



**Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia**

**Otimização de custos de manutenção
utilizando Manufatura Aditiva em uma
Rotuladora Industrial**

Leonardo Felipe de Oliveira

PROJETO FINAL DE CURSO
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Brasília
2023

**Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia**

**Otimização de custos de manutenção
utilizando Manufatura Aditiva em uma
Rotuladora Industrial**

Leonardo Felipe de Oliveira

Projeto Final de Curso submetido como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro de Controle e Automação

Orientador: Prof. Dr. Jones Yudi Mori Alves da Silva

Brasília
2023

O48o Oliveira, Leonardo Felipe de.
Otimização de custos de manutenção utilizando Manufatura Aditiva em uma Rotuladora Industrial / Leonardo Felipe de Oliveira; orientador Jones Yudi Mori Alves da Silva. -- Brasília, 2023.
47 p.

Projeto Final de Curso em Engenharia de Controle e Automação -- Universidade de Brasília, 2023.

1. Manufatura Aditiva. 2. Manutenção. 3. Impressão 3D. 4. Indústria 4.0. I. Mori Alves da Silva, Jones Yudi, orient. II. Título

**Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia**

**Otimização de custos de manutenção utilizando
Manufatura Aditiva em uma Rotuladora Industrial**

Leonardo Felipe de Oliveira

Projeto Final de Curso submetido como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro de Controle e Automação

Trabalho aprovado. Brasília, 10 de fevereiro de 2023:

Prof. Dr. Jones Yudi Mori Alves da Silva,
UnB/FT/ENM
Orientador

Prof. Dr. Eugênio Libório Feitosa
Fortaleza, UnB/FT/ENM
Examinador interno

Prof. Dr. Sanderson César Macedo
Barbalho, UnB/FT/EPR
Examinador interno

Engº Márcio André Silva Gontijo
Examinador externo

Brasília
2023

Este trabalho é dedicado à minha família.

Agradecimentos

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, por ter possibilitado a realização dessa conquista. Agradeço aos meus pais, José Antônio de Oliveira e Leila Felipe Lima de Oliveira, por todo esforço e dedicação na minha formação, tenho muito orgulho de vocês dois. Agradeço ao incentivo e ajuda das minhas irmãs, meu irmão e namorada.

Resumo

O aumento crescente de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 são essenciais para o desenvolvimento industrial, o uso da manufatura aditiva através de impressoras 3D vem se mostrando cada vez mais forte. Um processo essencial em uma linha de produção é a manutenção dos equipamentos da linha, o que garante a confiabilidade das máquinas, esse é um fator primordial e permite que a disponibilidade das máquinas para produtividade seja a melhor possível. Para ter uma manutenção efetiva é necessário obter peças no local certo e na hora certa, pois o custo de uma linha produtiva parada é muito expressivo em um planta industrial, além de gerar prejuízos de volume, gera mais custos para cumprir os compromissos com o cliente. Este trabalho busca evidenciar os benefícios práticos do uso dessa tecnologia em uma indústria alimentícia, testando a substituição de peças originais por outras fabricadas in loco, como forma de reduzir a cadeia de suprimentos de manutenção. Foi utilizada uma máquina de rotulagem de embalagens para desenvolvimento de peças e melhorias. O uso dessa tecnologia gerou resultados financeiros expressivos dentro da fábrica analisada, mostrando que a produção de peças nessa abordagem, além de sustentar uma manutenção mais efetiva, gera redução de custos e melhorias na própria máquina.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva. Manutenção. Impressão 3D. Indústria 4.0.

Abstract

The increase in the insertion of Industry 4.0 enabling technologies in the national industry is essential for its development and modernization. Among these technologies, additive manufacturing through 3D printers is proving increasingly vital. An essential process in a production line is the maintenance of the installed equipment, which ensures the reliability of the machines. This is a primary factor and allows the availability of machines for productivity to be the best possible. To have effective maintenance, it is necessary to obtain parts in the right place and at the right time because the cost of a stopped production line is very expressive in an industrial plant. Besides generating volume losses, it generates more costs to fulfil the commitments with the customer. This work seeks to evidence the practical benefits of using this technology in the food industry, testing the substitution of original parts for others manufactured in loco to reduce the maintenance supply chain. A packaging labelling machine was studied to support the design of parts and improvements. This technology generated expressive financial results inside the analyzed factory, showing that the production of parts in this approach sustains effective maintenance and generates cost reduction and improvements in the machine itself.

Keywords: Additive Manufacturing. Maintenance. 3D Printring. 4.0 Industry.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Pilares da Indústria 4.0	12
Figura 2 – Estrutura de Manutenção Industrial	14
Figura 3 – Método de Impressão	17
Figura 4 – Fluxograma de Processos	19
Figura 5 – Método de Impressão SLA	19
Figura 6 – Método de Impressão SLS	20
Figura 7 – Método de Impressão FDM	20
Figura 8 – Creality CR10 - V3	21
Figura 9 – Direct Drive VS Bowden Drive	22
Figura 10 – Marcas Utilizadas pela 3D Criar	23
Figura 11 – Ultimaker S5	24
Figura 12 – Columbus	25
Figura 13 – Esponja Original	26
Figura 14 – Modelos Desenvolvidos	27
Figura 15 – Primeiros Modelos Desenvolvidos	27
Figura 16 – Esponja com Batente Circular	28
Figura 17 – Primeiros Modelos Desenvolvidos	28
Figura 18 – Comparativo entre peça 09 e 10	29
Figura 19 – Modelo Final	29
Figura 20 – Modelo Final Renderizado	29
Figura 21 – Tulipa - Peça Original	30
Figura 22 – Movimento da Tulipa	31
Figura 23 – Corte na seção transversal da peça	32
Figura 24 – Tulipa Renderizada	32
Figura 25 – Exemplo de peça com Stringing	33
Figura 26 – Passo a Passo para Meno de Configurações	34
Figura 27 – Simulação Via Software	35
Figura 28 – Simulação Via Software	36
Figura 29 – Montagem	36
Figura 30 – Esponja em Operação	37
Figura 31 – Tulipa Final	38
Figura 32 – Tulipa após 30 dias	38
Figura 33 – Redução de Custo por peça no Ano	40

Lista de tabelas

Tabela 1 – Parâmetros para Configuração de Impressão.	18
Tabela 2 – Parâmetros de Impressão-Esponja.	34
Tabela 3 – Parâmetros de Impressão-Tulipa.	35
Tabela 4 – Custo de Compra das peças.	39
Tabela 5 – Custo de Produção das peças.	39
Tabela 6 – Frequência de trocas com as peças originais.	39
Tabela 7 – Frequência de trocas com as peças feitas nas impressora 3D.	40
Tabela 8 – Custo de Compra x Produção das peças no ano.	40
Tabela 9 – Tempo de Impressão das peças.	41
Tabela 10 – Tempo de uso da máquina	42

Lista de abreviaturas e siglas

AM	Additive Manufacturing	16
FDM	Fusion Decompositon Material	16
I_I	Investimento Inicial	16
IoT	Internet of Things	16
MA	Manufatura Aditiva	16
P_S	Produção Semanal	16
R_E	Redução de Custo Unitário da Esponja	16
R_M	Redução de Custo Unitário Média	16
R_S	Redução de Custo Semanal	16
R_T	Redução de Custo Unitário da Tulipa	16
SLA	Stereolithography	16
SLS	Selective Laser Sintering	16
T_E	Tempo Médio de Produção Unitário Esponja	16
T_M	Tempo Médio de Produção	16
T_o	Tempo de Ocupação	16
T_T	Tempo Médio de Produção Unitário Tulipa	16
UnB	Universidade de Brasília	16

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Contextualização	12
1.2	Entendendo o Problema	13
1.2.1	Manutenção Industrial	13
1.3	Objetivo	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	Impressão 3D	17
2.1.1	Tipos de Impressão 3D	18
2.1.1.1	SLA - Estereolitografia	18
2.1.1.2	SLS - Sinterização Seletiva a Laser	19
2.1.1.3	FDM - Modelagem de Deposição de Material Fundido	20
2.2	Mercado Brasileiro	22
2.2.1	3D Criar	22
2.2.2	Forge 3D	23
2.2.3	Outras Empresas	25
3	MÉTODOS	26
3.1	Engenharia Reversa	26
3.1.1	Modelagem 3D	26
3.1.1.1	Peça 01 - Esponja	26
3.1.1.2	Peça 02 - Tulipa	30
3.2	Configuração do Software	33
3.2.1	Esponja	33
3.2.2	Tulipa	35
3.3	Peças Produzidas	36
3.3.1	Esponja Produzida	36
3.3.2	Tulipa Produzida	37
3.4	Análise de Custo	39
4	CONCLUSÕES	43
	REFERÊNCIAS	45

1 Introdução

1.1 Contextualização

Entre os grandes marcos de inovação na indústria, a Indústria 4.0 proporciona melhorias em toda a cadeia produtiva, desde a condição de trabalho de um operador no chão de fábrica até a geração de dados. Um pilar muito importante são os sistemas ciber físicos, são sistemas que armazenam informações e dados do processo produtivo em tempo real, integrando ao mundo digital e físico, otimizando a tomada de decisão mais assertiva por parte da alta administração, de maneira descentralizada e autônoma (SILVA, 2022).

Segundo a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, a adoção de conceitos da indústria 4.0 na matriz produtiva brasileira poderia gerar economia de R\$ 73 bilhões por ano. Os nove pilares para a Indústria 4.0 são:

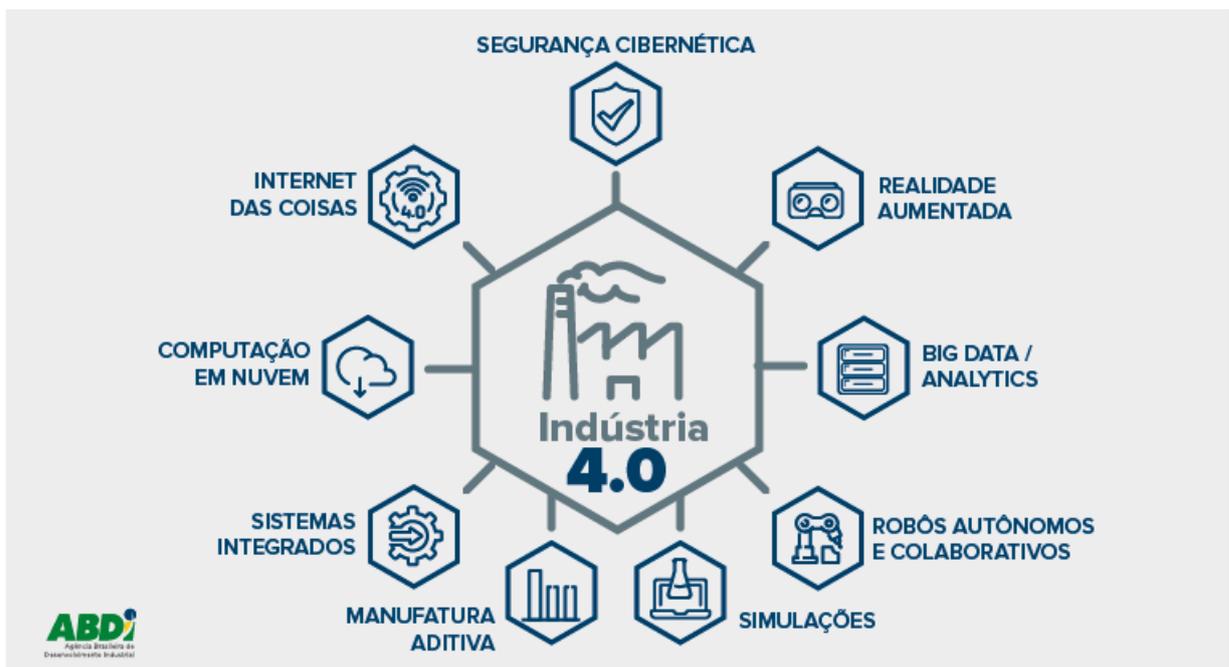


Figura 1 – Pilares da Indústria 4.0

Fonte: Rotta (2022)

A junção dessas tecnologias formam todo o sistema de inovação, baseado em conectividade, processamento de dados, sistemas cyberfísicos, agilidade e melhoria de processos que as grandes indústrias buscam.

1.2 Entendendo o Problema

O ambiente competitivo de uma grande indústria é o que faz com ela seja destaque em relação à concorrência, agregar valor aos negócios e reduzir os custos é o sonho de qualquer empresário que pense no longo prazo e na perpetuação de seu negócio. Em meio a uma era digital e inovadora, empresas que não conseguem se adequar e utilizar as tecnologias para melhorar seus processos produtivos e organizacionais são alvos da perda de mercado e se tornam menos competitivas.

Além de focarmos apenas na redução de custos, outro fator importante é a necessidade de sobrevivência de certos equipamentos, segundo o jornal [Globo \(2023\)](#) os equipamentos do chão de fábrica brasileiro é até três vezes mais antigo do que em países ricos, isso significa que muitas máquinas funcionais não possuem suas peças sendo fabricadas pelo fabricante original. Como fazer para trocar peças de equipamentos nessa situação ?

A compra de um equipamento novo ou retrofit de um equipamento antigo ocasionam a parada de toda uma linha de produção e isso causa perda de volume e prejuízos financeiros, logo a utilização da Manufatura Aditiva para produção de peças se torna uma realidade necessária dentro de uma indústria. Segundo o portal G1, no ano 2022, uma única unidade da Cervejaria AmBev economizou cerca de R\$ 300.000,00 com o uso da tecnologia, além disso, o funcionário da Empresa disse ([TECHNOLOGIES, 2023](#)):

"Além disso, já conseguimos evitar paradas da linha de produção, graças às peças de reposição que conseguimos projetar e produzir dentro de oito horas. A peça que viria de frete aéreo demoraria, ao menos, dois dias para chegar, e teria um custo elevadíssimo"

Impacto vai além do custo, o aumento da confiabilidade das máquinas aumenta, pois peças que antes não existiam e seriam trocadas nos piores cenários (no momento da quebra), agora são produzidas em algumas horas dentro da própria fábrica, gerando maior controle da equipe de manutenção da planta fabril.

1.2.1 Manutenção Industrial

O setor de manutenção dentro de uma grande indústria é essencial para garantir que os equipamentos funcionem da melhor maneira possível, o valor relacionado à manutenção em uma empresa desse porte está na casa das dezenas de milhões de reais, encontrar modos para reduzir esse custo é necessário. Existem três principais tipos de Manutenção: Preditiva, Preventiva, Corretiva.

Segundo [PASCHOAL et al. \(2009\)](#), a Manutenção Preventiva como o próprio nome sugere, busca a prevenção de falhas que podem ocasionar a parada ou o baixo rendimento dos equipamentos. A equipe de manutenção busca fazer a intervenção antes de que a falha aconteça. As prevenções da Equipe Preventiva seguem um plano de manutenção que é feito

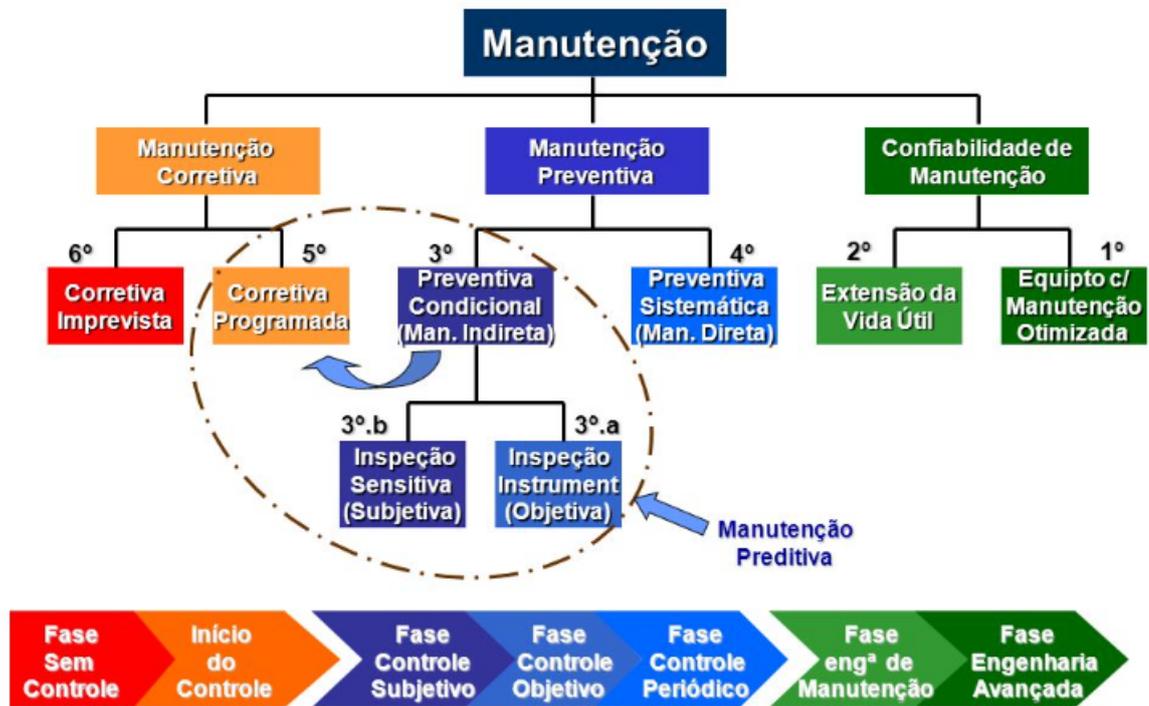


Figura 2 – Estrutura de Manutenção Industrial

Fonte: Almeida (2023)

baseado no estado do equipamento, na função do equipamento, nas condições de operação da máquina, recomendações feitas pelo fabricante, entre outros dados. Porém, esse tipo de manutenção pode gerar um alto custo envolvido, pois muitas peças podem estar em boa condição de operação e muitas vezes é trocada de maneira prematura, o que faz com que a falha não aconteça, mas aumenta o custo com manutenção em uma planta fabril. O fluxo de decisão da Manutenção

A Manutenção Corretiva é uma maneira de manutenção mais aleatória, não é prevista, nesse tipo de manutenção a intervenção é feita após a falha ter acontecido, por exemplo: a quebra de um eixo de motor que ocasiona a parada total da linha de produção. Esse tipo de manutenção é a menos desejada de todas, pois a linha pode ficar parada ou com baixo rendimento, ocasionando uma perda muito maior na produtividade da linha, gerando mais custo e impacto nos equipamentos (OTANI; MACHADO, 2008)

Já a Manutenção Preditiva é uma combinação entre as manutenções anteriores, mas que visa encontrar possíveis falhas antes delas acontecerem, dessa maneira a equipe de manutenção já fica preparada para atuar antes da falha acontecer, para isso é necessário a inserção de um sistema de controle e monitoramento da máquina para poder entender os padrões e melhorar a tomada de decisão da equipe.

Para se implementar conceitos da Manutenção Preditiva, pode-se utilizar conceitos

da Indústria 4.0, como Internet Das Coisas, Machine Learning, Sistemas Integrados, Computação em Nuvem e Big data, em busca de conseguir sistemas de controle de baixo custo com acesso a internet e com aprendizado para poder identificar padrões e conseguir fornecer dados cada vez melhores, gerando uma rede de conexão entre manutenção e equipamento. As principais técnicas de Manutenção Preditiva são:

- Análise de Vibrações
- Análise de Temperatura
- Análise de Lubrificantes
- Termografia

O conceito de confiabilidade é a capacidade de um item ou equipamento desempenhar satisfatoriamente a função requerida, sob condições de operação estabelecidas, por um período determinado, (PASCHOAL et al., 2009). Na manutenção, a área de confiabilidade está em busca otimizar a manutenção e aumentar ao máximo a vida útil de um componente de maneira confiável.

A Manufatura Aditiva se conecta com as três formas de manutenção, as peças produzidas podem ser incluídas no almoxarifado de peças e ficam à disposição para atividades preventivas, corretivas e preditivas, gerando facilidade, redução de custo e agilidade na manutenção, visando garantir a confiabilidade das máquinas. Dessa maneira, a Manufatura Aditiva se torna uma ferramenta essencial para a implementação de estratégias para aumento da vida útil e otimização da manutenção, possibilitando inovar geometrias e tipos de materiais nas peças dos equipamentos.

1.3 Objetivo

Com todos os benefícios do uso da Manufatura Aditiva em uma indústria, este trabalho busca implementar melhorias de peças em uma Rotuladora de Garrafas de Vidro, em uma linha de produção o processo de rotulagem é essencial, pois é onde esta todas as características que o fornecedor irá ter o primeiro contato com o produto, qualquer variação no rótulo pode gerar reclamações via SAC, diminuindo a reputação da companhia, pois é um fator de qualidade do produto e qualidade é algo inegociável.

A máquina utilizada é Krones Solomatic, através um levantamento feito in loco em conjunto com o operador elite da máquina, gerou-se uma lista de peças com possibilidades de serem desenvolvidas através da impressão 3D, adaptando os critérios de (MATIAS, 2022) a necessidade da planta, temos os seguintes critérios para análise e viabilização de produção de peças:

- Peças que Impactam a Performance
- Tempo de Entrega
- Custo da peça

Em peças que impactam a Performance, temos peças que provocam um rotulagem ruim, quebra de garrafa (risco de segurança) e conseqüentemente parada de máquina (parada da linha de produção). O tempo de entrega (lead time) de uma peça é importante pois, não é viável uma linha produtiva ficar 2 dias parada aguardando a chegada dessas peças, todo esse mapeamento de quando a peça deve ser trocada é feita através do plano de manutenção, onde cada equipamento, subconjunto possui com todas as informações para manter a confiabilidade das máquinas o mais alto possível. O custo de uma peça é importante, mas uma máquina parada é muito caro, então por isso ele é o último indicador a ser observado. Será abordado as peças que foram definidas para esse trabalho e as melhorias obtidas com o desenvolvimento e implementação dessas peças.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Impressão 3D

A Manufatura Aditiva ou Impressão 3D é uma tecnologia que surgiu na década de 1980 com o processo de estereolitografia a partir de modelos 3D, processo solidifica camada por camada de um líquido polimérico sensível a luz através de um laser. O processo de estereolitografia foi desenvolvido por Charles Hull, fundador da empresa 3D Systems em 1986 após sua descoberta, inseriu o primeiro modelo comercial de sua invenção, de tal maneira que conseguiu atenção de grandes empresas, como General Motors e a Mercedes Benz. (WOHLERS; GORNET, 2023) (REVEILLEAU; MENEGHEL; SILVA, 2018)

Com o avanço de tecnologia, a impressão 3D foi ficando cada vez melhor, a iniciativa RepRap (REPRAP, 2023), criado em 2004, foi um fator de extrema importância para a disseminação da manufatura aditiva, pois foi uma comunidade de criação de impressoras 3D open source, o que viabilizou e popularizou a montagem de máquinas, além da criação de hardware e software utilizando componentes de baixo custo, como arduino e placas específicas, o que deixou o preço para obter uma máquina muito mais atrativo. O processo é dividido nas seguintes etapas:



Figura 3 – Método de Impressão

Fonte: Volpato (2017)

A Modelagem 3D deve ser feita através de software de CAD, como SolidWorks, Fusion 360, Freecad, entre outros. Nessa etapa é de extrema importância utilizar instrumentos de medição de qualidade para obter medições confiáveis da peça que será desenvolvida no computador.

A etapa de fatiamento é onde as configurações da impressão serão definidas, sendo

fundamental para as características mecânicas da peça, acabamento superficial e qualidade da impressão, existem vários software para o fatiamento, como Cura, Slic3r, Simplify3D, PrusaSlicer, esses software transformam o arquivo .STL em um programa de fabricação, utilizando o instruções do Gcode que é um padrão para controle de máquinas que utilizam controle numérico computadorizado (BAIÃO, 2012), os parâmetros que serão abordados são:

Tabela 1 – Parâmetros para Configuração de Impressão.

Nome do Parâmetro
Distância de Retração
Velocidade de Retração
Altura de Camada
Top/Bottom/Outline Solid Layers
Preenchimento
Padrão de Preenchimento
Velocidade de Impressão
Preenchimento do Suporte
Temperatura do Bico
Temperatura do Mesa

É importante lembrar que os padrões de impressão possuem outras configurações que podem variar, mas para esse trabalho, os citados acima são suficientes para o desenvolvimento feito. Quando o fatiamento é finalizado, é gerado um arquivo no formato de código G contendo todas as instruções para que a peça seja produzida, basta inserir esse arquivo, através de um pendrive ou sdcard na impressora e começar a imprimir.

Durante o processo de impressão, é necessário verificar o status para garantir que seja construída a melhor peça, após a finalização da peça inicia-se a etapa de validação da peça e melhoria geométrica e material. O Fluxograma de todo o processo é detalhado na figura 4

2.1.1 Tipos de Impressão 3D

2.1.1.1 SLA - Estereolitografia

Esse método de impressão utiliza laser e resina polimérica para construção de geometria, o laser é direcionado em pontos específicos da resina para solidificar um padrão camada a camada.(OCTOPRINTORG, 2023)(MORANDINI; VECHIO, 2020)

O método de impressão SLA deve ser mais cauteloso, pois a resina utilizada é tóxica e de alto custo. A precisão de processo é alta, entretanto fica limitado a materiais que

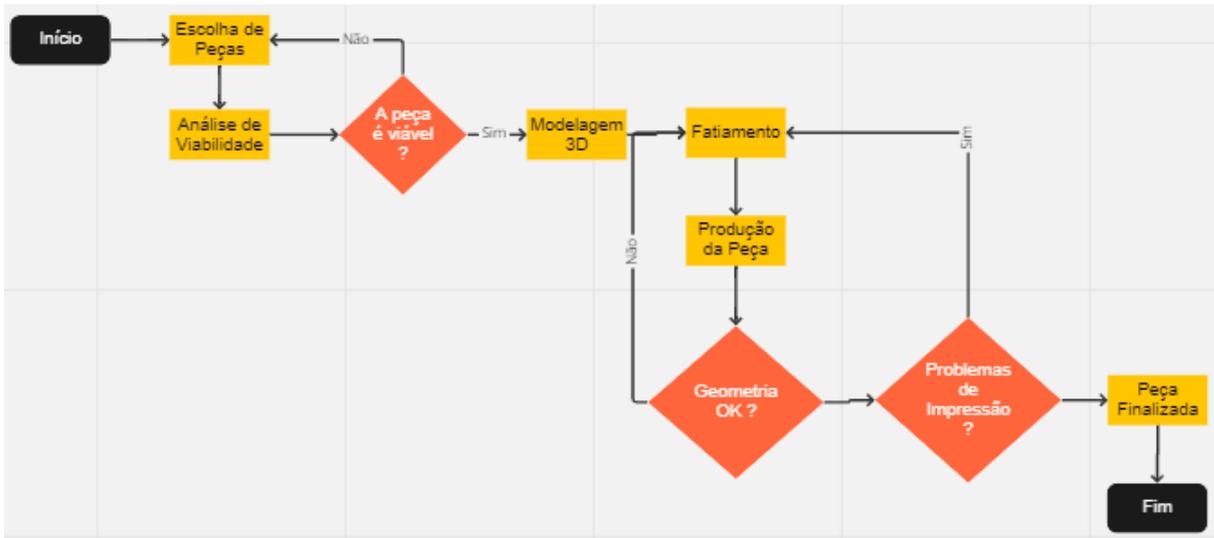


Figura 4 – Fluxograma de Processos

Fonte: Autor

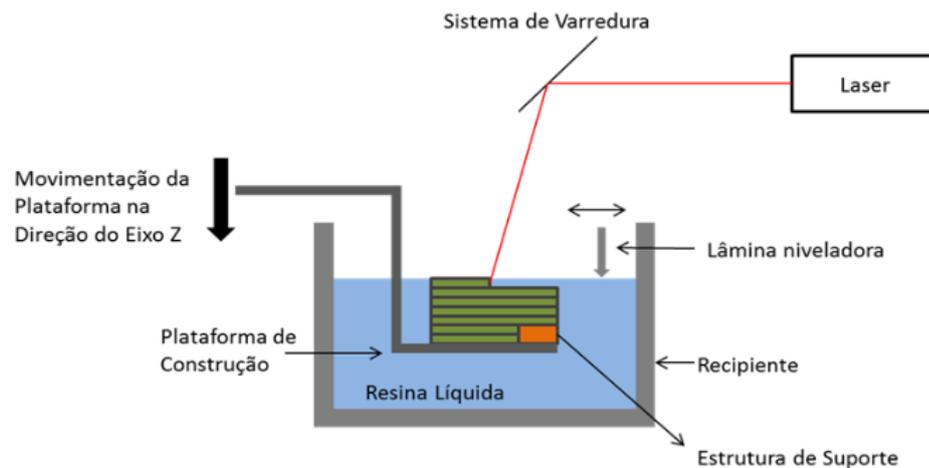


Figura 5 – Método de Impressão SLA

Fonte: Giordano, Senzi Zancul e Rodrigues (2016)

não possuem característica mecânica alta, com esse tipo de impressora é possível ter um excelente acabamento, além disso o tamanho de máquinas SLA é menor, possuindo uma pequena área de impressão.

2.1.1.2 SLS - Sinterização Seletiva a Laser

Esse processo de impressão utiliza um feixe laser para sinterizar de maneira seletiva de matéria-prima em pó que fica sobre a mesa de impressão. Essa tecnologia possibilita a produção de peças de materiais metálicos e poliméricos de maior capacidade mecânica. Uma grande vantagem da SLS é que não é necessário a criação de suportes especiais para formação de geometrias complexas, pois material não sinterizado servirá de suporte para o

material sinterizado.([ENGIPRINTERSL, 2023](#))

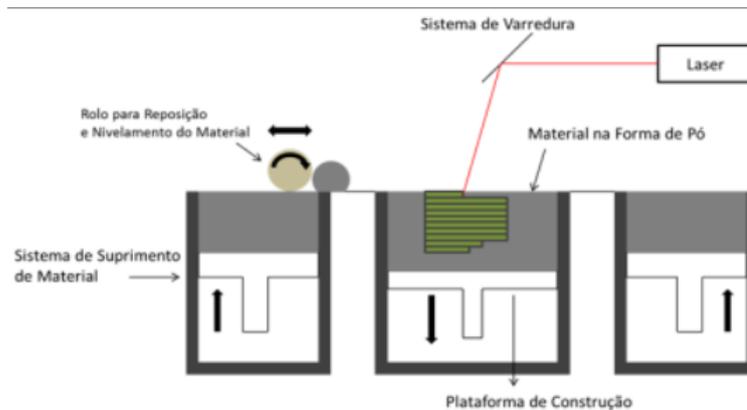


Figura 6 – Método de Impressão SLS

Fonte: [Giordano, Senzi Zancul e Rodrigues \(2016\)](#)

A impressão SLS possibilita o uso de criação de peças de alto desempenho, entretanto esse formato tem um custo de produção elevado, pois as máquinas são mais caras, outra vantagem é a possibilidade de produzir peças maiores, pois essas máquinas possuem uma área de impressão maior.

2.1.1.3 FDM - Modelagem de Deposição de Material Fundido

A tecnologia FDM é a mais difundida entre toda comunidade de impressão 3D, pois a sua facilidade de uso e o baixo custo são diferenciais no seu sucesso. O processo de impressão consiste na extrusão de filamento em um mesa de impressão através de um bico aquecido, o bico se movimento no plano X-Y paralelo a mesa de impressão, ao se finalizar cada camada, o bico ou a mesa (a depender da geometria da máquina) se movimenta no eixo Z para iniciar a criação de uma nova camada.([INTERNATIONAL, 2023a](#))

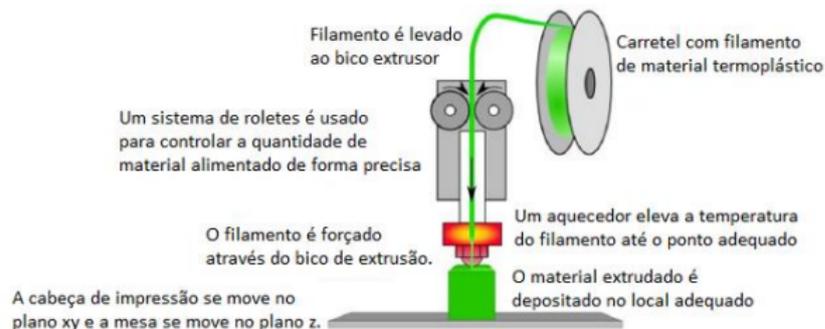


Figura 7 – Método de Impressão FDM

Fonte: [Oliveira et al. \(2018\)](#)

Apesar de ser a tecnologia mais difundida da tecnologia, ela apresenta algumas desvantagens como o acabamento da peça final, a precisão geométrica que possuem vários fatores que pode gerar deformação na peça final. Os materiais utilizados variam de acordo com a máquina disponível, pois algumas máquinas não possuem capacidade de imprimir alguns filamentos. Os materiais mais conhecidos são ABS, TPU, PLA, Tritan, Nylon, POM, Onyx. As máquinas variam, pois fatores como a possibilidade de imprimir materiais com mais qualidade mecânicas e com alta precisão impactam de maneira expressiva no valor da máquina.

Para o desenvolvimento desse trabalho foi utilizado a tecnologia FDM, através uma impressora Creality CR10 - V3, como o material utilizado foi o TPU, impressoras que possuem direct drive, apresentam melhor desempenho, pois o percurso que o filamento deverá fazer enquanto está tracionado é menor, gerando mais facilidade de impressão. Tem-se outras tecnologias de manufatura aditiva, como fusão por feixe de elétrons, processamento de luz digital, por exemplo.



Figura 8 – Creality CR10 - V3

Fonte: [TOPLINK3D \(2023\)](#)

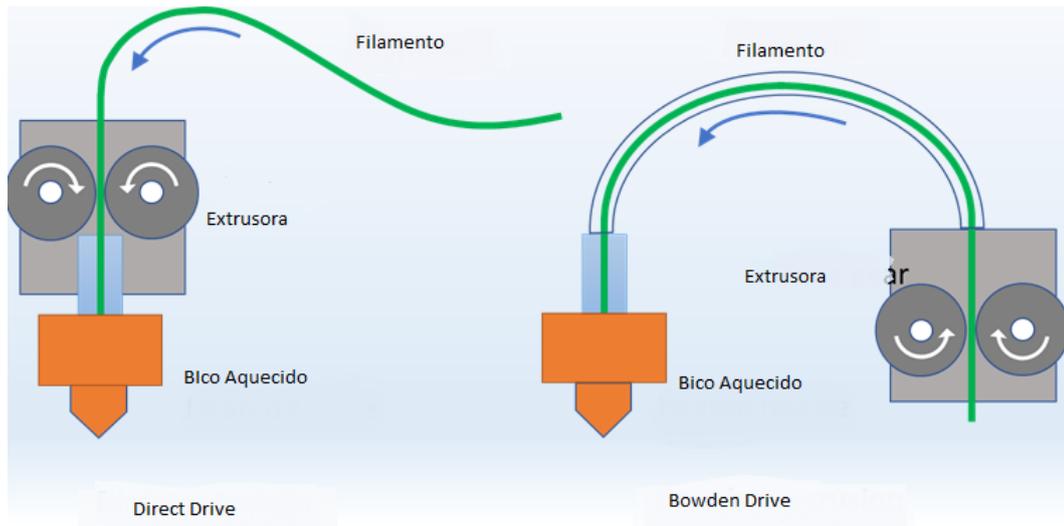


Figura 9 – Direct Drive VS Bowden Drive

Fonte: Adaptado de [fabWeaver \(2023\)](#)

2.2 Mercado Brasileiro

O Mercado de Impressão 3D no Brasil se mostra cada vez mais crescente, a criação de empresas que trabalham com a tecnologia cresceu de maneira expressiva com inserção de empresas produtoras de impressoras 3D, revendedoras e empresas que possuem soluções de impressão 3D para indústrias. Temos a seguinte divisão de empresas no atendimento da demanda, empresas que atendem o consumidor (Business to Consumer), ou seja, empresas que atendem pessoas físicas, como por exemplo empresas que produzem miniaturas através da impressão 3D e vendem.

O outro mercado, no qual esse trabalho é focado, é no modelo empresas que atendem empresas (Business to Business), no Brasil tem-se a presença de duas empresas:

2.2.1 3D Criar

Iniciada em 2015 a empresa é especialista em aplicações da impressão 3D na Indústria e na Educação com diversas parcerias com instituições públicas e empresas privadas. Em seu modelo de negócio, são disponibilizadas máquinas com tecnologia FDM, SLA e SLS. A principal ideia é utilizar os melhores fornecedores de impressoras 3D com alta consolidação no mercado e fornecer um plano de serviço. O 3D as a Service (3DaaS) é uma solução que visa a redução de custo e tempo através da impressão 3D, conta com os seguintes serviços ([CRIAR, 2023](#)):

- Instalação de impressoras 3D profissionais no espaço do cliente
- Formação em Manufatura Aditiva

- Consultoria continuada
- Manutenção preventiva da impressora 3D
- Manutenção corretiva da impressora 3D
- Franquia de uso da Central de Impressão com tecnologia FDM / SLA / SLS
- Atualização Tecnológica
- Descontos progressivos na compra de filamento de alto desempenho



Figura 10 – Marcas Utilizadas pela 3D Criar

Fonte: [Criar \(2023\)](#)

O plano mais adquirido da empresa é com a Ultimaker S5, uma máquina que custa cerca de R\$ 96.330,00. A empresa possui um plano onde em vez de comprar a impressora, é feito o programa 3DaaS, com um contrato de 24 meses no valor mensal de R\$ 6.258,00, durante todo o período de vigência do plano, têm-se o suporte da empresa, auxílio ao acessar todo ecossistema Ultimaker com vários perfis de filamentos disponíveis, treinamentos, consultorias e manutenções. A Ultimaker S5 possui uma volume útil de impressão de 330x240x300 mm, além de possui fatiador próprio, proporcionando facilidade e comunicação entre a comunidade de usuários da marca.

2.2.2 Forge 3D

A Forge 3D é uma empresa de impressão 3D brasileira, fundada em 2018 que obteve uma alavancagem em 2020 com a criação de sua própria impressora 3D para atender a uma grande indústria de alimentos. A impressora desenvolvida pela empresa é uma máquina que utiliza tecnologias open source e busca trazer simplicidade e confiabilidade no processo de impressão.

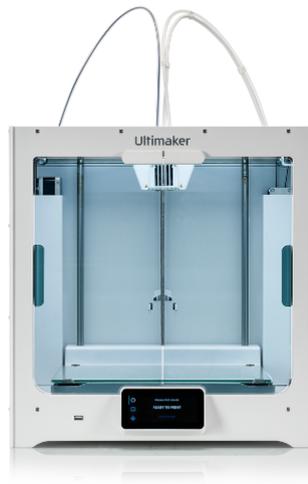


Figura 11 – Ultimaker S5

Fonte: [Ultimaker \(2022\)](#)

Do mesmo modo que a 3D Criar, a Forge oferece aos seus clientes um plano de serviços, de maneira que os clientes estejam amparados em relação a capacitação, manutenção e suporte para que a operação da máquina seja a melhor possível. No plano da empresa, tem-se:

- Envio da Impressora e instalação remota
- Treinamentos Online
- Acompanhamento semanais
- Suporte 24h - 7 dias por semana
- Peças para manutenção
- Plataforma de compartilhamento de projeto
- Updates e atualizações da máquina
- R\$ 480,00 de filamentos ao mês

O plano acima é denominado por MaaS - Manufacture as a Service, onde não está incluso a máquina, está incluso todo o ecossistema da Forge para suporte e consultoria em impressão 3D para melhorar a performance do cliente. O custo do plano é de R\$ 4.000,00 ao mês, com suporte de até 5 máquinas, acima de 5 o valor do plano passa por um ajuste por conta da quantidade de suprimentos. Uma impressora Columbus possui um volume de impressão de 300x300x300 mm, uma área grande, possibilitando a fabricação de várias

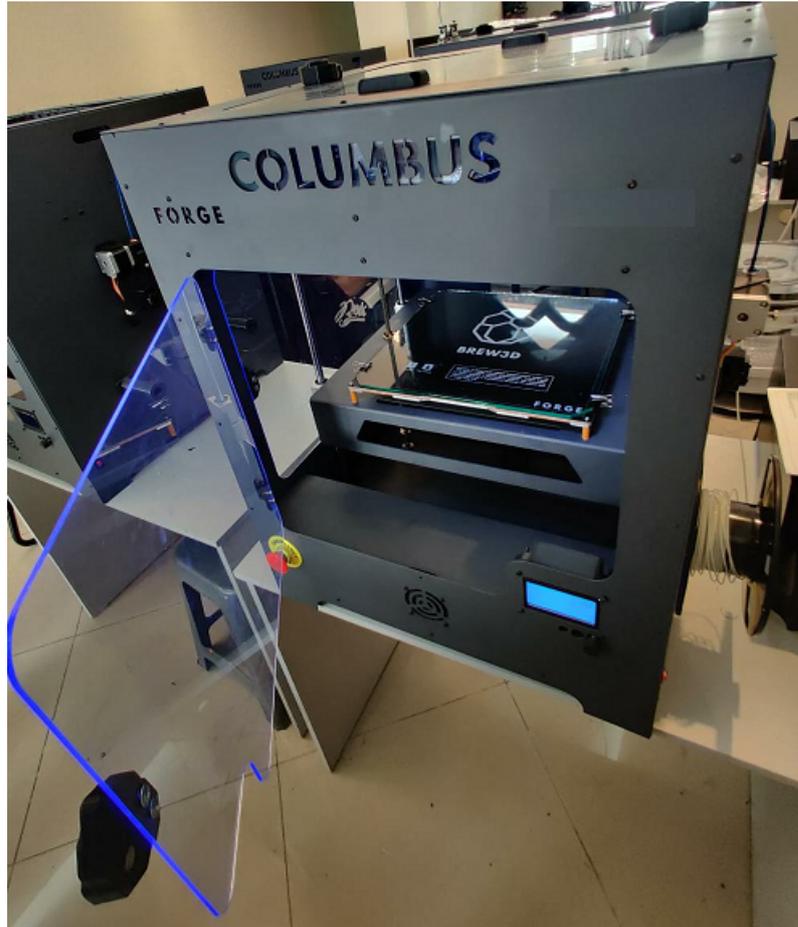


Figura 12 – Columbus

Fonte: Forge 3D

geometrias, o valor de uma impressora dessa é cerca de R\$ 24.000,00, variando de acordo com os opcionais disponíveis.

2.2.3 Outras Empresas

Olhando para os demais concorrentes, hoje há empresas que apenas fabricam máquinas, como a GTMAX(vários modelos de máquinas) e a Boa Impressão 3D(Stella 3D), o foco dessas empresas é produzir e vender máquinas, junto com upgrades, cursos e treinamentos. Por outro lado, há as empresas que buscam apenas revender impressoras, como Wishbox (treinamentos também), Toplink3D.3D Lab, que buscam revender máquinas para o mercado nacional. Além disso, existem empresas que atendem o mercado de encomendas, sendo algo muito local e de pequeno porte.

3 Métodos

3.1 Engenharia Reversa

Ao se definir as principais oportunidades de desenvolvimento através da impressão 3D é necessário o início do trabalho de Engenharia Reversa, ou seja, através da peça modelo desenvolver uma geometria 3D utilizando um software de modelagem 3D (Computer Aided Design), nesse caso foi utilizado o Autodesk Fusion 360. O processo de Engenharia Reversa pode ser um processo de tentativa e erro, até que se encontre a melhor geometria através do desenvolvimento e testes.

3.1.1 Modelagem 3D

3.1.1.1 Peça 01 - Esponja

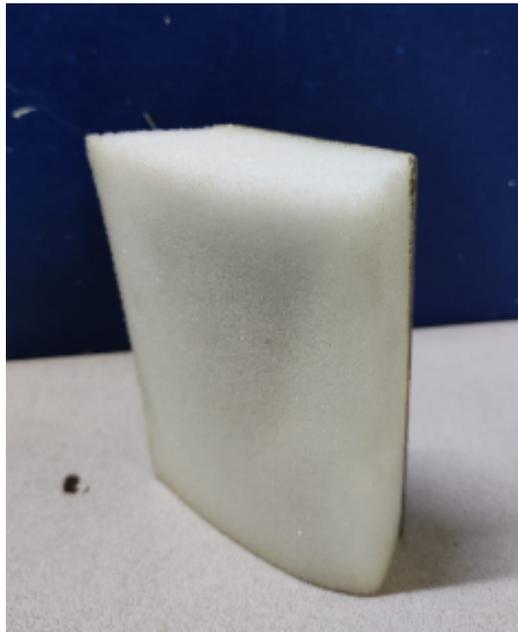


Figura 13 – Esponja Original

Toda a trilha de melhorias aplicadas no desenvolvimento da peça foram historiadas em versões Stereolithography (.STL) onde a cada upgrade foi necessário imprimir uma peça e testar na máquina. Foi utilizado técnicas de desenhos simples, através da medição com paquímetros e criação de esboços em papel para facilitar medições. A Esponja foi um peça que foi necessário desenvolver dez versões até poder chegar na versão final.

O primeiro desafio foi encontrar o ângulo de abertura correto:

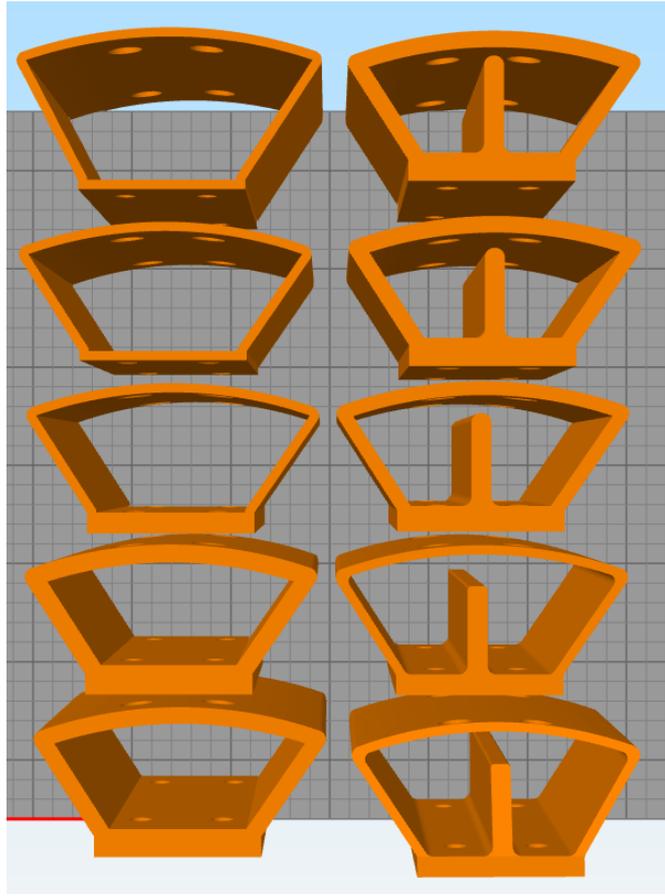
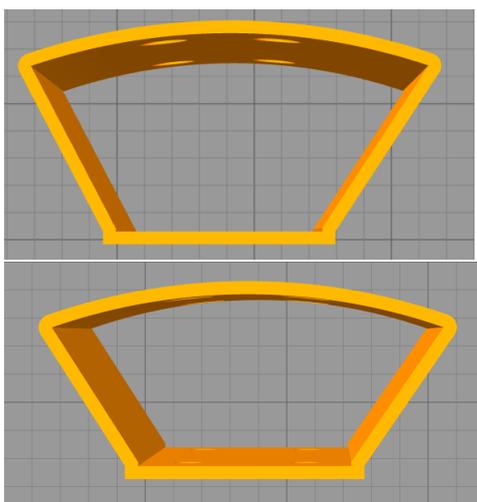
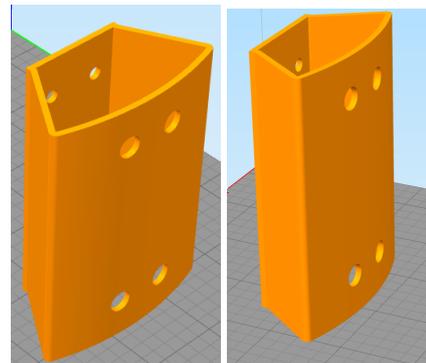


Figura 14 – Modelos Desenvolvidos



(a) Vista em Superior - Peças 01 e 02



(b) Vista em Perspctivas - Peças 01 e 02

Figura 15 – Primeiros Modelos Desenvolvidos

Outro ponto importante no desenvolvimento dessa peça é que ela simula um esponja,

ou seja, é necessário que o seu arco de circunferência ofereça uma resistência, mas que não seja muito alta, pois gerará um esforço sob o rótulo da garrafa, dando uma impressão de esmagamento do mesmo. Na figura 16 pode se observar o teste de várias espessuras, além da inclusão do um batente central.

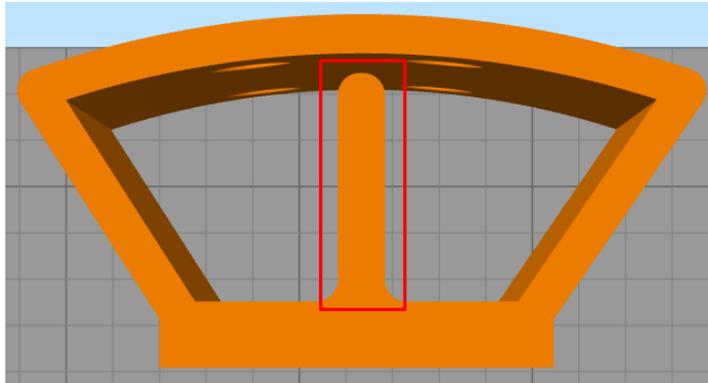
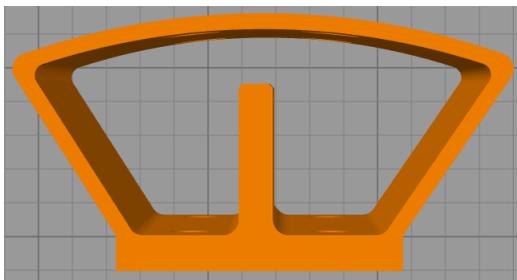
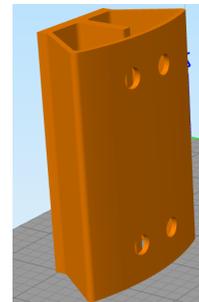


Figura 16 – Esponja com Batente Circular

Após a inclusão do batente e o teste das espessuras da peça para ser o mais semelhante a esponja original, têm-se o seguinte modelo:



(a) Vista em Superior - Peça 09



(b) Vista em Perspctiva - Peça 09

Figura 17 – Primeiros Modelos Desenvolvidos

Observa-se a mudança no batente para uma perfil quadrado, assim o resultados com testes em campos foram superiores, a capacidade da peça se recompor o arco após o esforço foi superior ao perfil circular, para a última versão foi necessário fazer um corte superior na peça para conseguir um melhor encaixe no cilindro de esponjas.

Após todas as modificações a versão que melhor funcionou em operação dessa peça foi a seguinte:

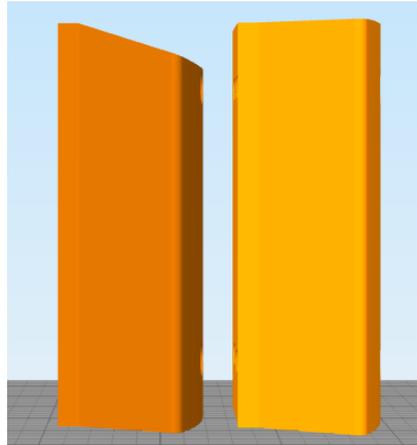
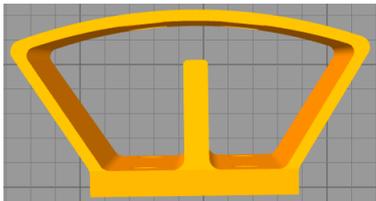
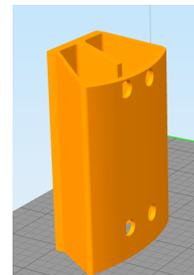


Figura 18 – Comparativo entre peça 09 e 10



(a) Vista em Superior - Peça Final



(b) Vista em Perspctiva - Peça Final

Figura 19 – Modelo Final



(a) Vista em Perspectiva 1



(b) Vista em Perspctiva 2

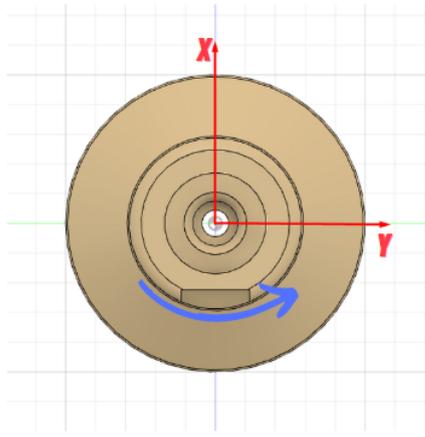
Figura 20 – Modelo Final Renderizado

3.1.1.2 Peça 02 - Tulipa



Figura 21 – Tulipa - Peça Original

A Tulipa é uma peça essencial para o processo de rotulagem da garrafa, ela é responsável por travar a garrafa, permitindo apenas o giro da mesma para que o rótulo seja inserido, ou seja a Tulipa permite que a garrafa gire em torno do seu próprio eixo, possibilitando o melhor tangenciamento do rótulo em relação a garrafa. Como pode ser visto abaixo:



(a) Vista Superior Modelo 3D



(b) Vista lateral Modelo Real

Figura 22 – Movimento da Tulipa

A má condição de uso dessa peça pode causar danos ao operador e toda eficiência de uma linha, pois a garrafa não ficará travada para o processo de rotulagem podendo sair pela tangente ocasionando sua quebra, em uma linha que produz cerca de 600 garrafas por minuto, a condição crítica de apenas uma tulipa gera a quebra de 11 garrafas por minuto, gerando paradas na linha para limpeza máquina. Tem-se ainda o risco da quebra de garrafas gerar outros problemas na máquina, como a quebra de outros componentes, sempre que uma garrafa é quebrada, a perda vai além do vidro, o custo associado a produção de uma garrafa está no líquido, rolha, rótulo, cola, água, vapor, energia elétrica, ar comprimido, gás. Quando comparada a primeira peça, o prejuízo associado a falha funcional é muito maior.

O desenvolvimento dessa peça quando comparada com a primeira peça foi mais simples, pois as suas geometrias são mais simples, a maior complexidade está no encaixe de uma esfera de metal para impedir o avanço do pistão que vai acoplado em cada peça. O alojamento da esfera está evidenciado em vermelho na [23](#) abaixo.

Após todos os testes em máquina e validação da geometria, tem-se o seguinte modelo:

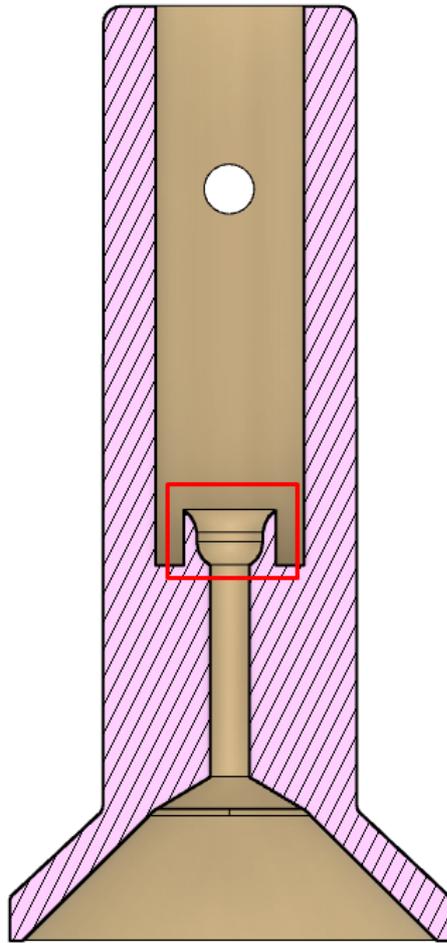
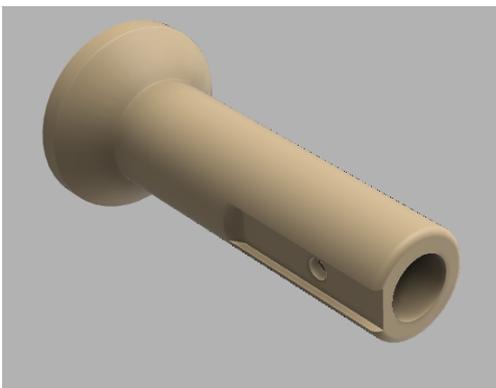
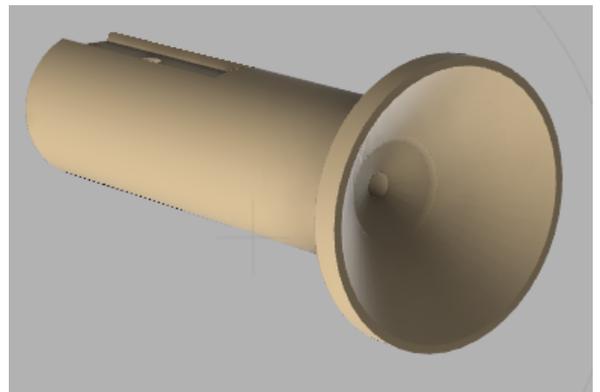


Figura 23 – Corte na seção transversal da peça



(a) Vista em Perspectiva 1



(b) Vista em Perspectiva 2

Figura 24 – Tulipa Renderizada

3.2 Configuração do Software

O processo de fatiamento é uma etapa essencial para determinação da peça final, qual será a orientação das camadas, preenchimento, espessura da camada, entre outras configurações que impactam nas características mecânicas da peça. O software de fatiamento utilizado foi o Simplify3D, a escolha desse software foi em razão das pessoas dentro da célula de materiais da empresa já tinham conhecimento dele.

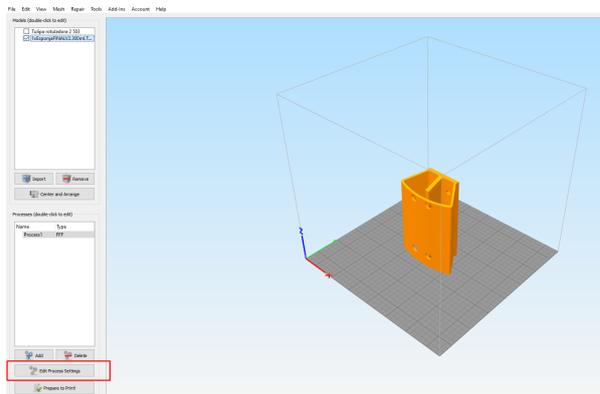
3.2.1 Esponja

Como mostrada, esse peça deve se comportar como um esponja, levando o rótulo até a garrafa, ou seja, ela deve ter flexibilidade. O filamento escolhido (TPU) é um filamento flexível e possui algumas particularidades no momento de ser utilizado, como uma baixa velocidade de impressão, visando uma melhor aderência de camada e evitando problemas de entupimento máquina, e também uma baixa velocidade de retração visando não gerar stringing (fios soltos na impressão), como na 25.(GLOBO, 2023)

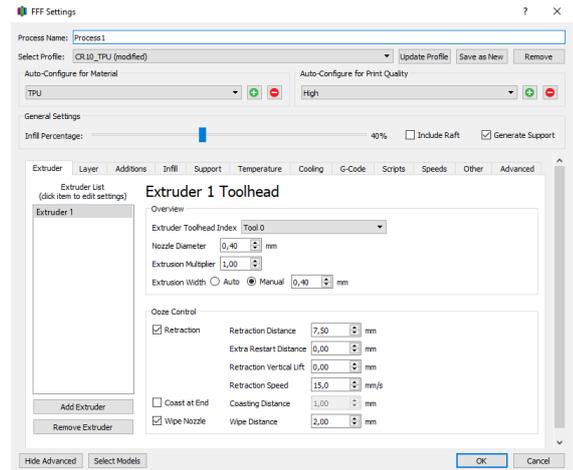


Figura 25 – Exemplo de peça com Stringing

A interação com o software é fácil, para acessar as configurações de impressão, basta seguir o clicar no ícone da foto abaixo:



(a) Acesso ao Menu de Configurações



(b) Menu Configurações

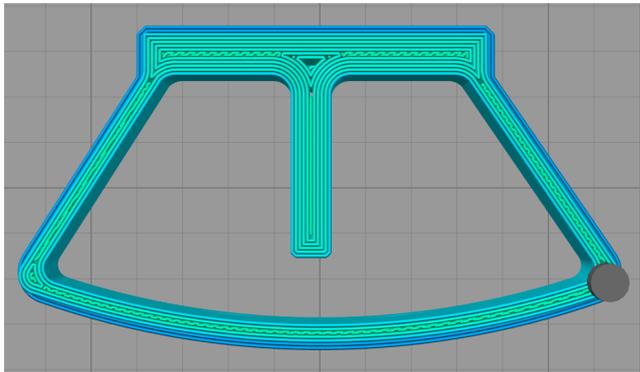
Figura 26 – Passo a Passo para Menu de Configurações

Os únicos parâmetros que foram otimizados são: Preenchimento, Altura de Camada, Velocidade de Impressão, Retração, Camadas Sólidas. Os demais parâmetros são padrões da máquina. A melhor combinação foi a seguinte:

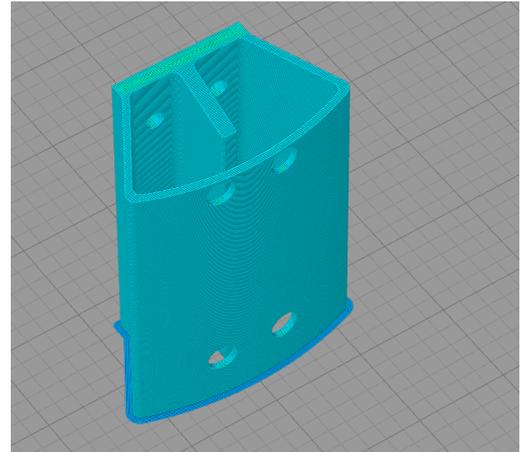
Tabela 2 – Parâmetros de Impressão-Esponja.

Nome do Parâmetro	Valor
Distância de Retração	7,5 mm
Velocidade de Retração	15mm/s
Altura de Camada	0,12mm
Top/Bottom/Outline Solid Layers	7
Preenchimento	40%
Padrão de Preenchimento	Full Honeycomb
Velocidade de Impressão	25mm/s
Temperatura do Bico	235° C
Temperatura do Mesa	60° C

Fonte: Autor



(a) Simulação da impressão na camada intermediária



(b) Simulação da Impressão na camada final

Figura 27 – Simulação Via Software

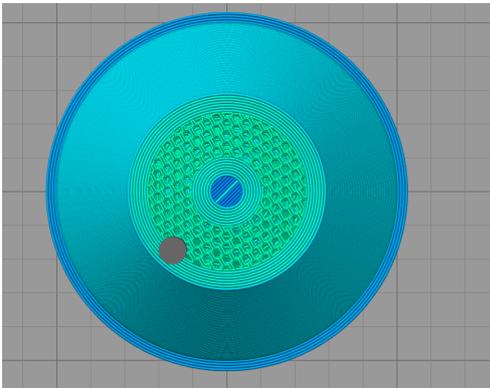
3.2.2 Tulipa

Assim como a peça anterior, a Tulipa foi feita em TPU, suas configurações de impressão são bem semelhantes, com pequenas mudanças. Foram feitos teste com Tritan e ABS, entretanto, esse filamentos apresentaram uma fragilidade alta, possibilitando a sua fácil quebra. Esta peça necessitou de um preenchimento maior para poder suportar a fixação interna que ela possui e da habilitação do suporte para um melhor acabamento da base inferior.

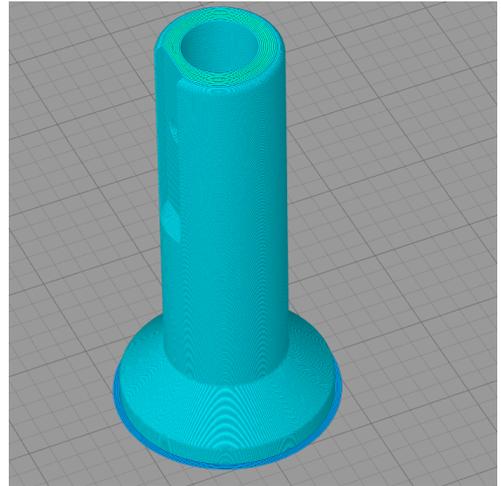
Tabela 3 – Parâmetros de Impressão-Tulipa.

Nome do Parâmetro	Valor
Distância de Retração	7,5 mm
Velocidade de Retração	15mm/s
Altura de Camada	0,12mm
Top/Bottom/Outline Solid Layers	7
Preenchimento	65%
Padrão de Preenchimento	Full Honeycomb
Velocidade de Impressão	25mm/s
Preenchimento do Suporte	15%
Temperatura do Bico	235° C
Temperatura do Mesa	60° C

Fonte: Autor



(a) Simulação da impressão na camada intermediária



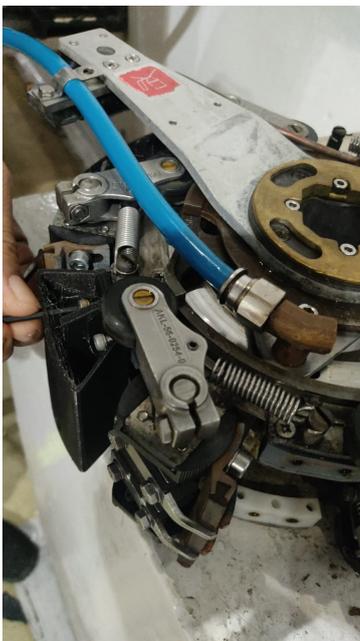
(b) Simulação da Impressão na camada final

Figura 28 – Simulação Via Software

3.3 Peças Produzidas

3.3.1 Esponja Produzida

Ao final de todo o processo de teste para se encontrar a melhor geometria desta peça, a versão final apresenta ótima performance na máquina, cada cilindro necessita de seis esponjas.



(a) Montagem da Peça no Cilindro Central

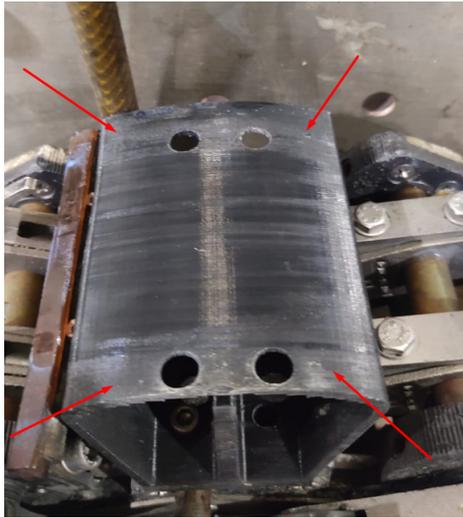


(b) Esponja Montada

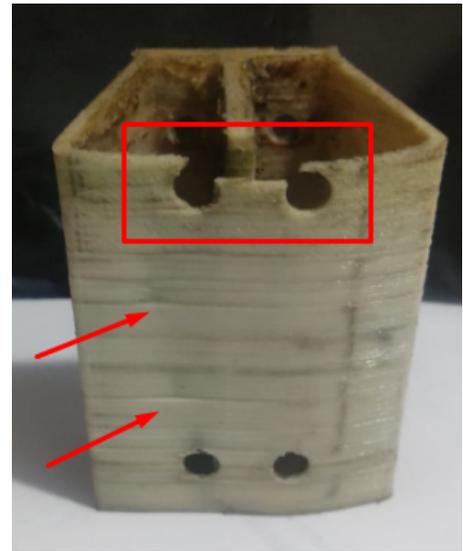
Figura 29 – Montagem

Após trinta dias de operação das peças, é possível identificar um desgaste maior nas

suas extremidades, não é um desgaste que impossibilita a operação da peça, a mesma se mantém em ótimo estado de uso e performance. A seguir é mostrado também uma peça com desgaste de 180 dias, nesse caso a peça está em um estado ruim, impossibilitando o seu uso durante o processo fabril, o rompimento na imagem abaixo, gera o travamento dos rótulos. O travamento de rótulo gera garrafas com uma rotulagem ruim, gerando uma rejeição no inspetor de rótulo da linha de produção.



(a) Esponja após 30 dias de uso



(b) Esponja Deteriorada - 180 dias de uso

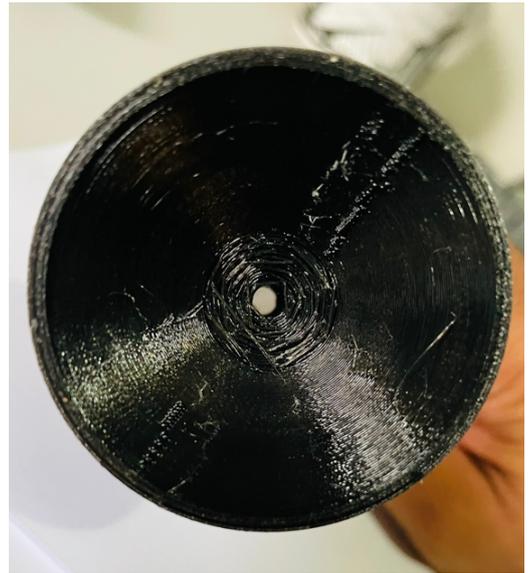
Figura 30 – Esponja em Operação

3.3.2 Tulipa Produzida

A Tulipa é uma peça que sofre bastante esforço, pois a sua atuação é girar enquanto o rótulo é colado na garrafa, logo é necessário obter resistência à torção e compressão nesta peça, a peça é pressionada em suas extremidades pelo pistão e pela garrafa arrolhada.



(a) Tulipa Final



(b) Tulipa - Parte Inferior Interna

Figura 31 – Tulipa Final

O tempo de teste desta peça foi menor, mas com resultados interessantes. Foram 30 dias em operação da peça, com baixo desgaste



(a) Tulipa Externo



(b) Tulipa Inferior interno

Figura 32 – Tulipa após 30 dias

A parte externa da peça não apresenta nenhum desgaste visual, já a parte inferior interna mostra um desgaste pequeno, demonstrando um desempenho muito satisfatório. A escolha do filamento flexível é muito importante por conta dessa característica mecânica do material. A peça original dura cerca de 6 meses, ou seja, a cada 6 meses há uma plano de troca dessas peças. Com a peça feita via impressão 3D o operador elite da máquina estima uma durabilidade próxima a da original.

3.4 Análise de Custo

Ambas peças foram produzidas com a seguinte Impressora 3D:

- Marca: Creality
- Modelo: CR10 V3
- Área de Impressão: 300x300x400 mm
- Custo de Compra: R\$ 5.400,00

As peças escolhidas para a fabricação possuem o seguinte custo de compra:

Tabela 4 – Custo de Compra das peças.

Nome da Peça	Custo de Compra
Esponja	R\$ 217,58
Tulipa	R\$ 190,46

Fonte: Valores Internos da Empresa.

Para se produzir uma peça através da impressão 3D, tem-se três categorias de custo:

- Custo Operacional
- Custo de Filamento
- Consumo de Energia Elétrica

Tabela 5 – Custo de Produção das peças.

Nome da Peça	Custo Operacional	Filamento	Energia Elétrica	Total
Esponja	R\$ 1,39	R\$ 11,63	R\$ 2,00	R\$ 15,02
Tulipa	R\$ 1,39	R\$ 9,47	R\$ 2,30	R\$ 13,16

Fonte: Valores Internos da Empresa.

Tabela 6 – Frequência de trocas com as peças originais.

Nome da Peça	Trocas por Ano	Quantidade de peças por Troca	Total de peças por Ano
Esponja	4	6	24
Tulipa	2	30	60

Fonte: Valores Internos da Empresa.

Tabela 7 – Frequência de trocas com as peças feitas nas impressora 3D.

Nome da Peça	Trocas por Ano	Quantidade de peças por Troca	Total de peças por Ano
Esponja	3	6	18
Tulipa	2	30	60

Fonte: Valores Internos da Empresa.

Na rotuladora em análise, como demonstrado nas tabelas 6 e 7, é necessário as seguintes quantidades de Esponjas e Tulipas por ano, 18 e 60, respectivamente. O custo operacional representa o gasto com mão de obra do processo de impressão em si, como troca de filamento, preparação da máquina e start da impressão. Logo, o custo associado de compra com o fornecedor original versus o custo de produção interna no ano é:

Tabela 8 – Custo de Compra x Produção das peças no ano.

Nome da Peça	Custo de Compra	Custo de Produção	Redução de Custo
Esponja	R\$ 3.916,44	R\$ 270,36	R\$ 3.646,08
Tulipa	R\$ 11.427,6	R\$ 789,60	R\$ 10.638,00

Fonte: Valores Internos da Empresa.

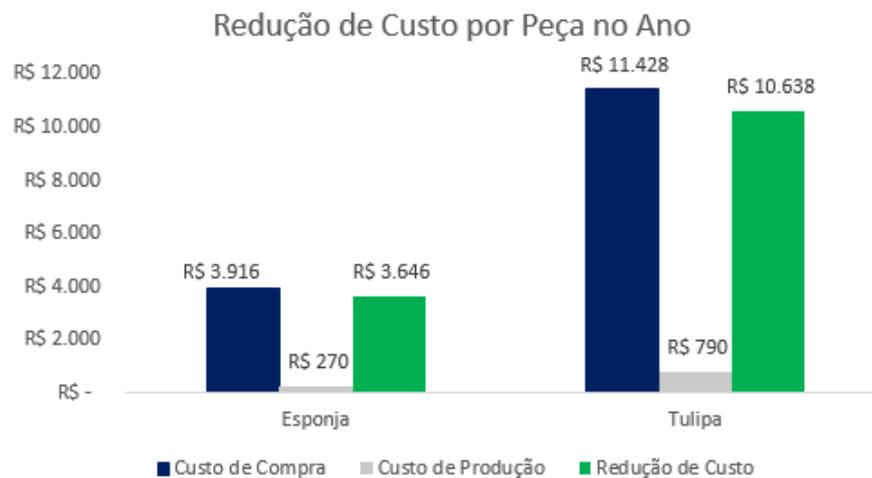


Figura 33 – Redução de Custo por peça no Ano

Ao se fazer um investimento em uma empresa é necessário fazer a análise de alguns indicadores para entender a viabilidade da operação e provar que faz sentido o aplicar o dinheiro em algo que agrega valor para a empresa no futuro. Vamos analisar quanto tempo será necessário para que o investimento se pague, vamos calcular o payback:

Uma impressora Creality CR10 V3 possui uma confiabilidade alta, além de uma comunidade forte para resolver problemas da máquina, para as peças em análise o tempo de impressão será:

Tabela 9 – Tempo de Impressão das peças.

Nome da Peça	Tempo de Impressão (h)
Esponja	13,5
Tulipa	11,75

Fonte: Valores Internos da Empresa.

Definindo uma redução de custo média e um tempo de impressão médio, de maneira que a peça que está sendo impressa não gere impacto na análise, teremos:

$$R_M = \frac{R_E + R_T}{2},$$

$$R_M = \frac{R\$ 202,56 + R\$ 177,30}{2}, \quad (3.1)$$

$$R_M = R\$ 189,93,$$

$$T_M = \frac{T_E + T_T}{2},$$

$$T_M = \frac{13,5 + 11,75}{2}, \quad (3.2)$$

$$T_M = 12,65h,$$

A partir de agora, toda a análise seguirá em cima do valores médios encontrados acima, que nada mais é do que a quantidade de redução de custo no tempo, ou seja, a cada 12,65 h da impressora rodando, foi gerado uma redução de custo de cerca de R\$ 189,93. Em uma semana tem-se, em teoria, 168 horas disponíveis, entretanto em uma impressora 3D é necessário algumas intervenções para o funcionamento da máquina, como troca de bico, lubrificação, ajuste de correias e roldanas, troca de filamento, logo pode-se assumir que cerca de 10 horas por semana são gastas nesse tipo de tarefa para manter a máquina em ótimo estado de funcionamento. Então, na semana, apenas 158 estão disponíveis para impressão, possibilitando a seguinte produção de peças por semana:

$$P_S = \frac{158}{12,65}, \quad (3.3)$$

$$P_S = 12,49,$$

Cerca que 12 peças são produzidas na semana, ocasionando a redução de custo semanal abaixo:

$$R_S = 12 * 189,93, \quad (3.4)$$

$$R_S = R\$ 2.279,16,$$

Com a redução de custo semanal, o cálculo do payback fica trivial, pois:

$$PayBack = \frac{I_i}{R_s}, \quad (3.5)$$

$$Payback = 2,37 \text{ semanas},$$

Ou seja, a compra da impressão no valor de R\$ 5.400,00 se paga em cerca de 2,37 semanas (aproximadamente 17 dias), este é um investimento altamente atrativo, pois além de se pagar rápido, a produção de peças internas gera o aumento da confiabilidade dos equipamentos da linha de produção, melhorando os indicadores de performance.

Vale analisar o tempo de uso da máquina, ou seja, entender quantotempo é necessário para a produção das peças deste trabalho e quanto tempo ela ficará disponível para produção de outras demandas.

Tabela 10 – Tempo de uso da máquina

Nome da Peça	Quantidade por ano	Tempo de Impressão (h)	Tempo Total de Impressão
Espanja	18	13,5	243
Tulipa	60	11,75	705

Fonte: Valores Internos da Empresa.

Tempo de ocupação do total será:

$$T_o = 243 + 705,$$

$$T_o = 948 \text{ horas}, \quad (3.6)$$

$$T_o = 40 \text{ dias}$$

Com o trabalho aqui desenvolvido temos uma ocupação de apenas 40 dias no ano da impressora, isso mostra que há oportunidade de produzir muitas outras peças e conseguir gerar mais redução de custo durante o ano.

Outro fator importante é a redução do tempo de entrega de uma peça, enquanto um fornecedor da peça demora cerca 40 a 90 dias para entregar uma peça, através da impressora 3D, a cada dia é possível que 2 peças estejam prontas, gerando um impacto muito positivo com a entrega rápida de peças com qualidade. A redução da hora homem para a troca dessas peças é visível na esponja, onde a peça que era necessária de ser trocada 4 vezes ao ano, agora é necessário apenas 3 vezes, abrindo mais tempo na rotina do operador para atuar em outras atividades.

4 Conclusões

Todo a implementação da Manufatura Aditiva é diferencial em uma planta industrial, tornando a indústria mais competitiva, produtiva e eficiente. Sendo ferramenta essencial para implmentação de estratégias de aumento de vida útil peças, melhorias geométricas e de materiais, além de otimizar as intervenções, reduzindo o tempo de manutenção.

Visando, sempre, o aumento da produtividade e eficiência da manutenção, a redução de custo vem como consequência da implementação de todo esse processo, com foco sempre em melhoria. É notável que essa tecnologia atinge bons resultados e é consistente, os números apresentados demonstram que a implementação da manufatura aditiva é extremamente relevante para consolidar conceitos da indústria 4.0 e subir o patamar da área de manutenção.

Todo esse processo deve ser norteado com planejamento, gestão e organização para entender qual peça deve ser produzida, testada e validada, para conseguir suprir a demanda da equipe de manutenção no momento certo, de tal maneira para conseguir gerar sustentabilidade entre a área de impressão 3D e da equipe de manutenção.

É visível que esse processo necessita de capacitação contínua, pois é necessário ter pessoas que entendam de modelagem 3D, elementos de máquinas, configuração de impressão, manutenção eletrônica e mecânica da máquina. Além disso, é necessário entender como funciona o processo produtivo para poder encontrar as melhores oportunidades, gerando mais resultados.

As peças discutidas nesse trabalho são exemplos claros de melhoria na manutenção, confiabilidade e tudo isso se conectando com a redução de custo, essa redução possibilita que o capital disponível seja investido em outras melhorias na planta, agregando mais valor ainda ao negócio. Pode-se ver que os valores apresentados são extremamente favoráveis para a tecnologia, melhorando, de maneira consistente e sustentável, todo o processo produtivo.

Olhando para os próximos passos, criar um padrão para ter de maneira rápida e eficiente todas as configurações necessárias de cada peça, tornando o processo autônomo, além disso obter um acompanhamento do consumo das peças produzidas no almoxarifado para se ter os indicadores necessário para aletar a necessidade de produção, gerando um processo mais automático. Com toda a base de peças possíveis de produção, conseguir ajudar outras plantas da companhia a conseguir ter melhoria em seu processo de manutenção.

No longo prazo conseguir conectar as máquinas à internet através do sistema ([INTERNATIONAL, 2023b](#)) e ao controle de peças no almoxarifado, gerando dessa maneira uma interface entre os níveis de quantidade de cada peça no almoxarifado com as impressoras 3D, fornecendo mais inteligência ao processo, reduzindo o tempo de interação entre homem-

máquina. Para essas implantações é necessário o uso de plataformas como o [Nodered](#) para conectar todas essas informações em uma rede e conseguir gerar toda essa conexão.

Referências

- ALMEIDA, T. **O que é Manutenção Industrial de máquinas e equipamentos?** <https://industriahoje.com.br/o-que-e-manutencao-industrial-de-maquinas-e-equipamentos>. Acesso em: 25 jan. 2023. Citado na p. 14.
- BAIÃO, F. J. **FUNCIONALIDADES E TECNOLOGIAS DA IMPRESSORA 3D. UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO**, 2012. Citado na p. 18.
- CRIAR, 3. **Principais Marcas utilizadas pela 3D Criar.** <https://3dcriar.com.br/produto/3daas/>. Acesso em: 28 jan. 2023. Citado nas pp. 22, 23.
- ENGIPRINTERSL. **SLA vs SLS Tecnologias de Impressão 3D Comparadas.** <https://engiprinters.com.br/sla-vs-sls-d29/>. Acesso em: 25 jan. 2023. Citado na p. 20.
- FABWEAVER. **Bowden vs Direct.** <https://blog.fabweaver.com/fff-printing-direct-extrusion-bowden-extrusion-0>. Acesso em: 25 jan. 2023. Citado na p. 22.
- GIORDANO, C. M.; SENZI ZANCUL, E. de; RODRIGUES, V. P. **ANÁLISE DOS CUSTOS DA PRODUÇÃO POR MANUFATURA ADITIVA EM COMPARAÇÃO AMÉTODOS CONVENCIONAIS. Produção Online**, jun. 2016. Citado nas pp. 19, 20.
- GLOBO, O. **Máquinas industriais no Brasil são até 3 vezes mais antigas que em países ricos.** <https://oglobo.globo.com/economia/maquinas-industriais-no-brasil-sao-ate-3-vezes-mais-antigas-que-em-paises-ricos-10107142>. Acesso em: 31 jan. 2023. Citado nas pp. 13, 33.
- INTERNATIONAL, A. **Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies.** <https://web.mit.edu/2.810/www/files/readings/AdditiveManufacturingTerminology.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2023. Citado na p. 20.
- INTERNATIONAL, A. **Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies.** <https://web.mit.edu/2.810/www/files/readings/AdditiveManufacturingTerminology.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2023. Citado na p. 43.
- MATIAS, G. L. **IMPLEMENTAÇÃO DE UM LABORATÓRIO DE MANUFATURA ADITIVA PARA REDUÇÃO DOS CUSTOS DE MANUTENÇÃO EM INDÚSTRIAS DE ALIMENTOS E BEBIDAS. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE CENTRO DE TECNOLOGIA CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**, jul. 2022. Citado na p. 15.

- MORANDINI, M. M.; VECHIO, G. H. D. IMPRESSÃO 3D, TIPOS E POSSIBILIDADES: uma revisão de suas características, processos, usos e tendências. **Interface Tecnológica**, dez. 2020. Citado na p. 18.
- OCTOPRINTORG. **OctoPrint The snappy web interface for your 3D printer**. <https://octoprint.org/>. Acesso em: 1 fev. 2023. Citado na p. 18.
- OLIVEIRA, E. L. de; DIAS, K. P.; GILAPA, L. C. M.; HESSE, R. ESTUDO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA NOS PROTOTIPOS FABRICADOS ATRAVES DO PROCESSO FDM. **XXXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, out. 2018. Citado na p. 20.
- OTANI, M.; MACHADO, W. V. A PROPOSTA DE DESENVOLVIMENTO DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL NA BUSCA DA EXCELÊNCIA OU CLASSE MUNDIAL. **Revista Gestão Industrial**, jan. 2008. Citado na p. 14.
- PASCHOAL, D. R. D. S.; MENDONÇA, M. A.; MORAIS, R. D.; GITAHY, P. F. S. D. C. R.; LEMOS, M. A. DISPONIBILIDADE E CONFIABILIDADE: APLICAÇÃO DA GESTÃO DA MANUTENÇÃO NA BUSCA DE MAIOR COMPETITIVIDADE. **Revista da Engenharia de Instalações no mar da FSMA**, fev. 2009. Citado nas pp. 13, 15.
- REPRAP. **RepRap**. https://reprap.org/wiki/Community_portal. Acesso em: 31 jan. 2023. Citado na p. 17.
- REVEILLEAU, A.; MENEGHEL, L.; SILVA, T. C. da. IMPRESSORA 3D ADITIVA E ACES-SÍVEL ECONÔMICAMENTE. **VI Congresso de Pesquisa e Extensão da FSG**, jul. 2018. Citado na p. 17.
- ROTTA, F. **Indústria 4.0 pode economizar R\$ 73 bilhões ao ano para o Brasil**. <https://www.abdi.com.br/postagem/industria-4-0-pode-economizar-r-73-bilhoes-ao-ano-para-o-brasil>. Acesso em: 22 dez. 2022. Citado na p. 12.
- SILVA, D. G. A MANUFATURAADITIVA NO CENÁRIO DA INDÚSTRIA 4.0. **UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA**, 2022. Citado na p. 12.
- TECHNOLOGIES, P. W. **Unidade da Ambev economizou mais de R\$ 300 mil com uso de impressão 3D**. <https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/especial-publicitario/wishbox-technologies/noticia/2022/10/26/unidade-da-ambev-economizou-mais-de-r-300-mil-com-uso-de-impressao-3d.ghtml>. Acesso em: 28 jan. 2023. Citado na p. 13.
- TOPLINK3D. **CR10**. <https://www.topink3d.com.br/creality-cr10-v3>. Acesso em: 28 jan. 2023. Citado na p. 21.
- ULTIMAKER. **Ultimaker S5**. <https://ultimaker.com/3d-printers/ultimaker-s5>. Acesso em: 22 dez. 2022. Citado na p. 24.

VOLPATO, N. **Prototipagem rápida: tecnologia e aplicações**. Blucher - São Paulo, 2017.
Citado na p. 17.

WOHLERS, T.; GORNET, T. **History of additive manufacturing**. <https://wohlersassociates.com/wp-content/uploads/2022/08/history2015.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2023. Citado na p. 17.