadeia de valor realmente automatizada. Por exemplo, a *Dassault Systèmes* e a *BoostAeroSpace* lançaram uma plataforma de colaboração para a indústria aeroespacial europeia e a defesa da indústria. A plataforma, *AirDesign*, serve como um espaço de trabalho para a colaboração de projetos e fabricação em questão, e está disponível como um serviço do tipo *cloud* privada. Ela, gerencia a complexa tarefa de trocar dados de produtos e produção entre múltiplos parceiros (“C” na figura 1);

- *Internet das Coisas (IOT)*: atualmente, apenas alguns sensores e máquinas de certo fabricante, estão em rede e fazem uso da computação embarcada. Eles são tipicamente organizados em uma pirâmide de automação vertical na quais sensores e dispositivos de campo com inteligência limitada e controles autônomos, alimentam um sistema abrangente de controle no processo de fabricação. Porém, com a IOT, mais dispositivos serão enriquecidos com a computação incorporada e conectada ao sistema, utilizando tecnologias padrão. Isso permite que os dispositivos de campo possam comunicar e interagir entre si com controladores mais centralizados, conforme a necessidade. Também descentraliza a análise e a tomada de decisões, permitindo respostas em tempo real. A *Bosch Rexroth*, um fornecedor de sistemas de acionamento e controle, equipou uma instalação de produção de válvulas com um processo de produção semiautomático e descentralizado. Os produtos são identificados por códigos transmitidos em frequências de rádio, assim, estações de trabalho “sabem” quais etapas de fabricação devem ser executadas para cada produto e pode se adaptar para executar operações específicas (“D” na figura 1);
- *Cybersegurança*: muitas empresas ainda dependem de sistemas de gerenciamento e produção que sejam desconectados ou fechados. Com o aumento da conectividade e o uso de protocolos de comunicação padrão advindos com a indústria 4.0, a necessidade de proteger sistemas industriais críticos e linhas de fabricação de ameaças cibernéticas aumentaram dramaticamente. Como resultado, a comunicação confiável e segura, o gerenciamento sofisticado de identidades e acesso de máquinas e seus usuários é essencial para o bom funcionamento fabril. Em 2014, vários fornecedores de equipamentos industriais uniram forças com empresas de segurança cibernética por meio de parcerias ou aquisições (“E” na figura 1);
- *Cloud*: empresas já estão usando *softwares* baseados em nuvem para projetos e aplicações analíticas. Mas com a indústria 4.0, mais empresas relacionadas à produção exigirão o aumento do compartilhamento de dados entre sites dentro os limites da empresa. Ao mesmo tempo, o desempenho das tecnologias em nuvem melhorará, alcançando tempos de reação de

apenas alguns milissegundos. Como resultado, os dados e a funcionalidade das máquinas serão cada vez mais implantados na nuvem, permitindo mais serviços orientados por dados para sistemas de produção. Mesmo sistemas que monitoram e controlam processos, podem se tornar baseados na nuvem (“F” na figura 1);

- **Manufatura Aditiva:** as empresas apenas começaram a adotar a fabricação aditiva, como a impressão 3D, nos processos fabris, ela é utilizada principalmente para prototipar e produzir componentes individuais. Com a indústria 4.0, esse método de fabricação aditiva será amplamente utilizado para produzir pequenos lotes de produtos que oferecem vantagens de construção, customização e projetos complexos e leves. Sistemas descentralizados de fabricação aditiva de alto desempenho reduzirão as distâncias de transporte e estoque disponível. Por exemplo, empresas aeroespaciais já estão usando manufatura aditiva para aplicar em novos projetos que reduzem o peso da aeronave, diminuindo seus gastos com matérias-primas como o titânio (“G” na figura 1);
- **Realidade aumentada:** os sistemas baseados em realidade aumentada suportam uma variedade de serviços, como a seleção de peças em um armazém e envio de instruções de reparo em dispositivos móveis. Esses sistemas estão atualmente em seu estado inicial, mas no futuro as empresas farão uso muito mais amplo da realidade aumentada, fornecendo aos trabalhadores informações em tempo real para melhorar a tomada de decisão e os procedimentos adotados durante a execução de algum trabalho. Por exemplo, os trabalhadores podem receber instruções de reparo sobre como substituir uma peça específica ao mesmo tempo em que estão olhando para o sistema real que precisa de reparo. Esta informação pode ser exibida diretamente no campo de visão dos trabalhadores, usando dispositivos como óculos de realidade aumentada. Outra aplicação é o treinamento virtual. A *Siemens* desenvolveu um módulo de treinamento virtual de operador de fábrica para seu *software Comos*, que utiliza um ambiente 3D realista e baseado em dados transmitidos por óculos de realidade aumentada para treinar o pessoal da fábrica para lidar com emergências. Neste mundo virtual, os operadores podem aprender a interagir com as máquinas por meio de uma representação cibernética como

também alterar parâmetros e recuperar dados operacionais e instruções de manutenção (“H” na figura 1).

A indústria 4.0 traz consigo algumas transformações para o setor fabril. Para Rüßmann (2015), analisando como referência a Alemanha, a quarta revolução industrial trará quatro benefícios em diferentes áreas, dentre elas:

- **Produtividade:** durante os próximos cinco a dez anos, a indústria 4.0 será utilizada por cada vez mais empresas, acelerando a produtividade desse setor manufatureiro em 90 bilhões até 150 bilhões de euros. O ganho de produtividade, excluindo os custos de material, serão da ordem de 15 a 25 por cento. Com os custos de materiais, será possível atingir uma produtividade de 5 a 8 por cento, como mostrado na figura 2;

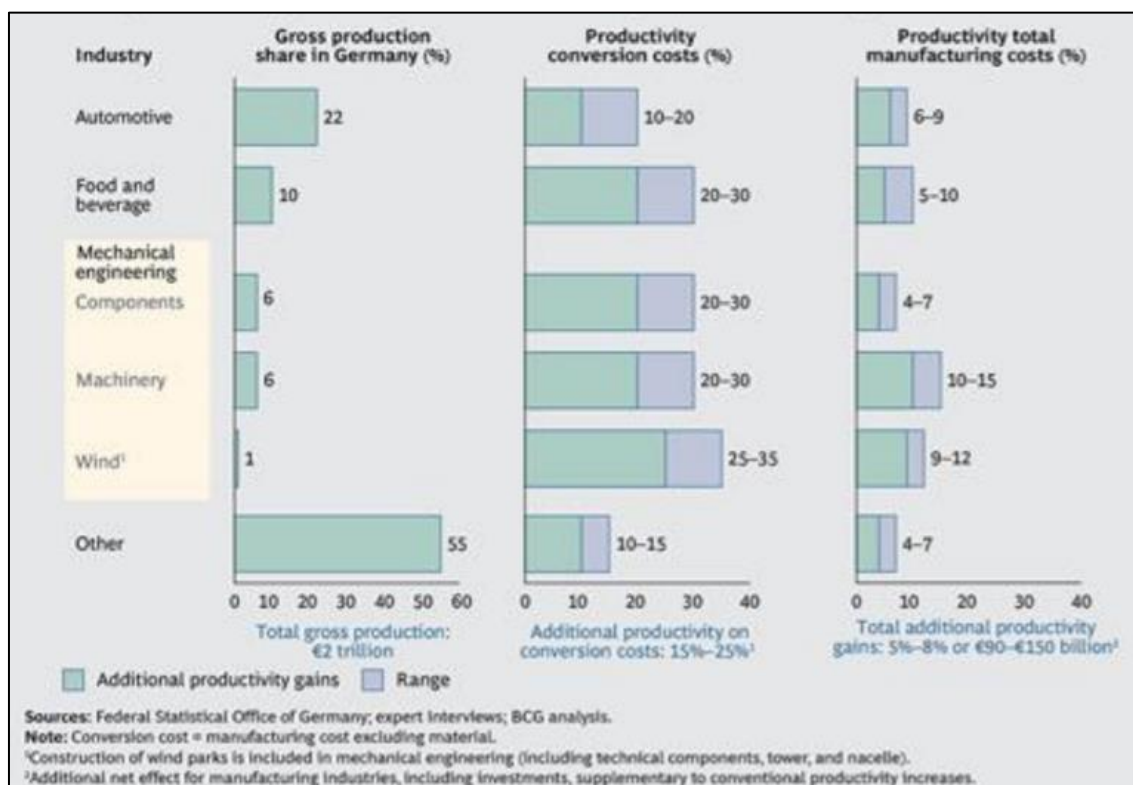


Figura 2: Produtividade para diferentes setores  
 Fonte: Rüßmann *et al* (2015)

- **Crescimento da receita:** a indústria 4.0 também leva a empresa, um aumento da receita. Indústrias demandam com o tempo, equipamentos mais aprimorados e novas aplicações de dados, da mesma maneira em que os consumidores demandam uma maior variedade de produtos customizados, assim, essa receita adicional crescerá 30 bilhões de euros por ano;



- Emprego: de acordo com as análises de dados, o impacto do crescimento da indústria 4.0 estimulará cerca de 6 % de empregos nos próximos dez anos, como mostrado na figura 3. A demanda por emprego na área da engenharia mecânica pode aumentar ainda mais, chegando até 10% durante o mesmo período. Porém, diferentes habilidades e conhecimentos serão necessários para esta nova fase;

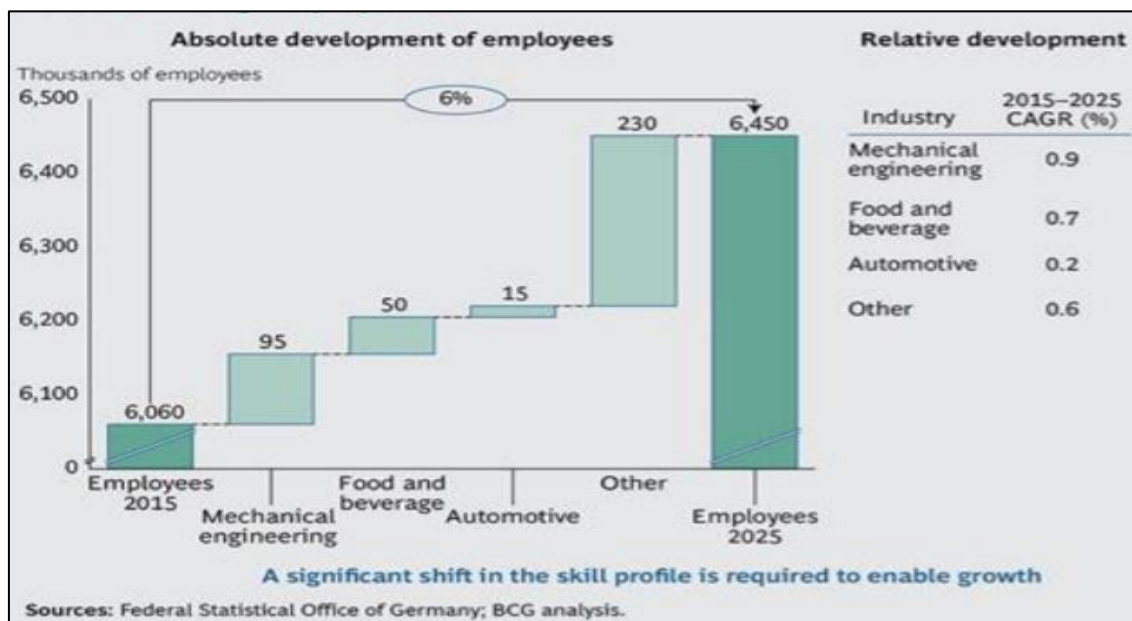


Figura 3: Desenvolvimento absoluto de empregos  
Fonte: Rüßmann *et al* (2015)

- Investimento: A adaptação do processo produtivo pela incorporação da indústria 4.0 necessitará de investimentos da ordem de €250 bilhões nos próximos 10 anos.

Para produtores em questão, esta nova onda da manufatura afetará toda cadeia de valor, dos *designs* até os serviços pós-venda, de acordo com os seguintes pontos:

- Ao longo da cadeia de valor, a produção demandará um ambiente integrado aos sistemas de TI. Como resultado, as células atuais de manufatura serão substituídas por linhas de produção automatizadas e integradas;
- Produtos, processos produtivos e a produção automática serão construídos e comissionados virtualmente, em um processo integrado suportado por produtores e fornecedores;
- O processo manufatureiro da indústria 4.0 incrementará a flexibilidade e permitirá à economia produtiva, a produção de pequenos lotes de peças. Essa flexibilidade será garantida por robôs autônomos, máquinas inteligentes e

produtos inteligentes, que comunicam entre si, tomando decisões e descartando a necessidade humana;

- Os processos de fabricação serão aprimorados por meio de aprendizado e peças de equipamentos de própria otimização, que, por exemplo, ajustam seus próprios parâmetros à medida que entendessem certas propriedades do produto inacabado;
- Logística automatizada, utilizando veículos autônomos e robôs, se auto ajustando com as necessidades produtivas.

Para Schröder (2016) apenas 10 por cento das empresas estão atualmente utilizando intensivamente a indústria 4.0. Para ele, existe uma relação significativa entre o tamanho da empresa com a implementação da indústria 4.0. Grandes empresas possuem uma integração maior de suas plantas produtivas comparadas às médias e pequenas empresas. Na Figura 4 percebe-se o nível de implementação da tecnologia 3D em diversos setores da indústria.

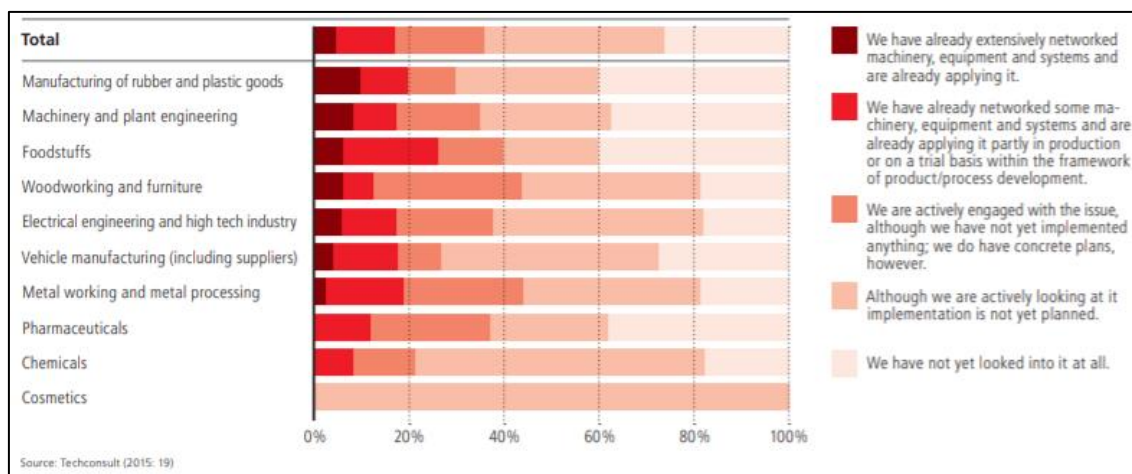


Figura 4: Nível de implementação da tecnologia

Fonte: Schröder (2016)

Para o mesmo autor, o grau de disseminação das aplicações da indústria 4.0 depende do tamanho da empresa. Grandes companhias produzem em grande volume, com capital intensivo e constantemente aperfeiçoam a automação na produção. Já nas pequenas e médias empresas, processos manuais e híbridos estão presentes em maior escala. Grandes empresas terão maior eficiência de ganhos com o uso da tecnologia advinda da indústria 4.0.

Alguns princípios e práticas são fundamentais para se atestar o uso da indústria 4.0 em algum processo industrial. Como a capacidade de operação em tempo real, onde a entrada e saída de dados são praticamente instantâneas, permitindo ao gestor, a tomada de decisões em tempo real.

Existe também, a descentralização presente no sistema. Neste ponto a tomada de decisões pode ser feita através do sistema *cyber*-físico de acordo com as necessidades do sistema de produção, em tempo real. Com este mecanismo, o objetivo de aprimorar os processos de produção é alcançado. A virtualização, ou seja, o monitoramento remoto de todos os processos por meio de sensores que, espalhados pela fábrica, atestam em tempo real cada variável do sistema. O uso de *softwares* orientados a serviço aliado ao conceito de *internet of service*. Por último, tem-se a modularidade do sistema, o acoplamento e desacoplamento de módulos na produção, no sentido da produção de acordo com a demanda, assim é oferecido ao sistema, uma maior flexibilidade para alterar as tarefas entre as máquinas. (SILVEIRA e LOPES, 2016)

E é neste contexto que a manufatura aditiva se mostra um fator relevante para a flexibilidade dos processos. É a partir dela que grandes, médias e pequenas empresas estão revolucionando o meio de manufatura de seus produtos, tornando-os mais dinâmicos, com personalização mais fácil, produção sob demanda e geometria diferenciada.

## **2.2 A indústria 4.0 no Brasil**

Para Firjan (2016), a indústria brasileira ainda está transitando entre a segunda e a terceira revolução industriais, delimitadas pelo uso de linhas de montagem e a aplicação da automação. Segundo o autor, o setor mais adiantado em relação à Indústria 4.0 é o setor automotivo.

Segundo a Agência brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI, 2017), existem cinco eixos de atuação para que o Brasil possa seguir em busca de uma aproximação com a Indústria 4.0, são eles:

- Criação de um programa brasileiro de manufatura avançada: é necessária uma definição de uma estrutura de governança, envolvendo diversos representantes de diversos setores, para que se possa alcançar direcionamento, definindo uma agenda de discussões, para que um processo de implantação seja estabelecido com base nas experiências de outros países, como a Alemanha. Centros de

pesquisas, como universidades podem ajudar as empresas a atingir novas projeções;

- Buscar apoio com países que já estão à frente no quesito, como a Alemanha, atraindo investimentos de empresas e órgãos de apoio alemães para o Brasil. É preciso buscar também, empresas brasileiras com sede na Alemanha, para haver um intercâmbio de conhecimento. O apoio técnico especializado da Alemanha deve ser considerado benéfico para a construção de redes de testes e simulações;
- Criação de uma rede de *testbeds* de manufatura avançada no Brasil: os *testbeds* são ambientes de teste e demonstração de tecnologias, que ajudam e buscam simular a realidade nos ambientes de produção;
- Buscar e alocar recursos nas Fundações de apoio a Pesquisa Estaduais e Federais (FAPEF), bem como a definição de linhas específicas para a construção de *testbeds* e estimular programas para atender as lacunas de financiamento;
- O engajamento de pequenas e médias empresas, capacitando e disseminando os conceitos da Indústria 4.0 entre elas.

### 2.2.1 Manufatura aditiva

Para Wong (2012), os processos de fabricação aditiva levam as informações de um arquivo de desenho do tipo CAD auxiliado por um computador, que é posteriormente convertido em um arquivo de estereolitografia (STL). Nesse processo, o desenho feito no software CAD é aproximado por triângulos e fatiado contendo as informações de cada camada que será impressa. Então, uma impressora 3D lê as informações e reproduz a peça definida anteriormente no *software*.

Diferentes indústrias já utilizam da tecnologia provida por impressoras 3D, dentre elas, a indústria aeroespacial, devido à possibilidade de se fabricar estruturas com peso reduzido. A manufatura aditiva está transformando a prática da medicina e facilitando o trabalho para arquitetos. Na figura 5 são apresentados diferentes usos para a impressão 3D.

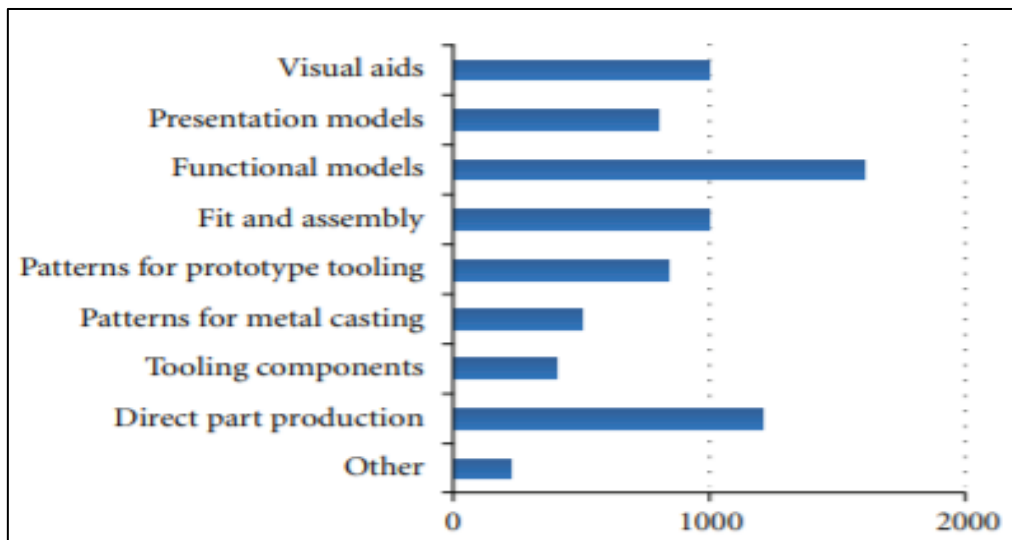


Figura 5: Diferentes usos para a impressão 3D  
 Fonte: Wong, Hernandez, 2012

Para o mesmo autor, a precisão dos produtos produzidos pela manufatura aditiva ainda necessita ser aprimorada para eliminar a necessidade de um processo de acabamento. O crescimento contínuo e resultados bem-sucedidos trazem otimismo de que a fabricação aditiva tem um lugar significativo no futuro da fabricação.

Wong (2012) apresenta os diferentes tipos de manufatura aditiva disponíveis no mercado. Dentre estes tipos de manufatura aditiva é possível encontrar as variações de diferentes impressoras 3D, os quais são visualizados na figura 6. O critério usado para classificar os diferentes tipos são: base líquida, base sólida e base em pó.

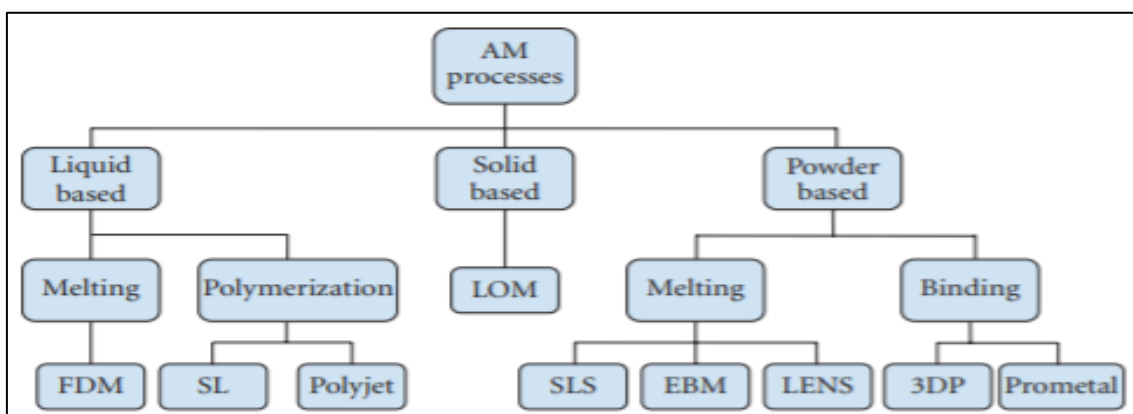


Figura 6: Diferentes tipos de impressoras 3D  
 Fonte: Wong, Hernandez, 2012

O autor também identifica a diferença entre as forças de tensão horizontais e verticais presentes como mostrado na figura 7.

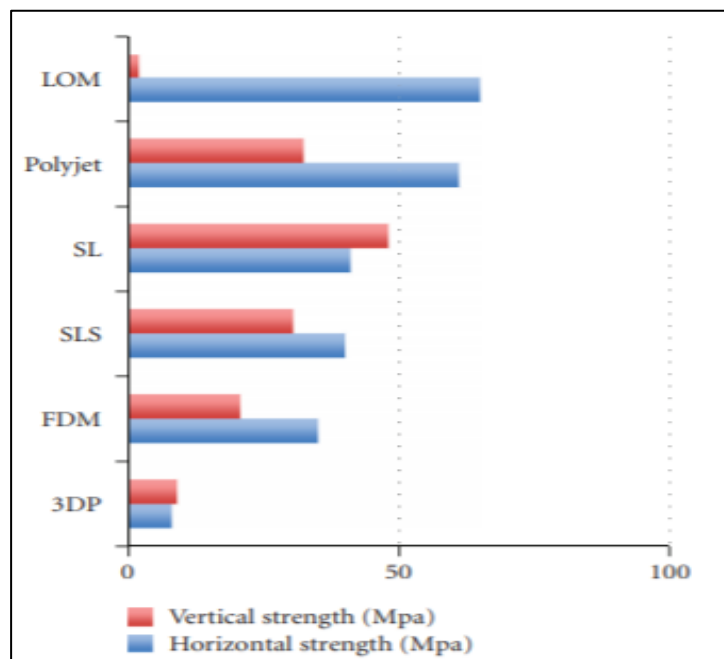


Figura 7: Resistência vertical e horizontal em diferentes tipos de impressoras 3D  
Fonte: Wong, Hernandez, 2012

É fundamental salientar que cada tipo de impressora 3D tem seu uso específico e sua principal característica intrínseca. Assim, dependendo do uso que será dado, diferentes tipos de impressoras 3D terão diferentes resultados.

Para Sealey (2012), os produtos advindos da manufatura aditiva não são totalmente confiáveis quanto a sua integridade estrutural, pois, as camadas envolvidas no processo de extrusão, nem sempre se fundem da maneira correta, o que pode acarretar *déficit* estrutural. É importante relatar isto, pois, uma empresa poderá ter redução de custos utilizando a impressão 3D em certo cenário, mas, nem sempre a peça final terá sua capacidade mecânica párea com a peça manufaturada por outros meios.

O mesmo autor também ressalta que é fundamental que projetistas envolvidos no processo da criação digital da peça tenham isto em mente, para tomarem diferentes decisões que possam prevenir futuros acidentes. Assim, o profissional pode garantir uma resistência considerável, previamente estabelecida. Não seguindo este processo, o projeto pode não sair como planejado, frustrando os envolvidos.

O uso da impressão 3D no processo industrial basicamente se dá quando é observada alguma alteração positiva para os rendimentos capitais da empresa. Mesmo

assim, ela também é usada quando é a única opção possível para a manufatura de certa peça ou componente.

Atualmente, novos tipos de materiais são empregados e estão sendo desenvolvidos para a manufatura aditiva, cada um com sua característica intrínseca. Este fator promove um benefício para o setor industrial, que cada vez mais, busca por novas soluções para seus problemas. Dentre estes materiais, podem-se citar os mais comuns: polímeros, resina e metal.

### **2.2.2 *Fused Deposition Modeling (FDM)***

Para Dudek (2013) a tecnologia FDM funciona da seguinte forma: no processo físico de fabricação do modelo, um filamento é alimentado por meio de um elemento aquecido e se torna fundido ou semi-fundido. O filamento liquefeito é alimentado através de um bico, usando um filamento sólido como um pistão, empurrando e depositando material na peça parcialmente construída.

O material recém-depositado funde com material adjacente que já foi depositado. O cabeçote da impressora, o qual contém o bico, se move no plano X-Y e deposita o material de acordo com a geometria da camada impressa atualmente. Depois de terminar uma camada, a plataforma que segura a peça se move verticalmente na direção do eixo Z para começar a depositar uma nova camada em cima da anterior.

Após um período de tempo, que depende do volume da peça impressa, a impressora terá depositado o material suficiente e da forma necessária para completar a representação do arquivo CAD original. O modelo está completo e não requer endurecimento.

Quando necessário, o sistema de produção pode ter também um segundo bico no cabeçote, que expulsará material de suporte. Este é responsável por criar suporte para qualquer estrutura que tenha um ângulo de projeção inferior a 45° da horizontal como padrão. Posteriormente, este material de suporte é removido, sobrando somente a peça original.

É importante ressaltar que nem todas as impressoras 3D possuem dois bicos acoplados ao cabeçote. Assim, quando esta não possuir este recurso extra, o único bico

então será responsável por depositar material referente ao suporte e à peça original. A desvantagem para esta configuração é referente ao material utilizado na impressão, que só poderá ser de um tipo específico.

Na figura 8 é visualizado o funcionamento básico de uma impressora 3D do tipo FDM.

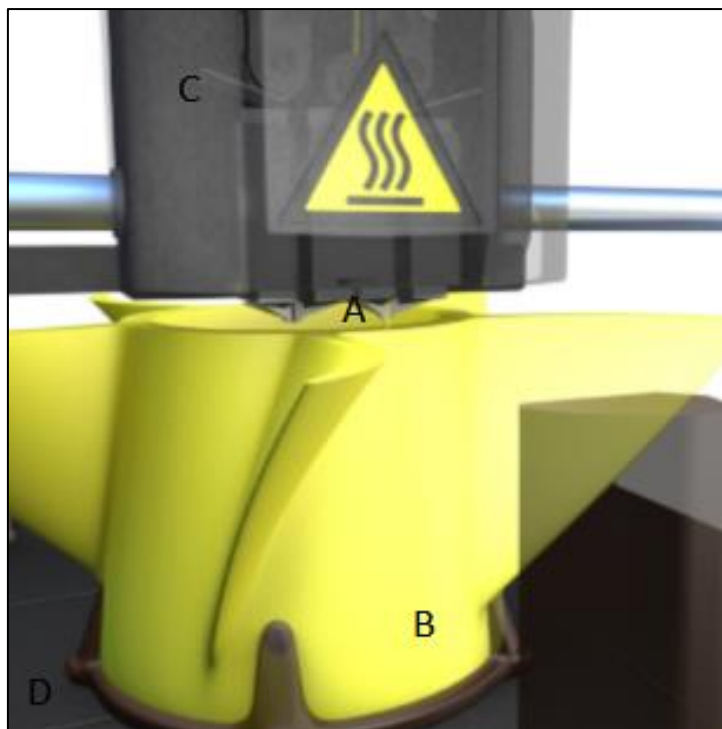


Figura 8: Impressora 3D tipo FDM  
Fonte: Hiemenz, 2011

É possível observar em “A” o bico da impressora, onde o material fundido sai de encontro à peça em questão, representada em “B”. Em “C” está representado o cabeçote da impressora 3D e em “D” a mesa da impressora, sob onde a peça se sustenta no processo de impressão.

Em termos de custos, essa tecnologia é mais barata do que a maioria dos outros tipos de impressão 3D. O custo do sistema FDM é referente ao processo de produção, que consiste em custos de material e custos de pós-processamento. O único material desperdiçado é o material destinado ao suporte.

### 2.2.3 Aplicações para a manufatura aditiva

Para Wong (2012) a manufatura aditiva permite a fabricação de peças mais leves. Na indústria automotiva e aeroespacial, o objetivo principal é a substituição de



peças mais pesadas, por peças produzidas por impressão em 3D que sejam mais leves e pelo menos mantenham suas características físicas de resistência. Ainda, a manufatura aditiva possibilita a produção de peças antes não possíveis, em detrimento de sua complexa geometria.

O mesmo autor cita seis diferentes aplicações distintas da manufatura aditiva, dentre elas:

- Aplicações para a arquitetura: criar uma arquitetura modelo pode ser muito trabalhoso para os arquitetos principalmente quando envolvem modelos mais complexos. Eles usualmente constroem suas peças com técnicas manuais e primitivas. A produção destas representações é muito importante para os arquitetos estudarem os modelos e suas funcionalidades e assim, convencer seus clientes a tornarem o projeto uma realidade. A tecnologia da manufatura aditiva pode fornecer aos profissionais da área uma ferramenta de apoio para seus negócios. Este mecanismo permite a criação de um modelo físico sem se preocupar com a complexidade de seu design. Também é alcançado uma melhor resolução e acabamento do que outros processos usados na arquitetura;
- Aplicações Médicas: a manufatura aditiva tem várias aplicações no mundo da medicina. Com esta tecnologia, eles estão criando protótipos rápidos de ossos para transplantes e modelos de ossos danificados de pacientes que serão utilizados para análise. Esta tecnologia de manufatura permite digitalizar e construir um modelo físico de ossos defeituosos dos pacientes e dar aos médicos uma ideia melhor do que esperar e planejar melhor o procedimento, isso economiza tempo e custo e ajuda a obter um melhor resultado. Os transplantes ósseos, neste contexto, podem ser feitos imprimindo-os e assim tornando possível um transplante praticamente idêntico ao original. Devido à limitação do que é possível ser construído, os médicos têm a opção de criar um material poroso controlado, que permite a osteocondutividade ou então, realizar um transplante com material metálico preciso idêntico ao original, dependendo do osso a ser substituído. Características de transplantes como, densidade, forma, tamanho dos poros e interconectividade porosa são parâmetros importantes que manipulam o crescimento de tecidos e as propriedades mecânicas do osso do implante. A resistência mecânica desses implantes é cerca de três a cinco vezes maior do que comparado a outros produzidos por diferentes processos e a

possibilidade de inflamação causada por microdetritos que se rompem durante o procedimento são reduzidos. O uso de impressoras 3D é uma ferramenta muito boa também para dentistas, pois eles podem construir com grande facilidade um modelo da boca do paciente ou ainda substituir dentes que tem uma forma única com processos como a estereolitografia (SLA), sinterização seletiva a laser (SLS) e fusão de feixe de elétrons (EBM). A geometria dos ossos difere muito entre cada pessoa, assim, a fabricação aditiva produz transplantes que se encaixam melhor em cada indivíduo específico. Também são mais fáceis de inserir e seguros, reduzindo o tempo do procedimento e apresentando melhores resultados estéticos;

- Melhorando a fabricação de células de combustível: as tecnologias de fabricação aditivas podem ser usadas em processos que requerem uma película fina, muito precisa de um determinado material. Na fabricação de células de combustível feitas de membrana de eletrólitos e polímero (PEMFCs), é necessário depositar com precisão uma camada de platina, necessária para a oxidação e redução das reações, com alta eficiência de utilização da platina;
- Aplicações na arte: a manufatura aditiva é uma ferramenta muito poderosa para artistas da moda, indústria de móveis e iluminação, dada a possibilidade de se poder fabricar peças mais complexa que antes não eram possíveis com a manufatura tradicional;
- Aplicações para Hobbistas: as tecnologias de manufatura aditiva estão alcançando usuários não industriais, usuários em suas próprias casas. Esta revolução começou em 2007 com impressoras que poderiam custar apenas 500 dólares, usando a tecnologia FDM. No entanto, essas impressoras de baixo custo são vendidas principalmente em formatos DIY (*do it yourself*) quando a capacidade técnica na parte dos usuários é necessária. No entanto, com empresas maiores entrando neste segmento de impressoras 3D, as massas começaram a serem alcançadas. Os usuários também puderam usar *softwares* tipo CAD normalmente usados pelos engenheiros. Dentre eles, aqueles considerados mais fáceis estão disponíveis para os *hobbistas*, sendo usados para o desenvolvimento do design de peças. Existem muitos aplicativos que os amadores podem criar modelos em 3D e assim imprimi-los em impressoras 3D. Existe também a

possibilidade de se exportar estes arquivos, no intuito de compartilhá-los com outras pessoas, para que elas também possam imprimi-los.

## **2.2.4 Vantagens e desvantagens da impressão 3D**

### **2.2.4.1 Vantagens da impressão 3D**

Para Pirjan (2013) as vantagens mais importantes oferecidas pela impressão 3D são:

- A fabricação aditiva oferece a possibilidade de criar, em um curto espaço de tempo, objetos 3D complexos, com detalhes finos, a partir de diferentes materiais. Por meio da impressão 3D, o cliente tem a possibilidade de criar objetos e formas complexas que são impossíveis de serem obtidos com qualquer outra tecnologia existente;
- Uma vantagem importante de criar objetos usando a tecnologia de impressão 3D em vez dos métodos tradicionais de fabricação é a redução de desperdícios. Como o material de construção é adicionado camada após camada, o desperdício é quase zero e, durante a produção, é utilizado apenas o material necessário para a obtenção do objeto final;
- Nos processos tradicionais de fabricação, baseados em técnicas subtrativas, o produto final é fabricado por meio do corte ou perfuração de um objeto inicial, levando a uma perda substancial de material;
- É fácil imprimir pequenas partes móveis do objeto final;
- O *design* digital do produto pode ser enviado pela *internet* no local do cliente, onde ele pode imprimi-lo;
- Os clientes também têm a possibilidade de imprimir itens em locais remotos, levando em consideração o fato de a Internet estar hoje amplamente difundida e, em alguns países, até ser um direito legal dos cidadãos;
- Alguns dos materiais usados na impressão 3D têm propriedades aprimoradas em termos de resistência e fornecem uma ampla gama de detalhes de acabamento superiores, em comparação com os materiais usados na fabricação de objetos por meio de tecnologias tradicionais;

- Como a fabricação aditiva é uma técnica controlada por computador, reduz a quantidade necessária de interação humana e requer um baixo nível de conhecimento para o operador. Além disso, o processo garante que o produto final represente uma versão 3D perfeita do *design* digital, excluindo os erros que poderiam ter aparecido ao usar outras tecnologias existentes. Como a manufatura aditiva reduz o desperdício no processo de fabricação, ela pode ajudar a resolver problemas difíceis da humanidade, como o consumo de recursos de materiais de construção, o consumo de energia e a proteção ambiental;
- Usando a tecnologia de impressão 3D, é possível produzir desenhos complexos úteis em vários campos: moda, indústria, artes, joalheria, indústria de computadores, telecomunicações e transporte, melhorando a qualidade da vida humana. Por exemplo, os pesquisadores conseguiram criar uma impressora 3D útil na criação de próteses, partes do corpo humano, órgãos e tecidos. Primeiro, é criado um modelo 3D do objeto final usando um scanner (tomografia computadorizada ou ressonância magnética). Usando formas 3D, o material orgânico é impresso e depois é implantado no corpo do paciente. Outro caso interessante é o do bico de uma águia que, após ser destruído por um caçador, foi substituído com sucesso pelos pesquisadores do *Kinetic Engineering Group* por uma prótese, construída a partir de titânio usando uma impressora 3D. Uma aplicação muito útil da impressão 3D é o exoesqueleto robótico de Wilmington, criado usando faixas de metal e borracha. Este dispositivo é útil para ajudar pacientes (especialmente crianças) com braços subdesenvolvidos, pois oferece a possibilidade de realizar amplos movimentos do braço, permitindo personalização pessoal. Outra inovação importante que emprega a manufatura aditiva foi desenvolvida pela empresa Organovo, que construiu uma impressora 3D capaz de imprimir tecidos. Uma de suas realizações mais importantes foi imprimir em 30 minutos um vaso sanguíneo com 5 cm de comprimento e 1 mm de diâmetro;
- A publicidade das impressoras 3D pode ser alcançada usando a eficiência da *World Wide Web*, pois esses dispositivos são direcionados a usuários

com conhecimento técnico e, portanto, não é necessário realizar campanhas de marketing caras (no rádio, televisão, etc.).

Lipson e Kurman (2013) citam também, alguns pontos positivos proporcionados pelo uso da impressão 3D. Dentre eles: a liberdade na variedade, pois não é necessário o uso de moldes para a fabricação das peças; Montagem não necessária, onde a própria impressora é capaz de imprimir peças finais montadas; Entrega imediata, possibilitando a produção sob demanda, próximo ao cliente; Liberdade projetual, possibilitada pela dispensa do uso de moldes; Menos habilidade técnica, pois a impressão 3D requer menos conhecimento técnico do que os processos de fabricação tradicionais e manufatura compacta, pois as impressoras 3D possuem capacidade produtiva por área maior do que os meios tradicionais de produção.

#### **2.2.4.2 Desvantagens da impressão 3D**

Apesar de algumas vantagens aqui citadas, a impressão 3D também possui algumas desvantagens. Para Berman (2012) a manufatura aditiva possui menor precisão dimensional em relação aos métodos tradicionais de manufatura, possui por enquanto, pequena quantidade de materiais disponíveis, acabamentos superficiais limitados e resistência à tensão reduzida. Além disso, o mesmo autor ressalta que para a produção em massa, a manufatura aditiva ainda possui custo elevado de operação, não obtendo os benefícios de economia de escala.

Para Hopkinson e Dickens (2003) os altos custos de equipamento e material, ainda são barreiras à utilização da manufatura aditiva pela indústria. Porém, os mesmos autores ressaltam que com o passar do tempo, com o aumento do uso dessa tecnologia, os gastos referentes à compra de equipamento podem cair, devido às economias de escala dos fabricantes. No mesmo cenário, a concorrência entre empresas fabricantes de equipamentos pode favorecer a baixa nos preços.

Azevedo (2013) afirma que o número de peças necessárias para que a impressão 3D, em um meio produtivo, tenha custo de produção menor é para até 4000 peças considerando meio da injeção de plástico. Pois, para pequenas quantidades, o custo de produção do molde, não é diluído totalmente no valor final. Para esta informação, o autor tomou como base, a produção de uma tampa de garrafa pet. Os custos para uso da manufatura aditiva são apresentados no gráfico da figura 9.

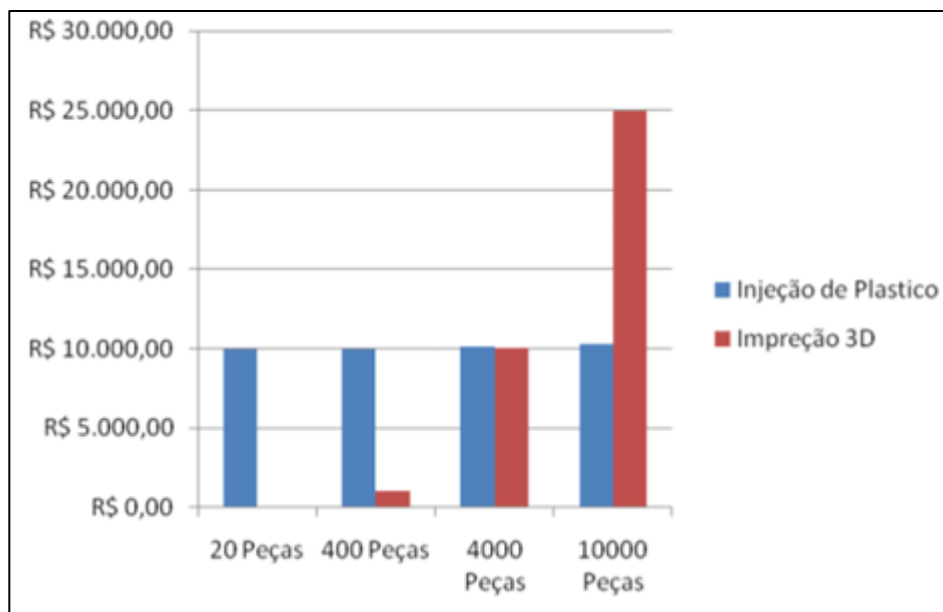


Figura 9: Custo para o uso da manufatura aditiva  
Fonte: Azevedo, 2013

Ainda é bastante elevado, para Azevedo (2013), o tempo de produção por meio de impressoras 3D. O que torna a produção por essa tecnologia difícil de competir com os modelos tradicionais de produção. A relação de tempo de produção entre peças manufaturadas por impressoras 3D e por injeção de plástico é apresentada na figura 10.

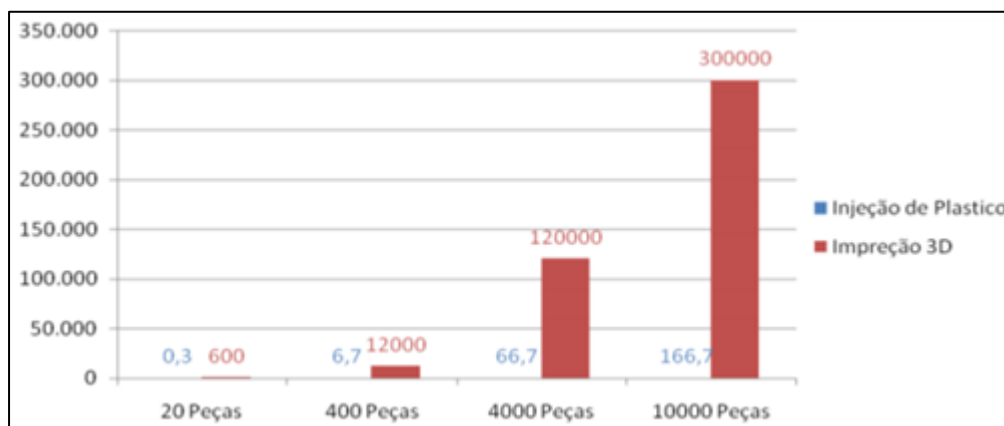


Figura 10: Relação de tempo de produção entre impressão 3D e injeção de plástico  
Fonte: Azevedo, 2013

Outras desvantagens para o uso da impressão 3D nos processos produtivos são apresentadas por Pirjan (2013), são elas:

- Falta de legislação e regulamentação em relação à impressão 3D. Por exemplo, pode haver armas impressas, peças para aeronaves, peças militares, peças falsificadas para operações comerciais ou de defesa, drogas ou armas químicas. E tudo isso pode ser alcançado com facilidade, pois os arquivos podem ser

encontrados na internet e os custos para manufatura são reduzidos. Além disso, as armas podem ser facilmente disfarçadas em produtos não perigosos. Assim, a impressão 3D pode se tornar um perigo em potencial quando usada por criminosos ou falsificadores. Atualmente, os legisladores estão particularmente interessados em regular as armas de fogo e, mais geralmente, os produtos impressos em 3D, mas não os dispositivos de fabricação em 3D;

- Outra desvantagem das impressoras 3D é o fato de as crianças poderem imprimir itens perigosos. Para evitar isso, pode-se empregar limitações de *software* e controle dos pais;
- A impressão 3D é a melhor opção quando é necessário imprimir um pequeno número de objetos complexos, mas torna-se caro imprimir muitos objetos simples, quando comparado às técnicas tradicionais de fabricação. O custo de um objeto grande impresso em 3D é significativamente maior do que se tivesse sido fabricado tradicionalmente;
- Devido aos custos de material (especialmente em relação aos moldes), a fabricação aditiva nem sempre é a melhor escolha técnica, a maioria dos materiais dos moldes é degradável ao longo do tempo e sensível à exposição ao ar livre;
- Certas vezes, a qualidade de construção dos objetos impressos em 3D é menor do que se tivesse sido fabricada tradicionalmente. Embora a fabricação aditiva possa imprimir projetos complexos, o produto às vezes pode ter falhas que podem afetar não apenas o design do objeto, mas também sua funcionalidade e resistência.

É importante a análise cada um destes aspectos, a fim de verificar a vantagem ou não, do emprego da impressão 3D no seu setor produtivo.

### **2.2.5 Mudanças da tecnologia 3D na Indústria**

Para Manners-Bell (2012), existe um enorme salto entre um processo de fabricação que atualmente pode replicar peças e um que pode substituir a manufatura em larga escala. No entanto, em teoria, não há razão para que os avanços na tecnologia não possam aumentar a velocidade da produção e reduzir os custos unitários.

Ainda para o mesmo autor, a impressão 3D, combinada com uma fabricação eficiente, revolucionará os princípios estabelecidos na primeira Revolução Industrial. Não apenas a manufatura local se restabelecerá perto dos mercados finais, como permitirá a flexibilidade de reconfigurar em resposta às mudanças nas demandas dos consumidores. Toda a cadeia de fabricação será muito diferente dos modelos tradicionais, nos quais as plantas de produção demoram muito tempo para serem reequipadas.

Um novo patamar de logística poderia ser criado com o advento da manufatura aditiva até mesmo para pessoas comuns. Para Birtchnell (2016) as pessoas agora escolheriam o que imprimir, dentro de suas casas, por meio da *internet*, e então, imprimiriam estes objetos por meio de suas impressoras 3D. Isso criaria processos de manufatura espalhados pela cidade. Uma vez que estas pessoas terminassem com seus objetos impressos, elas poderiam reciclar o material, reutilizando-os posteriormente. E ainda, a maioria dos projetos e impressoras seriam de código aberto e disponíveis *on-line*. As pessoas poderiam trocar e compartilhar projetos, outras, contribuiriam com seus próprios conhecimentos para ajudar a comunidade 3D.



### **3 METODOLOGIA**

Neste capítulo serão apresentadas as principais etapas utilizadas para o desenvolvimento deste estudo e as possíveis classificações da pesquisa.

#### **3.1 Classificação da pesquisa**

Segundo Gil (2010), pode-se definir pesquisa como:

O procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos. A pesquisa é requerida quando não se dispõe de informação suficiente para responder ao problema, ou então quando a informação disponível se encontra em tal estado de desordem que não possa ser adequadamente relacionada ao problema.

Nesse estudo, a pesquisa tem a finalidade de observar a aplicação de um novo conhecimento e informações que podem, eventualmente, levar a resultados aplicados que contribuam para o entendimento prático da inserção da manufatura aditiva em micro e pequenos empreendimentos. Para este fim, a natureza da pesquisa é observacional, uma vez que a intenção deste estudo é apresentar observações adquiridas pela visualização de uma situação real (FONTELLES, 2009).

Quanto a forma de abordagem considera-se as etapas de execução da pesquisa como qualitativa, na qual pôde-se aprofundar o tema em questão por meio de informações obtidas a partir de análises em um contexto industrial e acompanhamento dos processos de desenvolvimento de um projeto de manufatura aditiva.

Em uma das etapas da pesquisa considerou-se que o objetivo era se ter uma primeira aproximação do pesquisador com o tema, para torná-lo mais familiarizado com os fatos e fenômenos relacionados ao problema a ser estudado. Nesse sentido uma situação prática foi utilizada para comparar os resultados visualizados em uma situação prática com os descritos pelas literaturas utilizadas. Yin (2001) destaca que o estudo de caso se caracteriza de fatos a serem observados. Por este meio é permitido o detalhamento de uma realidade e dos eventos pesquisados.

Posto isto, esta pesquisa pode ser classificada como visualizado na tabela 1.

Tabela 1: Tipos de pesquisa e classificação para este estudo

| <b>Classificação</b>              | <b>Tipos de pesquisa</b>           |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| Quanto à finalidade               | • Pesquisa aplicada ou tecnológica |
| Quanto à natureza                 | • Pesquisa observacional           |
| Quanto à forma de abordagem       | • Pesquisa qualitativa             |
| Quanto aos objetivos              | • Pesquisa exploratória            |
| Quanto aos procedimentos técnicos | • Pesquisa de campo                |

Fonte : Adaptado de Fontelles (2009)

### **3.2 Instrumentos de coleta de dados**

Para a coleta de dados, em um estudo de casos, são utilizadas, principalmente, seis fontes diferentes de informação: “documentos, registros em arquivos, entrevistas, observação direta, observação participante e artefatos físicos”

A coleta de dados desta pesquisa foi realizada por meio de entrevistas com o gestor da empresa considerada para análise, observação direta e acompanhamento de um dos principais projetos da localidade de estudo. Portanto, num primeiro momento foi realizada a busca por dados primários e em um segundo momento a análise de tais dados na qual as informações serão contextualizadas e comparadas. (MINAYO; GOMES, *et al.*, 2010)

#### 4 O CASO DE UMA MICRO EMPRESA DE MODELAGEM EM 3D

O estudo de caso é realizado na empresa Cubo Maker, sediada em Ouro Preto, Minas Gerais. O responsável pela empresa optou por especializar-se no ramo da modelagem em 3D e após a compra da primeira impressora 3D, em 2017, foi dado início aos serviços de impressão para a região.

Atualmente, a empresa conta com 3 impressoras 3D de grande volume, essenciais ao tipo de serviço que realiza. Desde novembro de 2017, a empresa se instalou em um escritório de 57 metros quadrados, sendo o espaço disponível para as impressoras de apenas 15 metros quadrados. O espaço atual é suficiente para a utilização de três impressoras simultaneamente. Além do espaço disponível para a produção, o escritório é equipado com cozinha, banheiro e área destinada ao acabamento das peças produzidas.

Os equipamentos para a realização dos serviços são no momento o suficiente para atender as demandas. Os principais deles são computadores de última geração, ferramentas de corte, microrretífica, compressor de ar para pintura, aerógrafos para acabamento, serras e lixadeira.

No começo, as impressões eram bastante simples, com relação à sua geometria e tamanho. Existiam poucos clientes, dentre eles, a maioria se concentrava na cidade de Ouro Preto. Serviços do tipo, confecção de chaveiros, homenagens para entidades, brindes em geral, peças de reposição e artigos de decoração eram os principais.

Com o passar do tempo, novos conhecimentos foram adquiridos, tanto referentes aos *softwares*, quando às características das máquinas e da matéria prima. Somente a partir daí a empresa começou a se envolver com projetos maiores e mais desafiadores, alguns protótipos de trabalhos anteriores podem ser observados no APÊNDICE A, APÊNDICE B, APÊNDICE C e APÊNDICE D.

Atualmente a empresa conta com três funcionários. Um deles é responsável por desenvolver todos os arquivos digitais da empresa, parte jurídica e financeira e criar os orçamentos. O outro funcionário é responsável por realizar o contato com o cliente e marketing. O último funcionário é responsável pela parte do acabamento das peças.

#### 4.1 Materiais utilizados

A empresa trabalha com quatro diferentes tipos de material para impressão 3D, cada um deles é utilizado para diferentes resultados pois, possuem características distintas um do outro. Os materiais são:

- Acrilonitrila butadieno estireno (ABS): é um dos plásticos mais populares. Tornou-se disponível na década de 1940 e foi instantaneamente comercializado como uma alternativa à baquelite. Mas foi somente na década de 1950 que se tornou o material plástico presente em quase todo o mundo. Sua variabilidade de copolímeros e facilidade de processamento levaram esse plástico a se tornar o mais popular dos polímeros de engenharia;
- Ácido Polilático (PLA): é um polímero feito a partir de recursos renováveis. Ao contrário de outros termoplásticos à base de petróleo, algumas das matérias-primas usadas para a produção do PLA incluem amido de milho, raízes de tapioca ou cana-de-açúcar. Suas propriedades, no entanto, são comparáveis a outros plásticos da indústria. Essas características e o desejo dos consumidores de usar um material menos impactante provocaram sua entrada rápida no mercado de plástico como uma mercadoria competitiva;
- PETG: é uma versão modificada em glicol do tereftalato de polietileno (PET), que é comumente usada para fabricar garrafas de água. É um material semirrígido com boa resistência ao impacto, mas possui uma superfície um pouco mais macia, o que o torna propenso ao desgaste. O material também se beneficia de ótimas características térmicas, permitindo que o plástico esfrie eficientemente com deformação quase insignificante. Existem várias variações desse material no mercado, incluindo PETG, PETE e PETT;
- Polipropileno (PP): é o segundo plástico mais utilizado no mundo. É uma resina de polímero termoplástico com uma estrutura semicristalina. Devido à sua durabilidade e características excelentes, o PP se espalhou por diferentes setores. Dada a sua durabilidade e a possibilidade de derreter e transformar em pellets de plástico, o PP é reutilizável e reciclável para a produção de novos produtos. Isso torna o material conveniente para o uso, especialmente para as

crecentes preocupações ambientais na indústria do plástico. A porcentagem da utilização dos diferentes filamentos está expressa na figura 11.

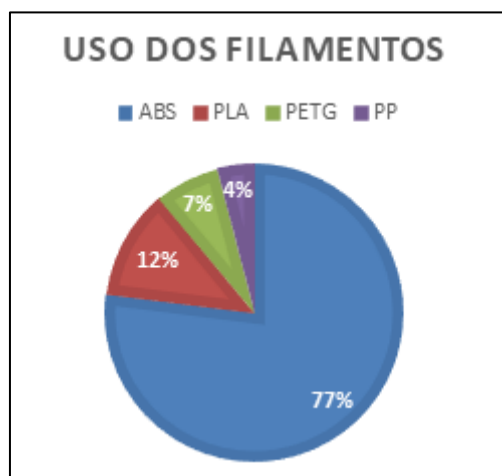


Figura 11: Uso dos filamentos  
Fonte: Pesquisa direta (2019)

A figura 12 revela o custo de cada filamento.

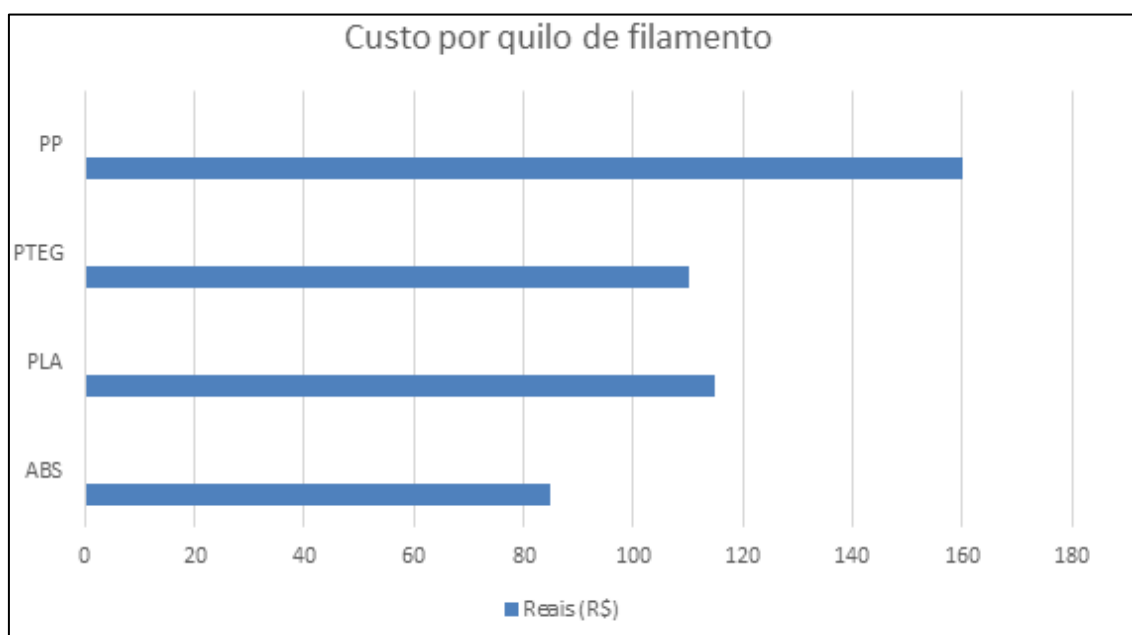


Figura 12: Custo por quilo de filamento  
Fonte: Pesquisa direta (2019)

## 4.2 Fornecedor de material

O principal fornecedor de material para impressão 3D da empresa está localizado em Belo Horizonte. Atualmente existem diferentes empresas no mesmo ramo, porém, a escolha da empresa fornecedora foi baseada pela análise de preço, diversidade e localidade e facilidade de reposição de estoque.

### 4.3 Áreas de atuação e clientes

A Cubo Maker possui três áreas de atuação. A primeira é a materialização de projetos criativos, sejam eles, brindes personalizados, troféus de competição esportiva, dentre outros. A segunda área é o desenvolvimento de produtos únicos e inovadores. Estes, são vendidos em plataformas *online*. E a última área, é a mais desafiadora, o desenvolvimento de representações físicas de projetos de engenharia. Estes, entram a parte de acabamento da peça, usando produtos do mercado automotivo.

Os principais clientes da empresa na área da engenharia são empresas de prospecção geológica e empresas de mapeamento topográfico. Já na área de materialização de projetos criativos, a clientela é mais diversificada, contendo organizações esportivas, repúblicas estudantis, empresas de festa etc.

Durante o período de fevereiro de 2018 até julho de 2019, a empresa realizou 26 serviços de personalização, envolvendo tanto os destinados às empresas de engenharia, quanto os destinados às repúblicas estudantis, entidades esportivas e confecções em geral.

Na figura 13 é apresentada a totalidade destes serviços.



Figura 13: Serviços prestados  
Fonte: Pesquisa direta (2019)

É possível ver que a área de atuação da empresa para a produção de peças destinadas às empresas de engenharia representa a menor parte no total global de serviços prestados pela empresa.

Na figura 14 são apresentadas as porcentagens das arrecadações em relação aos serviços envolvidos. É importante ressaltar que todo o levantamento de informações foi feito com base nas emissões de notas fiscais envolvidas no período determinado.

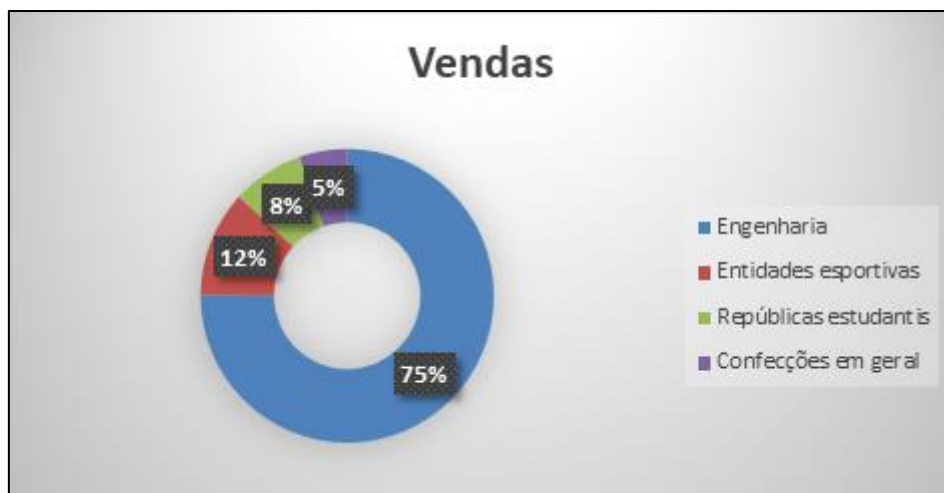


Figura 14: Relação da receita  
Fonte: Pesquisa direta (2019)

Observa-se que mesmo que o número de serviços prestados pela empresa Cubo Maker para o ramo de empresas de engenharia seja o menor com relação as outras áreas de atuação, esta área apresenta a maior arrecadação no período apresentado, o que torna a área muito atrativa para investimentos. Isto se deve ao fato de que estes serviços demandam maior conhecimento técnico tanto proveniente de *softwares*, quanto da própria máquina de impressão 3D e seus materiais utilizados.

#### 4.4 Tipo de impressoras 3D utilizado pela Cubo Maker.

Todas as três impressoras da empresa são do tipo FDM. Três motivos orientaram a escolha por essa tecnologia, sendo eles:

- **Custo:** dentre os principais tipos de impressoras 3D, o tipo FDM é o que possui o menor custo relativo à máquina e material. Além do mais, no Brasil, esta tecnologia é a que está mais desenvolvida. Já possuindo grande concorrência entre produtores de matérias primas, e máquinas em geral;
- **Aprendizagem:** quando a empresa começou, era fundamental entender toda a complexidade envolvida nas impressoras. Por isto, como a maioria do material didático envolvido era para o tipo FDM, esta foi a escolhida para facilitar o aprendizado e começar por algo mais simples;
- **Facilidade:** as impressoras do tipo FDM, são em sua grande maioria, as que possuem a maior facilidade para suporte técnico, peças de reposição e conhecimentos em geral. Dessa maneira, caso algum defeito venha ocorrer com as impressoras, o conserto não se entende por muito tempo. Bem diferente do

que aconteceria com uma impressora onde o suporte técnico e as peças de reposição são de fora do país.

#### 4.5 *Softwares utilizados pela Cubo Maker*

Para o gerenciamento dos processos envolvidos na empresa, ela conta com uma gama de *softwares* de diferentes finalidades, entre eles:

- *Softwares* paramétricos: são conhecidos também como CAD. Utilizados na empresa para modelagem de peças paramétricas. Geralmente, as peças mais simples produzidas pela empresa, são desenvolvidas por estes *softwares*, respeitando as limitações dele (exemplos: *Blender*, *AutoCad*, *Fusion 360*, *OpensCad* e *FreeCad*);
- *Softwares* orgânicos: São utilizados para modelagem de peças amórficas. Também utilizados para modificações que não são possíveis nos *softwares* tipo CAD. Geralmente são mais difíceis de modelar, pois necessitam conhecimento aprofundado no tema (exemplos: *Blender*);
- *Softwares* para renderização: Estes, são responsáveis pela criação das renderizações, processo bastante importante na empresa. Elas são fundamentais para demonstrar ao cliente, uma previsão de demanda (exemplos: *Blender* e *Fusino 360*);
- Reparadores: Os *softwares* reparadores são aqueles responsáveis por repararem os arquivos com defeito. Um arquivo 3D pode ter em sua geometria, buracos, triângulos sobrepostos etc. É fundamental possuir arquivos sem defeito, pois, por menor que seja, eles podem atrapalhar todo o processo desenvolvido na empresa. Assim, uma peça pode apresentar defeitos na geometria manufatura pela impressora por apresentar um simples triângulo sobreposto na sua malha (exemplos: *Netfabb*);
- Fatiador: Os *softwares* ditos “fatiadores” são os responsáveis por transformar a geometria 3D da peça, em um código de coordenadas, que são utilizados pelas impressoras 3D para a criação dos respectivos objetos (exemplos: *Simplify3D*).

Todos os *softwares* apresentados são de fato utilizados pela empresa no dia a dia. É importante destacar a utilização de *softwares* do tipo *Open Source*. Esses, são responsáveis pela democratização do aprendizado e utilização de conhecimentos uma



vez, pagos. Estes, não possuem valor de aquisição e possuem a maioria das finalidades de *softwares* pagos. Dessa forma, viabiliza projetos de menor escala, que não sairiam do papel caso necessitasse a aquisição de *softwares* diversos.

#### **4.6 Manutenção das impressoras 3D**

A manutenção das impressoras é bem simples, necessitando apenas alguns ajustes semanais e diários. Entre eles, estão, lubrificar as barras e trilhos com óleo lubrificante, limpar todas as partes da impressora, apertar os parafusos, passar produto colante na mesa de impressão antes do início de cada nova impressão e estar ciente da durabilidade de cada componente da impressora, para assim, realizar a manutenção preditiva.

#### **4.7 Processos da empresa Cubo Maker**

A maioria destes serviços é feito sob encomenda. As fases do processo geralmente são feitas da seguinte forma: O cliente primeiramente encomenda a peça desejada. De posse dos conhecimentos de modelagem tridimensional, a peça é projetada nos softwares 3D, gerando a malha 3D. Após é feita a renderização digital, onde, a partir desta etapa, o cliente pode atestar previamente (antes da impressão) se a peça está condizente com suas expectativas. Posteriormente, este arquivo digital é tratado, ou seja, os possíveis erros são retirados e o arquivo é encaminhado para *softwares* que desenvolvem os códigos para as impressoras. Depois de impresso, o objeto ou passa por um processo de acabamento, ou segue direto ao cliente.

Na figura 15, exibe o fluxograma de processos da empresa Cubo Maker.

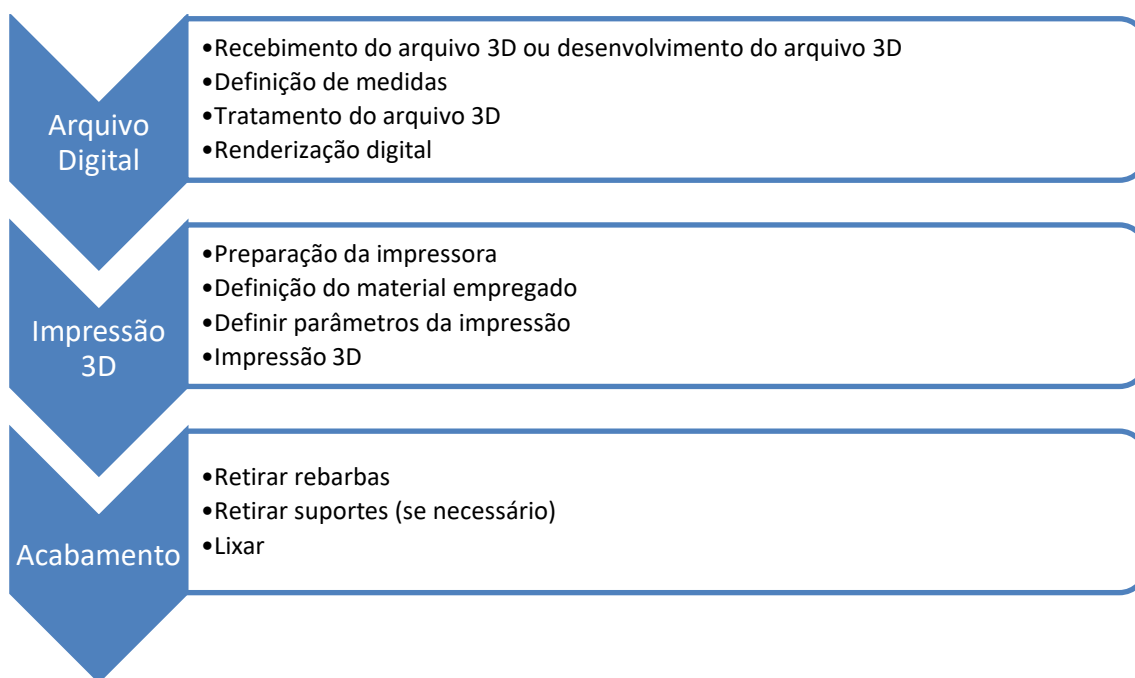


Figura 15: Fluxograma do processo realizado pela empresa  
 Fonte: Pesquisa direta (2019)

Dentre os processos desenvolvidos pela empresa, os quatro principais podem ser explicados da seguinte forma:

- **Recebimento do arquivo ou ideia:** este é o primeiro ponto relevante do processo. Nele, o cliente define seus objetivos e os encaminha para a empresa. É importante definir nesta etapa, todas as características físicas da peça, incluindo tamanho, resistência mecânica, peso, material utilizado etc. Além disto, o cliente também pode contatar a empresa já com arquivo 3D pronto. Ficando a cargo da empresa, definir as características da peça e posteriormente imprimi-la;
- **Renderização digital:** a renderização digital é forma de a empresa demonstrar ao seu cliente como a peça final ficará. É a partir dela, que é demonstrado características como, cor, qualidades geométricas etc.;
- **Impressão 3D:** caso a etapa anterior seja concluída, o cliente dá a ordem para seguimento do projeto e, então, é iniciada a fase da impressão 3D. Nela, todas as características definidas anteriormente são alocadas em um código que guiará a máquina para a construção da peça;
- **Acabamento:** caso solicitado pelo cliente, a empresa realiza na peça, um processo de acabamento. O processo é definido em: lixamento e pintura. Na

maioria dos casos, os objetos manufaturados pela empresa passam por este processo.

## **4.8 Vantagens e desvantagens da aquisição de impressoras 3D para a empresa**

### **4.8.1 Vantagens**

Com a utilização da manufatura aditiva, a empresa pode criar peças únicas, que, na maioria dos casos, demanda poucas unidades. Sendo assim, a melhor opção é a utilização da impressão 3D. Como observado neste estudo, é possível afirmar que, a utilização de métodos tradicionais de manufatura não seria benéfica no sentido financeiro.

Com a utilização dos processos de acabamento, a peça final tem características semelhantes às peças advindas dos métodos tradicionais de manufatura, como os moldes. Dessa maneira, não é necessário nenhum outro tipo de manufatura nos processos.

Outra vantagem da utilização da impressão 3D é a rápida criação de novas peças. Como cada projeto realizado na empresa é único, ela necessita de velocidade para o desenvolvimento de novos produtos. Isto só é possível graças a manufatura aditiva.

Outra grande vantagem do uso das impressoras 3D na produção, é o pequeno espaço demandando para instalação delas. A empresa Cubo Maker dispõe de três máquinas, que ocupam um espaço total de apenas nove metros quadrados.

### **4.8.2 Desvantagens**

Os principais desafios enfrentados pela empresa no conceito da manufatura aditiva são relacionados aos desperdícios. Como cada peça produzida é única, é normal que sejam manufaturados protótipos, a fim de chegar ao modelo final. Apesar de tudo, estes desperdícios são necessários. Porém, existem meios de se reciclar todo o material. Em um deles, é possível triturar o material utilizado previamente, e então inseri-lo em uma extrusora de plástico com material virgem, dessa maneira é produzido um novo filamento que poderá ser reutilizado posteriormente na impressora.

De acordo com o representante da empresa, a maior demanda para um único tipo de produto foi de 60 unidades, o que ainda deixa a cargo da manufatura aditiva, o melhor custo benefício em relação aos outros métodos de manufatura. Pode-se conferir essa relação na figura 9.

## 5 APLICAÇÃO DA MANUFATURA 3D EM UM PROJETO DE BARRAGEM E PRIMITIVO DA EMPRESA CUBO MAKER

Em março de 2018, a empresa foi solicitada para realizar uma representação física do mais novo projeto de extensão de uma barragem de rejeitos localizada em Mariana, MG. O cliente definiu também, que o produto final fosse dividido em duas partes essenciais. A primeira, considerada o primitivo, que nada mais é, do que o mapeamento das curvas de nível de um terreno. Para esta atividade, o cliente contratou outra empresa que utilizou de um *drone* para realizar o mapeamento aéreo. A segunda parte, é da barragem de rejeitos em si. Esta, fica posicionada em cima do primitivo, respeitando todas as características geométricas dele. De acordo com o cliente, a barragem que possuía 28 metros de altura, deveria ser cortada em três níveis. Do nível 0 a 8 metros, 8 a 18 metros e 18 a 28 metros. Dessa maneira, o cliente poderia observar cada peça separadamente. A barragem possuía sete elementos distintos: enrocamento - E1 (montante), transição única – TU, núcleo laterita - C1, areia - T1, agregado - T2, agregado – T3 e enrocamento – E1 (jusante). Ou seja, em cada nível de elevação, o cliente poderia observar sete tipos diferentes de elementos.

Além destes vinte e um elementos, o projeto também contava com mais três peças, sendo elas, o primitivo (já demonstrado aqui), o extravasor e o sacrifício. Todo o processo é mais bem visualizado no fluxograma apresentado da figura 15. Para o serviço em questão, cinco fases foram as mais importantes, sendo elas:

### 5.1 Dimensionamento

O dimensionamento do projeto, seguiu as orientações do cliente, que optou por 90 cm de comprimento, por 90 cm de largura. Sendo o escalonamento em Z, proporcional ao resto do projeto.

### 5.2 Renderização

A renderização, representação digital do processo, é feito pelo *software Open Source Blender*. Nela, o cliente pode atestar, como ficará o projeto final.

As figuras 16 e 17, são apresentadas algumas imagens das renderizações feitas na época.

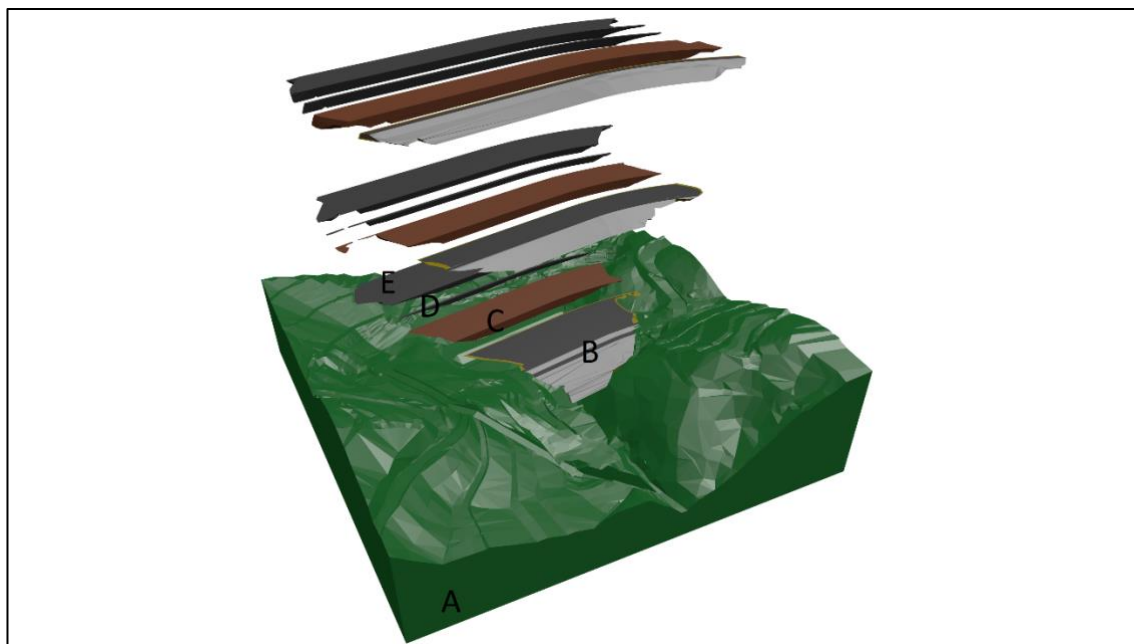


Figura 16: Renderização de todo o projeto, peças separadas  
Fonte: Pesquisa direta (2019)

Assim, “A” representa o Primitivo, “B” Enrocamento à montante, “C” Núcleo Laterita, “D” Transição Única e “E” Enrocamento à jusante.

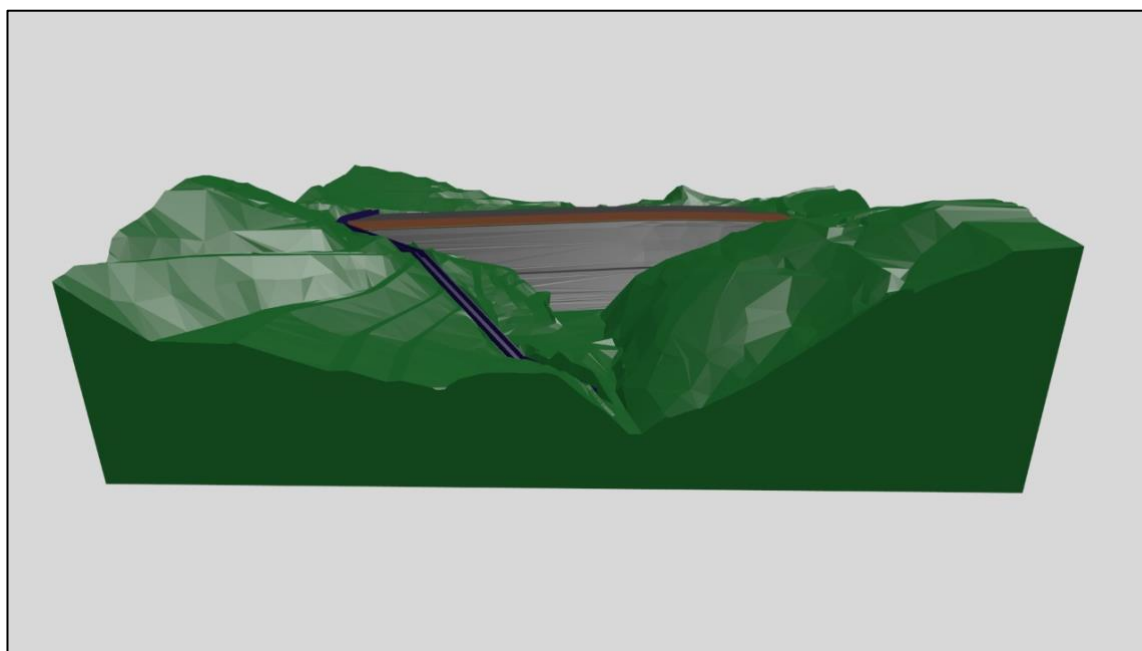


Figura 17: Renderização de todo o projeto  
Fonte: Pesquisa direta (2019)

### 5.3 Reparação dos arquivos e definição dos parâmetros de impressão.

Todo e qualquer arquivo digital tridimensional não pode conter erros que comprometam a impressão 3D. Por isso, é importante sempre antes de iniciar o processo da definição dos parâmetros de impressão, conferir no *software Netfabb* quais problemas o arquivo digital possui, e então, o próprio *software* realiza a varredura de erros e os corrige.

Na figura 18, pode-se conferir a interface do *software* e a quantidade de erros que o arquivo Primitivo (figura 16 “A”) possuía antes do reparo.

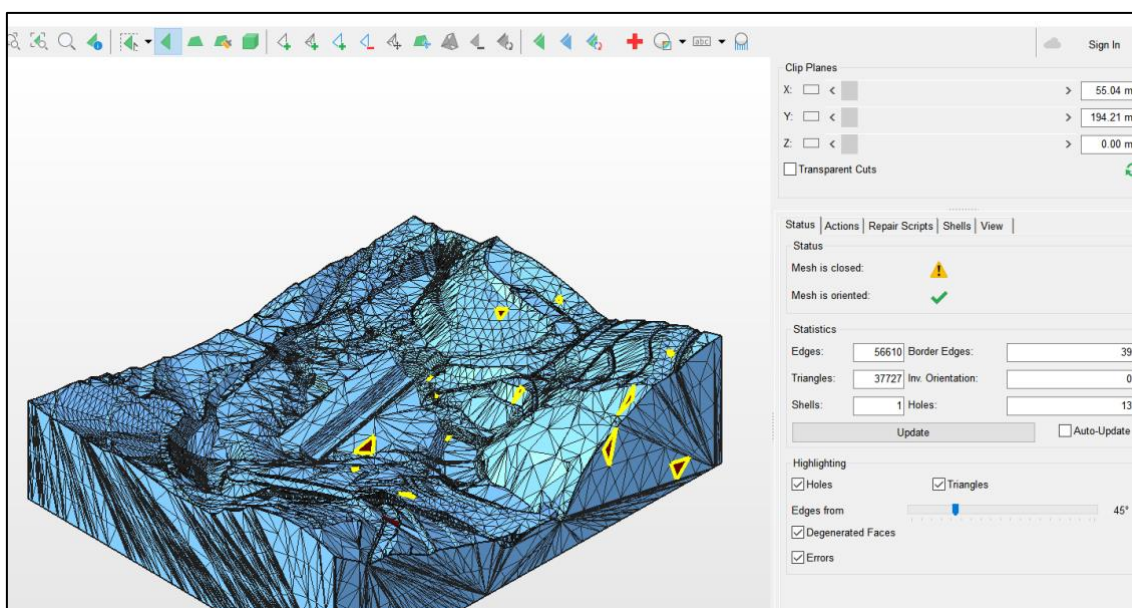


Figura 18: Reparação de erros  
Fonte: Pesquisa direta (2019)

As marcações em amarelo significam buracos na malha de triângulo do modelo tridimensional.

Após a conferência dos erros no modelo digital, é hora de definir os parâmetros de impressão do modelo em questão.

## 5.4 Parâmetros de impressão

É importante destacar a influência que cada parâmetro de impressão tem para o resultado da peça. Esses, são responsáveis por determinar características do objeto, como: peso, resistência mecânica, qualidade, tempo de impressão e material consumido no processo.

A análise dos parâmetros de impressão é feita no *software Simplify3D*. Cabe salientar que existem diversos *softwares* do tipo *open source* para esta tarefa, porém, a empresa escolheu este por conta de sua grande performance e controle total dos parâmetros envolvidos.

Nas figuras 19, é possível observar alguns parâmetros que o *software* nos permite modificar.

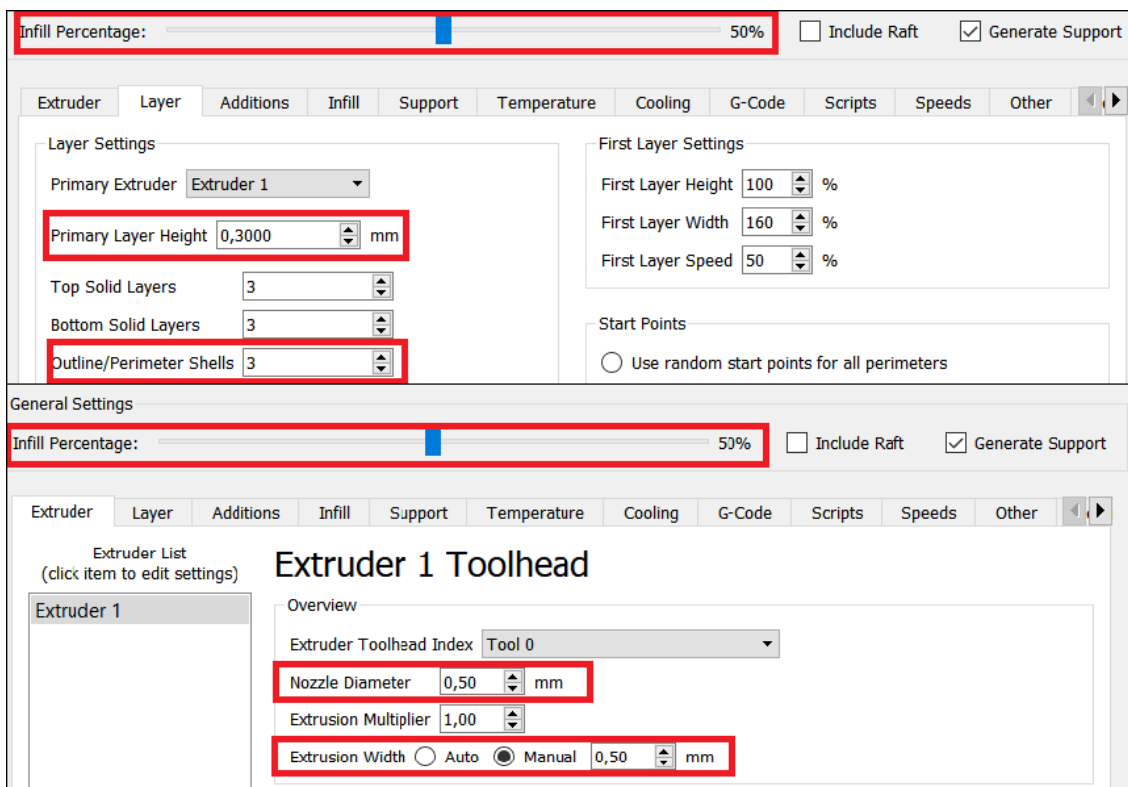


Figura 19: Parâmetros de impressão  
Fonte: Pesquisa direta (2019)

Para esse estudo, os cinco seguintes parâmetros do *software* foram analisados:

- *Primary Layer Height*;
- *Outline/Perimeter Shells*;
- *Infill*;



- *Nozzle Diameter*;
- *Extrusion Multiplier*.

O parâmetro “*Primary Layer Height*” é o principal. Nele é definido a altura de cada camada ou altura de cada *layer*. Para o projeto da empresa Cubo Maker em questão, foi estabelecido o valor de 0,3 milímetros, considerado uma boa altura de camada para peças grandes. A título de exemplo, em uma peça com altura de 3 centímetros ou, 30 milímetros, e o parâmetro “*Primary Layer Height*” definido com o valor igual a 0,3 milímetros, a peça seria dividida ou teria o total de 100 *layers*, contemplando toda a altura da peça. Portanto, quanto menor for este valor, maior será a qualidade da peça e consequentemente maior será o tempo de impressão.

O parâmetro “*Outline/Perimeter Shells*” representado na Figura 20, define a espessura da parede externa da peça. O valor total em milímetros de espessura externa da peça é igual ao parâmetro *Outline/Perimeter Shells* vezes o parâmetro *Extrusion Width*. Em cada novo *layer*, a impressora primeiramente realiza o número de voltas definido neste parâmetro, e então passa para a próxima etapa.

Na impressão 3D, o termo “*Infill*” ou também “preenchimento”, refere-se à estrutura impressa dentro da peça. Este material é extrudado em uma porcentagem e padrão definidos no *software* de fatiamento. A porcentagem de preenchimento e o padrão influenciam o peso da impressão, o uso do material, a resistência, o tempo de impressão e, às vezes, as propriedades decorativas. O parâmetro pode ser observado pela letra “B” na figura 20.

Refere-se ao diâmetro do bico da impressora, quanto maior este valor, maior é o fluxo de material extrudado por tempo. A maioria das impressoras FDM possuem o diâmetro padrão, igual a 0,4 milímetros.

Esse parâmetro define a largura do “fio” extrudado pela impressora. Cabe salientar que para certo diâmetro de bico de impressora 3D (*nozzle diameter*), este valor não pode ultrapassar 30% do valor para mais ou para menos.

Na figura 20 é possível observar alguns dos parâmetros na prática. Esse *layout* é apresentado ao operador da impressora, antes de realizar a impressão. Para a representação, foram utilizados os parâmetros padrão e um cubo como exemplo.

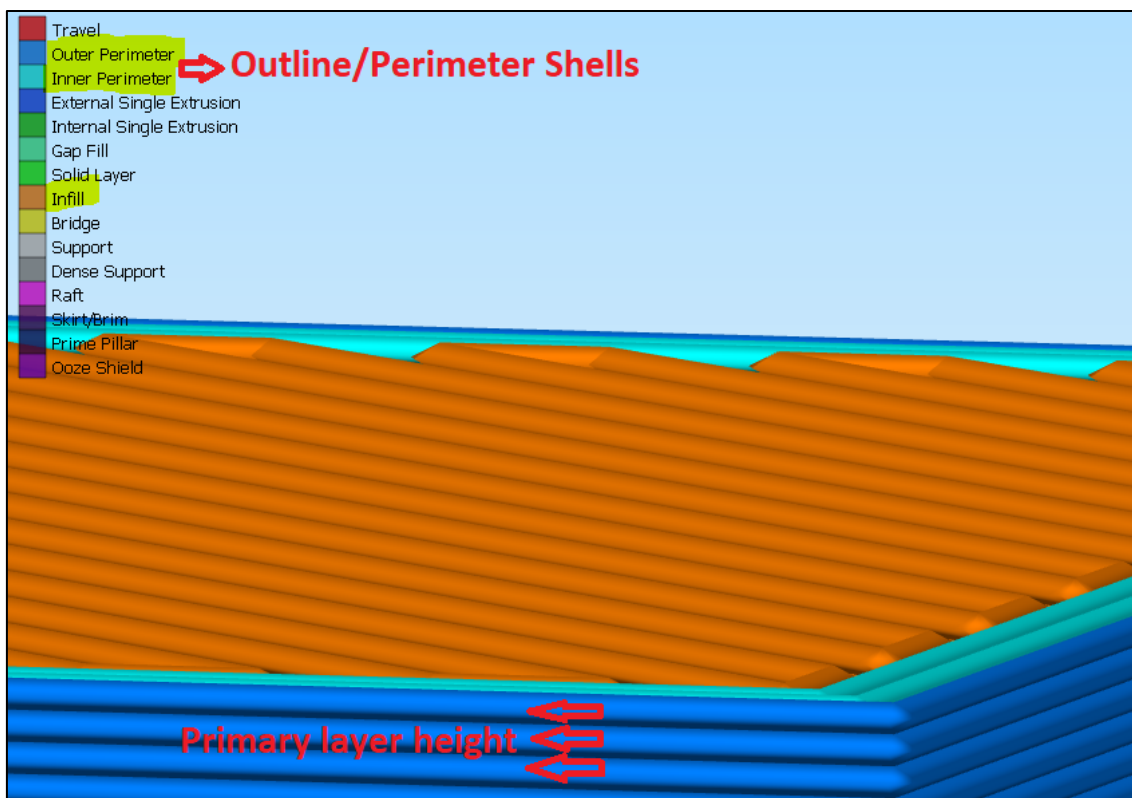


Figura 20: Parâmetros de impressão na prática  
 Fonte: Pesquisa direta (2019)

Alguns outros parâmetros também podem ser definidos no *software*, como velocidade de impressão, temperatura da mesa de impressão e do bico da impressora, porcentagem de preenchimento da peça etc.

#### 5.4.1 Análise dos parâmetros de impressão e otimização do processo

Nessa análise, a peça “Primitivo” representada por “A” na figura 16 e os cinco parâmetros aqui neste trabalho explicados, foram levados em conta. Além disto a otimização foi feita com base nos parâmetros de impressão padrão, estes, são comumente utilizados na comunidade 3D sem nenhuma pesquisa ou otimização envolvida.

Na Tabela 2 é possível verificar os parâmetros básicos e seus valores totais.

Tabela 2: Parâmetros padrão

| Parâmetros                      | Valor          | Valor Total    |
|---------------------------------|----------------|----------------|
| <i>Primary Layer Height</i>     | 0,2 milímetros | 0,2 milímetros |
| <i>Outline/Perimeter Shells</i> | 6              | 3 milímetros   |
| <i>Infill</i>                   | 20%            | 20%            |
| <i>Nozzle Diameter</i>          | 0,5 milímetros | 0,5 milímetros |
| <i>Extrusion Width</i>          | 0,5 milímetros | 0,5 milímetros |

Fonte: Pesquisa direta (2019)

Na figura 21 é possível observar o resultado para essa configuração.

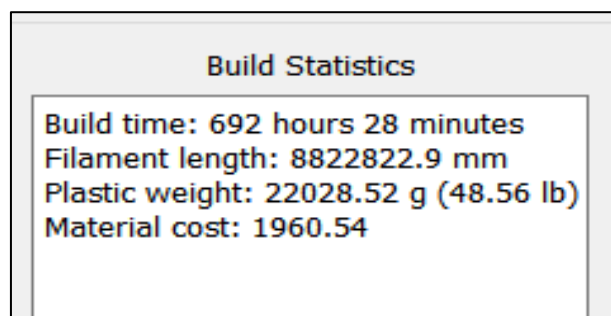


Figura 21: Dados da impressão retirados do *software Simplify3D*  
Fonte: Pesquisa direta (2019)

Dessa maneira, para a configuração padrão, o tempo total de impressão ficou em 692 horas e 28 minutos, consumindo um total de 22,028 quilos de filamento ABS ou 8,822 quilômetros de filamento e totalizando um custo total de R\$1960,54 (Custo do filamento ABS já definido na Figura 12 como R\$89,00). Além disto a peça ficou dividida em 1360 *layers*. Como exposto na Figura 23.

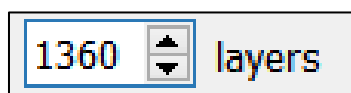


Figura 22: Quantidade total de *layers* para o parâmetro padrão  
Fonte: Pesquisa direta (2019)

A empresa então, desenvolveu uma nova técnica afim de se otimizar o processo. Para essa nova técnica, utilizou-se um novo bico de 1 milímetro (*nozzle diameter*). E, aumentou para 0,3 o parâmetro "*Primary Hayer height*". Toda a otimização foi acompanhada em testes a fim de verificar a qualidade final da peça. Mantendo os valores totais, na tabela 3 são apresentados os parâmetros otimizados.

Tabela 3: Parâmetros otimizados

| Parâmetros               | Valor          | Valor Total    |
|--------------------------|----------------|----------------|
| Primary Layer Height     | 0,3 milímetros | 0,3 milímetros |
| Outline/Perimeter Shells | 3              | 3 milímetros   |
| Infill                   | 20%            | 20%            |
| Nozzle Diameter          | 1 milímetros   | 1 milímetros   |
| Extrusion Width          | 1 milímetros   | 1 milímetros   |

Fonte: Pesquisa direta (2019)

Na Figura 23 é possível observar o resultado para a nova configuração otimizada.

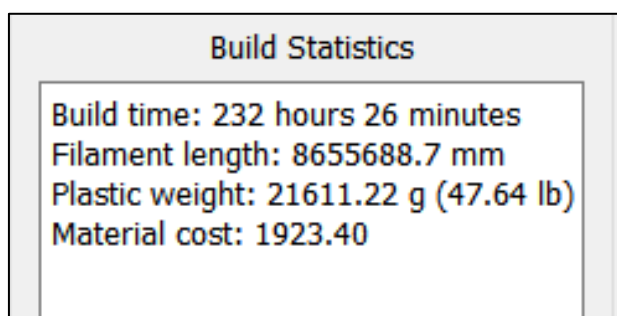


Figura 23: Dados da impressão retirados do *software Simplify3D*

Fonte: Pesquisa direta (2019)

Dessa maneira, para a nova configuração dos parâmetros, o tempo total de impressão foi de 232 horas e 26 minutos, consumindo um total de 21,611 quilos de filamento ABS ou 8,655 quilômetros de filamento e totalizando um custo total de R\$1923,40. A nova quantidade de *layers* ficou em 906. Como exposto na figura 24.

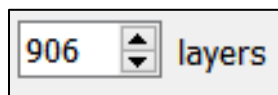


Figura 24: Quantidade total de *layers* para o parâmetro otimizado

Fonte: Pesquisa direta (2019)

É possível observar, de acordo com a tabela 4, como os novos parâmetros influenciaram nas características do processo de impressão.

Tabela 4: Resultados da otimização

|                    | Peso   | Redução     | Tempo de Impressão     | Redução       | Layers | Redução      |
|--------------------|--------|-------------|------------------------|---------------|--------|--------------|
| Processo Padrão    | 22,028 | 0           | 692 horas e 28 minutos | 0             | 1630   | 0            |
| Processo Otimizado | 21,611 | <b>1,8%</b> | 232 horas e 26 minutos | <b>66,43%</b> | 906    | <b>44,4%</b> |

Fonte: Pesquisa direta (2019)

É possível ver os ganhos em custo que a empresa obteve com a otimização. Para os cálculos, foi utilizado um valor de R\$0,25 referentes ao gasto energético da máquina utilizada no processo. Este valor foi aferido com um Wattímetro. E, ganhos no custo do material utilizado.

Tabela 5: Custo energético e custo do material

|                    | Custo energético | Redução                 | Custo do Material | Redução                  |
|--------------------|------------------|-------------------------|-------------------|--------------------------|
| Processo Padrão    | R\$173,11        | 0                       | R\$1960           |                          |
| Processo Otimizado | R\$58,10         | <b>66% ou R\$115,01</b> | R\$1923,40        | <b>1,86% ou R\$36,60</b> |

Fonte: Pesquisa direta (2019)

#### 5.4.2 Considerações do processo de otimização

Conclui-se que para o dado serviço, a empresa Cubo Maker obteve uma melhora em seu processo produtivo com a adoção da otimização.

É fundamental salientar que, com o novo valor definido no parâmetro *Primary Layer Height*, a qualidade final do “Primitivo” ficou ligeiramente pior, porém, esta característica é facilmente contornada no processo de acabamento.

Após a definição dos parâmetros de impressão, o *software* cria então o código que será lido pela impressora. No caso, o arquivo *Gcode*. Que é a extensão utilizada na comunicação para máquinas do tipo CNC.

No *software Simplify3d*, a interface após a definição dos parâmetros de impressão otimizado está apresentada na figura 24.

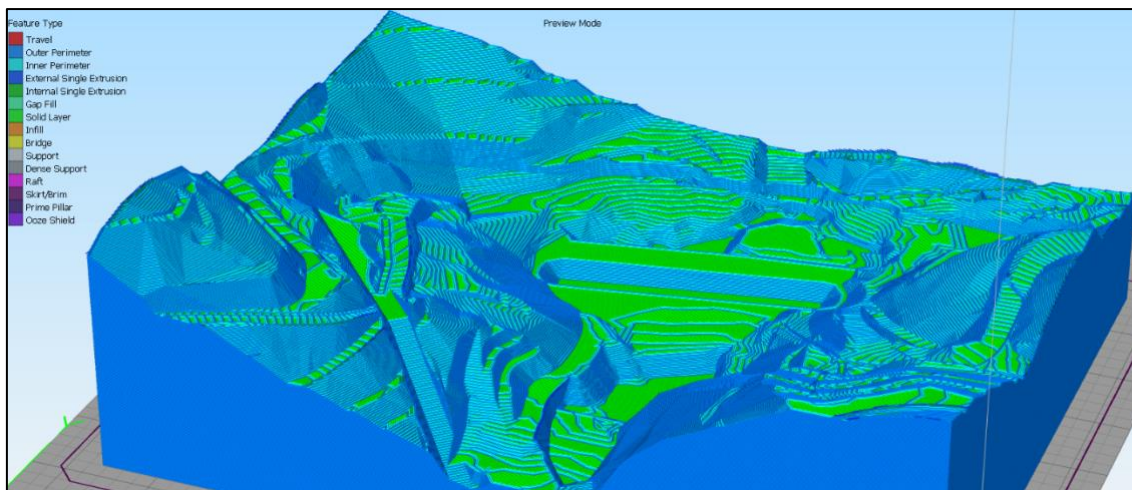


Figura 25: Parâmetros de impressão definidos  
Fonte: Pesquisa direta (2019)

Nota-se todo o caminho percorrido pelo bico da impressora na construção da peça Primitivo, “A” na figura 16.

Assim, depois de definir os parâmetros de impressão e definir a melhor posição para impressão da peça na mesa de impressão, o código *Gcode* é criado e então é possível começar a fase da impressão 3D.

## 5.5 Impressão 3D

A impressão 3D dos arquivos foi feita nas impressoras de marca nacional GtMax3D AB300 e na Sethi S3. O tempo total de impressão de total as peças foi de 581,88 horas. O material utilizado foi o polímero ABS, com espessura nominal de 1,75 milímetros.

## 5.6 Acabamento

O acabamento possuiu cinco fases. Sendo elas, o lixamento, a aplicação de primer automotivo, o lixamento do primer, a aplicação de tinta automotiva com base de poliéster e a aplicação de verniz com base em poliéster também.

Na figura 26 observa-se a fase do processo de acabamento.



Figura 26: Acabamento da peça  
Fonte: Pesquisa direta (2019)

É fundamental destacar a importância do acabamento para qualquer tipo de serviço feito com as impressoras 3D. Uma das desvantagens destacada aqui neste trabalho, foi a questão da qualidade final inferior comparado à uma mesma peça produzida por uma manufatura tradicional. Dessa maneira, a empresa Cubo Maker tem como um diferencial no mercado, o uso de técnicas de acabamento, caso solicitado pelo cliente.

## **6 DIRETRIZES**

Após o estudo sobre a indústria 4.0, manufatura aditiva e o estudo de caso na empresa Cubo Maker, é apresentado a seguir, as diretrizes necessárias para que pequenos empresários possam garantir melhor aproveitamento na adesão das práticas da manufatura aditiva em seu processo produtivo. Após analisar algum ganho de escala com a inserção da nova tecnologia, a figura 27 mostra importantes passos que devem ser levados em consideração:



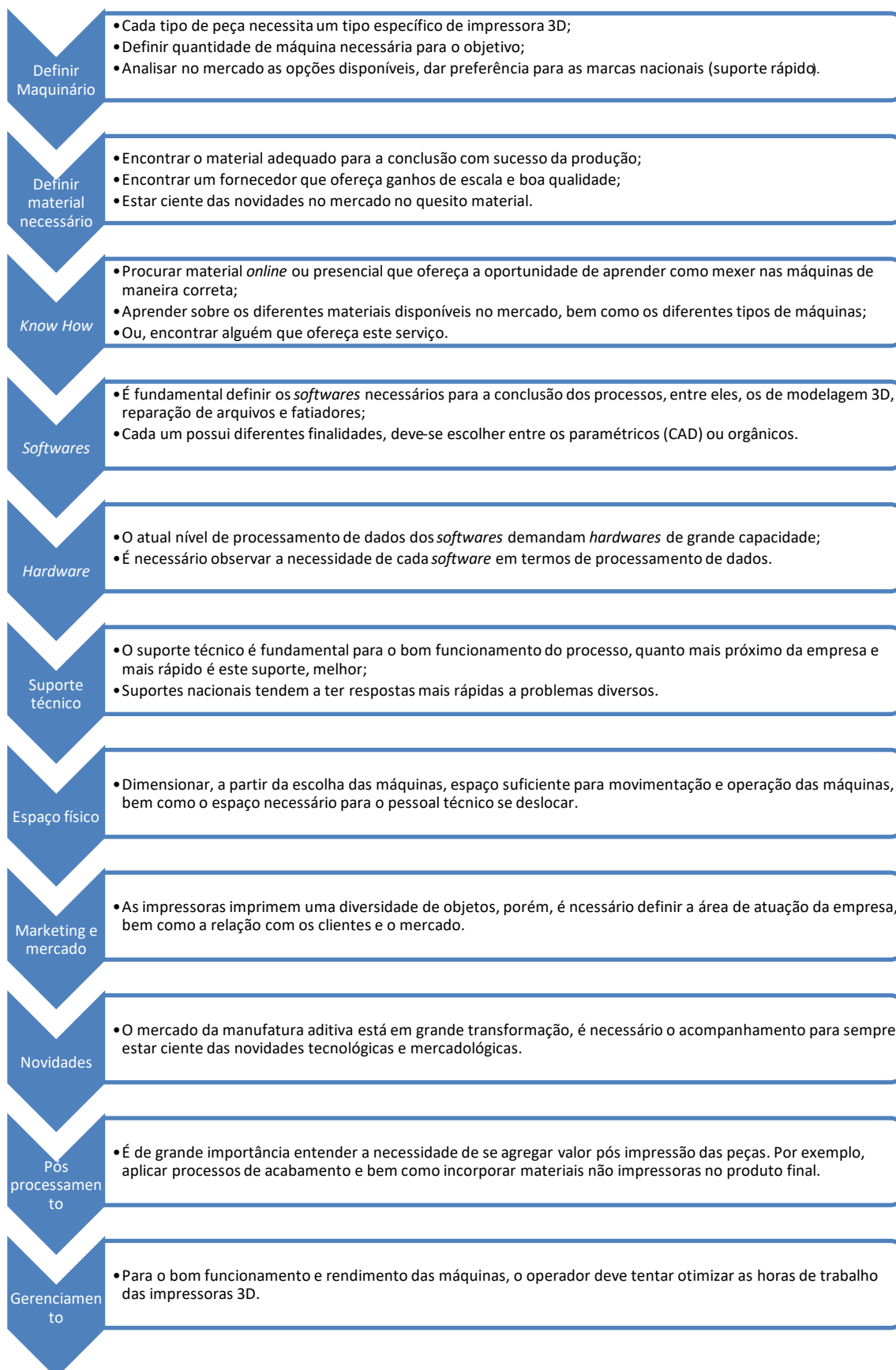


Figura 27: Diretrizes  
 Fonte: Pesquisa direta (2019)

No caso da empresa Cubo Maker, a adoção de métodos presentes na indústria 4.0 ocorreu de maneira diferente da tradicional. Pois, a manufatura aditiva possibilitou à empresa a criação de processos únicos. Em um caso tradicional, processos antes feitos por diferentes tipos de manufatura, são substituídos pelo uso de impressoras 3D a fim de otimizarem o processo ou reduzir custos.

Foi fundamental que a empresa observasse as vantagens e desvantagens da nova tecnologia, e assim, tomasse partido das possíveis benfeitorias que a nova tecnologia pudesse trazer.

Na tabela 6 é possível observar resumidamente as vantagens e desvantagens do uso da manufatura aditiva para um ambiente fabril.

Tabela 6: Vantagens e desvantagens da manufatura aditiva

| Vantagens   | Desvantagens  |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação de peças únicas</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Processo lento</li> </ul>                                      |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do peso final de peças</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maquinário caro</li> </ul>                                     |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prototipagem rápida</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Material caro</li> </ul>                                       |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução de desperdícios</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pequenos ganhos de escala para grandes lotes</li> </ul>        |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibilidade de se ter vários centros produtivos, perto dos clientes</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grande <i>Know How</i> para utilização das máquinas</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução da quantidade necessária de interação humana</li> </ul>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor precisão dimensional</li> </ul>                          |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grande apoio da comunidade Maker.</li> </ul>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de legislação</li> </ul>                                 |

Fonte: Pesquisa direta (2019)

Portanto, para se atestar a implementação ou não, de pilares da indústria 4.0 em processos produtivos diversos, de pequenas e médias empresas, é necessário que os empresários envolvidos analisem as vantagens e desvantagens da sua implementação.

Além disto, os mesmos empresários também podem estudar possibilidades diversas quanto à implementação de projetos que se utilizem da indústria 4.0 para enriquecer seus portfólios. Este é caso da empresa Cubo Maker, que vem buscando otimizar e inovar nos seus processos produtivos.

Conclui-se também que o uso da manufatura aditiva para a empresa citada é de extrema importância. Não seria possível aprimorar as vertentes da empresa sem o uso das impressoras 3D, elas são essenciais ao processo.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa pesquisa teve como objetivo realizar uma análise de algumas diretrizes para o planejamento de serviços em manufatura aditiva para micro e pequenas empresas. Com base em uma revisão bibliográfica em artigos publicados, monografias, livros foi possível verificar os principais desafios encontrados por possíveis pequenos empresários para a adoção da manufatura aditiva em seus processos produtivos ainda se dá pela dificuldade e alto custo presente nesta nova tecnologia em nosso país. Observou-se por meio dos resultados do estudo de caso, que tecnologia cara pode não oferecer ganhos financeiros, o que resulta na não inserção desta prática.

Porém, o mercado no Brasil está ganhando força com a adesão de novas empresas no ramo. Portanto, não se deve esquecer de sempre procurar pela inovação. A indústria 4.0 como aqui explicado, oferecerá como outras revoluções industriais, ganhos de escala exponenciais.

De posse das diretrizes aqui expostas neste trabalho é possível prever situações indesejáveis na adoção deste recurso nas atividades fabris de pequeno porte. É fundamental, a partir das mesmas, estabelecer metas para uma futura implementação da manufatura aditiva ou total substituição da manufatura tradicional por esta nova tecnologia.

Para as sugestões de pesquisas futuras deste trabalho, seria relevante a criação de diretrizes para a inserção também de outros pilares da indústria 4.0 nos processos produtivos de micro e pequenas empresas. Assim, as empresas poderiam disfrutar no futuro de outros benefícios advindos das novas e promissoras tecnologias da indústria 4.0.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMADA-LOBO, Francisco. **The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES)**. Journal of innovation management, v. 3, n. 4, p. 16-21, 2015.

AZEVEDO, Fábio Mariotto de et al. **Estudo e projeto de melhoria em máquina de impressão 3D**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BASL, Josef. **Companies on the way to industry 4.0 and their readiness**. Journal of Systems Integration, v. 9, n. 3, p. 3-6, 2018.

BERMAN, Barry. **3-D printing: The new industrial revolution**. Business horizons, v. 55, n. 2, p. 155-162, 2012.

BIRCHNELL, Thomas; URRY, John. **A new industrial future?: 3D printing and the reconfiguring of production, distribution, and consumption**. Routledge, 2016.

CONNER, B. P., MANOGHARAN, G. P., MARTOF, A. N., RODOMSKY, L. M., RODOMSKY, C. M., JORDAN, D. C., & LIMPEROS, J. W. (2014). **Making sense of 3-D printing: Creating a map of additive manufacturing products and services**. Additive Manufacturing, 1, 64-76.

DUDEK, P. F. D. M. **FDM 3D printing technology in manufacturing composite elements**. Archives of Metallurgy and Materials, v. 58, n. 4, p. 1415-1418, 2013.

FIRJAN. **Indústria 4.0: Panorama da Inovação**. 2016

FONTELLES, Mauro José, Marilda Garcia SIMÕES, Samantha Hasegawa FARIAS e Renata Garcia Simões FONTELLES. **Metodologia da pesquisa científica: diretrizes para a elaboração de um protocolo de pesquisa**. Revista Paraense de Medicina, 23.3: 1-8, 2009.

GIL, A. C. **Estudo de Caso**. São Paulo: Atlas, 2009.

Gomes, R., Souza, E. R. D., Minayo, M. C. D. S., Malaquias, J. V., & Silva, C. F. R. D. (2005). **Organização, processamento, análise e interpretação de dados: o desafio da triangulação**. Editora Fiocruz.

HIEMENZ, Joe. **3D printing with FDM: How it Works**. Stratasys Inc, v. 1, p. 1-5, 2011.

HOPKINSON, Neil; DICKNES, P. **Analysis of rapid manufacturing—using layer manufacturing processes for production**. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, v. 217, n. 1, p. 31-39, 2003.

- KUSIAK, A. et al. **Smart manufacturing, International Journal of Production Research**, Iowa USA, 2007. DOI: 10.1080/00207543.2017.1351644
- LIPSON, Hod; KURMAN, Melba. **Fabricated: The new world of 3D printing**. John Wiley & Sons, 2013.
- MANNERS-BELL, John; LYON, Ken. **The implications of 3D printing for the global logistics industry**. Transport Intelligence, p. 1-5, 2012.
- MINAYO, M. C. S. et al. **Avaliação por triangulação de métodos: Abordagem de Programas Sociais**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2010. pp. 19-51.
- OLIVEIRA, Elisângela Magela. **Transformações no mundo do trabalho, da revolução industrial aos nossos dias**. Caminhos de Geografia, v. 6, n. 11, p. 84-96, 2004.
- PÎRJAN, Alexandru et al. **The impact of 3D printing technology on the society and economy**. Journal of Information Systems & Operations Management, v. 7, n. 2, p. 360-370, 2013.
- RÜßMANN, M., LORENZ, M., GERBERT, P., WALDNER, M., JUSTUS, J., ENGEL, P., & HARNISCH, M. **Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries**. Boston Consulting Group, v. 9, n. 1, p. 54-89, 2015.
- SCHRÖDER, Christian. **The challenges of industry 4.0 for small and medium-sized enterprises**. Friedrich-Ebert-Stiftung: Bonn, Germany, 2016.
- SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial**. Edipro, 2019.
- SEALY, Winston. **Additive manufacturing as a disruptive technology: how to avoid the pitfall**. American Journal of Engineering and Technology Research, v. 11, n. 10, 2012.
- SILVEIRA, Cristiano Bertulucci; LOPES, GUILHERME CANO. **O que é indústria 4.0 e como ela vai impactar o mundo**. Acesso em, v. 15, 2019.
- WONG, Kaufui V.; HERNANDEZ, Aldo. **A review of additive manufacturing**. ISRN Mechanical Engineering, v. 2012, 2012ring, v. 2012, 2012.
- YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001

## UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

## APÊNDICE A – EXEMPLO DE PREMIAÇÃO 1

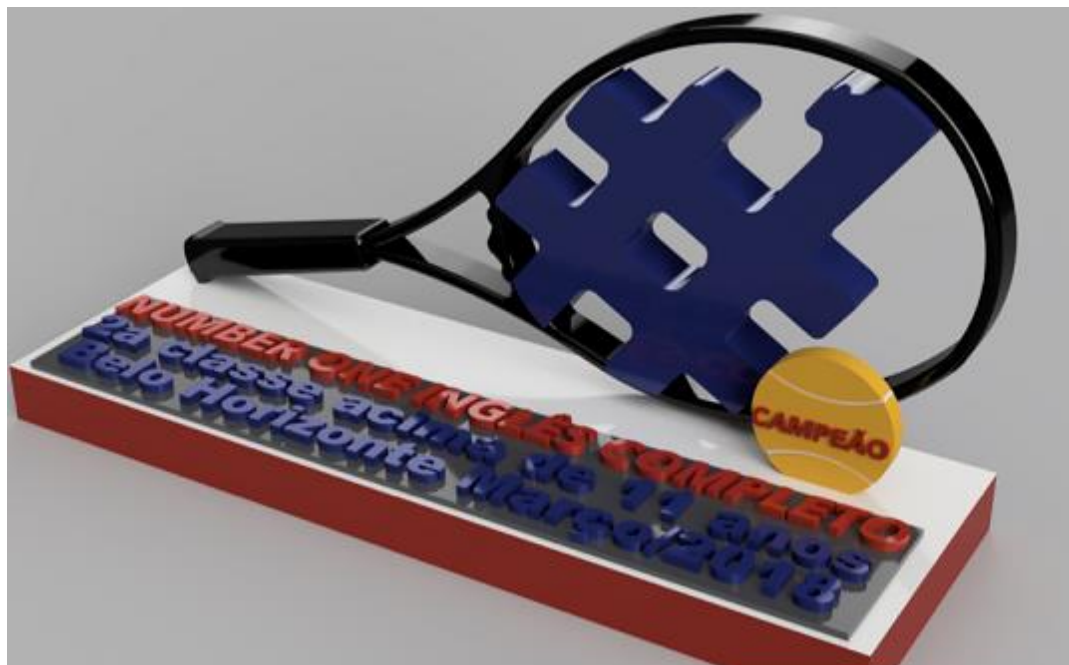


Figura 28: Exemplo de outros trabalhos  
Fonte: Pesquisa direta (2019)

## UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

## APÊNDICE B – EXEMPLO DE PREMIAÇÃO 2



Figura 29: Exemplos de outros trabalhos  
Fonte: Pesquisa direta (2019)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

APÊNDICE C – EXEMPLO DE UMA PROTEÇÃO DE UMA CVT



Figura 30: Exemplos de outros trabalhos  
Fonte: Pesquisa direta (2019)

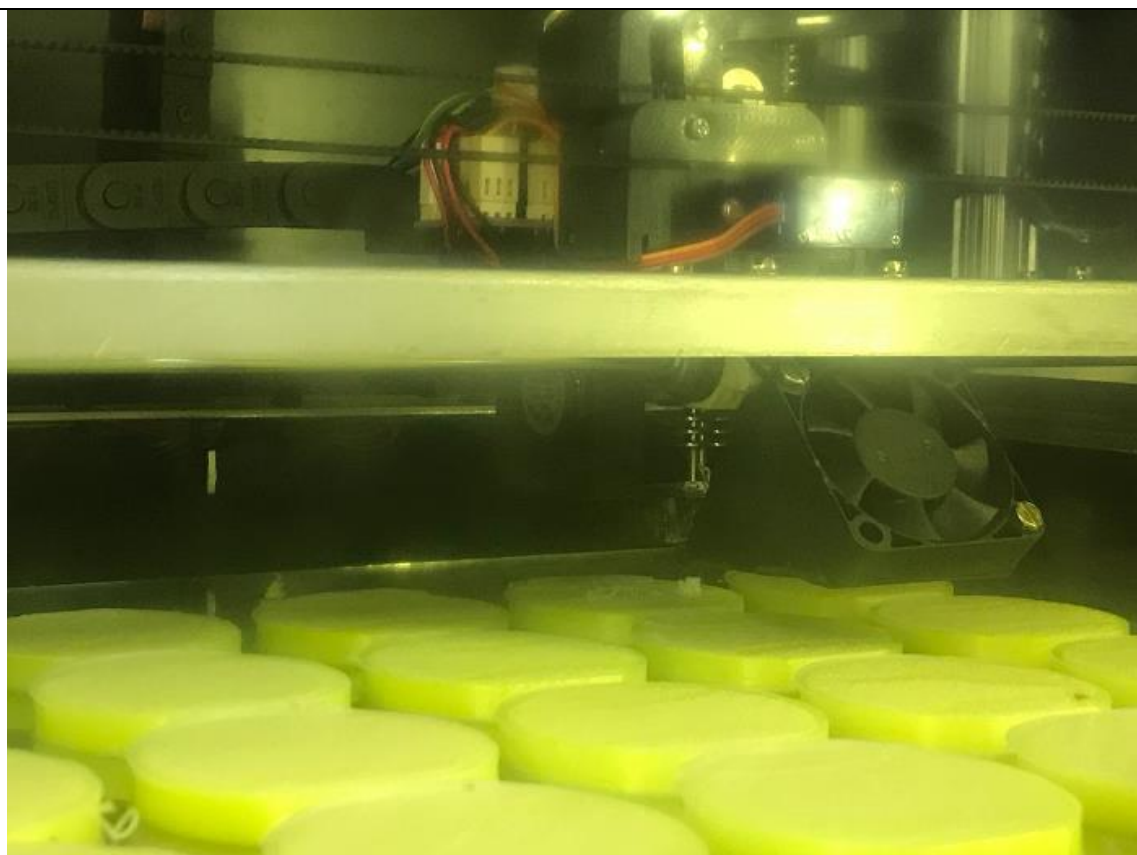
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO****APÊNDICE D – EXEMPLO DO INTERIOR DE UMA DAS MÁQUINAS**

Figura 31: Exemplos de outros trabalhos  
Fonte: Pesquisa direta (2019)