

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

CAROLINA COELHO LASMAR

DANIELA SILVEIRA DA SILVA

**ESTUDO DE CASO EM DUAS EMPRESAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE
BELO HORIZONTE SOBRE A APLICABILIDADE DA IMPRESSÃO 3D**

BELO HORIZONTE

2022

CAROLINA COELHO LASMAR
DANIELA SILVEIRA DA SILVA

**ESTUDO DE CASO EM DUAS EMPRESAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE
BELO HORIZONTE SOBRE A APLICABILIDADE DA IMPRESSÃO 3D**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Carlos Eduardo dos Santos

BELO HORIZONTE

2022

CAROLINA COELHO LASMAR
DANIELA SILVEIRA DA SILVA

**ESTUDO DE CASO EM DUAS EMPRESAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE
BELO HORIZONTE SOBRE A APLICABILIDADE DA IMPRESSÃO 3D**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Aprovado em 11/07/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Eduardo dos Santos - Orientador

Prof. Dr. Ernane Rodrigues da Silva

Prof. Dr. Sidney Nicodemos da Silva

AGRADECIMENTOS

Gratidão imensa à Deus, por ser amor e por me permitir ser uma pessoa cada vez melhor.

À minha mãe, minha avó, meu pai drasto, meus irmãos, minha madrinha e meu namorado por toda força, apoio incondicional, companheirismo e amor. E também por serem meus exemplos de vida.

Ao orientador Carlos Eduardo, o qual possuo imensa admiração, por toda a paciência, interesse e profissionalismo. Você foi essencial para a conclusão deste ciclo.

Ao CEFET-MG, por toda a estrutura, conhecimento e ótimos anos vividos.

Aos representantes das empresas, muito obrigada por toda a boa vontade, atenção e pelo compartilhamento das informações.

À minha amiga Daniela, por topar encarar mais este desafio comigo, pela parceria, apoio e motivação compartilhados.

À todos os meus amigos e amigas do coração, família e professores, que de alguma forma fizeram parte disso, muito obrigada por tudo.

Carolina Lasmar

Ao Prof. Dr. Carlos Eduardo, que conduziu a orientação deste trabalho com excelência, dedicação, paciência e profissionalismo, sempre disponível e disposto a compartilhar seu conhecimento. Muito obrigada, sem você este trabalho não seria possível.

Ao CEFET-MG, que foi essencial no meu processo de formação acadêmica, e profissional.

Aos representantes das empresas tratadas neste trabalho, pelo fornecimento de dados e materiais que foram fundamentais para o desenvolvimento e realização deste estudo de caso.

Aos meus pais, que nunca pouparam esforços para me proporcionar um ensino de qualidade durante toda minha formação.

À todos professores que entregaram ensino de qualidade durante toda a graduação.

À minha amiga Carolina, pelo companheirismo neste trabalho e na vida.

Aos amigos que tornaram minha experiência de graduação engrandecedora.

Agradeço especialmente à minha mãe que sempre foi meu exemplo de força e determinação, que acompanhou de perto minha trajetória e a foi a principal razão por eu não ter desistido.

Daniela Silva

RESUMO

O processo de fabricação por impressão 3D possui aplicações em diversas áreas no desenvolvimento de protótipos e até fabricação de produtos. Este trabalho sintetiza em pesquisar empresas que utilizam a técnica de impressão 3D dentro do perímetro da Região metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) e realiza um estudo de caso em duas destas empresas, a fim de explicar a inserção da impressão 3D no conjunto de atividades e a motivação da utilização da técnica, descrevendo as vantagens e as desvantagens do uso desse processo de fabricação em complemento ou substituição aos demais processos. A procura por empresas que utilizam a impressão 3D restringiu às áreas de projetos (desenvolvimento de produtos), construção civil, e indústria alimentícia, dentre as empresas encontradas, foram escolhidas devido a abertura para o estudo, uma empresa do setor ferroviário e outra do setor de piscicultura, ambas consideradas pertencentes da área de projetos. Foi realizado um estudo de caso exploratório múltiplo, iniciando por uma visita técnica e posteriormente ocorreu a aplicação de um questionário, entrevistando um representante de cada uma das empresas. Neste trabalho, por razões de confidencialidade da identidade, as empresas foram denominadas como empresa A (setor ferroviário) e empresa B (setor de piscicultura). Na empresa A, a impressão é utilizada na construção de *Mock-ups*, enquanto na empresa B a impressão é utilizada na construção de protótipos e peças para um alimentador inteligente de peixes. Foi observado que na empresa A, o tempo de produção de uma das peças analisadas, reduziu em média de 60 dias, ao implantar a impressão 3D em substituição ao processo artesanal de produção, utilizando uma impressora 3D comercial modelo “*GTMax3D*” com software de controle “*Repetier*” e para modelamento o *software* “*NX Siemens Unigraphics*”, sendo o foco de aplicação para o desenvolvimento de protótipos e fabricação de algumas peças que compõem o produto final, porém com limitações de peças que não exigem maiores resistência mecânica. A empresa B trabalha com duas impressoras, modelos “*GTMax H4*” e “*7 sethi3D AIP3*”, para modelamento dos desenhos é utilizado o *software* “*SolidWorks*” e para *fatiamento* o “*Simplify 3D*”, algumas vantagens observadas são relacionadas à repetibilidade dos processos, *design* e complexidade da peça, e como desvantagens, o tempo de produção de peças com geometrias retas, que ainda são fabricadas com menor tempo pelo processo anterior a impressão 3D, devido a simplicidade geométrica.

Palavras Chave: impressão 3D; ferroviário; piscicultura; *mock ups*; alimentador inteligente.

ABSTRACT

The 3D printing manufacturing process has applications in several areas in the development of prototypes and even product manufacturing. This work synthesizes researching companies that use the 3D printing technology within the perimeter of the Metropolitan Region of Belo Horizonte (MRBH). It performs a case study in two of these companies, in order to explain the insertion of 3D printing in the set of activities and the motivation for using the technique, describing the advantages and disadvantages of using this manufacturing process as a complement or replacement to other processes. The search for companies that use 3D printing was restricted to the areas of projects (product development), civil construction, and the food industry, among the companies found, they were chosen due to the opening for the study, a company from the railway sector and another from the pisciculture, both considered belonging to the project area. A multiple exploratory case study was carried out, starting with a technical visit and later a questionnaire was applied, interviewing a representative of each of the companies. In this work, for reasons of confidentiality of the identity, the companies were named company A (railway sector) and company B (fish farming sector). At company A, printing is used to build mock-ups, while at company B, printing is used to develop prototypes and parts for an intelligent fish feeder. In company A, the production time of one of the analyzed parts was reduced by an average of 60 days, when implementing 3D printing to replace the artisanal production process, using a commercial 3D printer model "GTMax3D" with control software. "Repetier" and for modeling the software "NX Siemens Unigraphics", being the application focus for the development of prototypes and manufacture of some parts that make up the final product, however with limitations of parts that do not require greater mechanical strength. Company B works with two printers, models "GTMax H4" and "7 sethi3D AIP3", for modeling the drawings the software "SolidWorks" is used, and for slicing the "Simplify 3D", some advantages observed are related to the repeatability of the processes, design, and complexity of the part, and as disadvantages, the production time of parts with straight geometries, which are still manufactured in a shorter time by the process prior to 3D printing, due to geometric simplicity.

Keywords: 3D printing; rail; pisciculture; *mock ups*; smart feeder.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Processo de impressão 3D. | 12 |
| Figura 2 - Aplicações da impressão 3D. | 13 |
| Figura 3 - Esquematização da técnica Contour Crafting. | 16 |
| Figura 4 - Aplicação da impressão 3D. | 19 |
| Figura 5 - Alguns parâmetros disponíveis no Software. | 22 |
| Figura 6 - Técnica Contour Crafting. | 27 |
| Figura 7 - Técnica de Estereografia. | 28 |
| Figura 8 - Técnica de FDM. | 29 |
| Figura 9 - Técnica de SLS. | 29 |
| Figura 10 - Propriedades da matéria prima. | 31 |
| Figura 11 - Principais etapas no processo de Impressão 3D. | 34 |
| Figura 12 - Fluxograma do estudo de caso. | 38 |
| Figura 13 - Sistemas de Alimentação de precisão montados em campo. | 44 |
| Figura 14 - Desenho do alimentador inteligente com vista interna da rosca patenteada. | 46 |
| Figura 15 - Caixa do alimentador inteligente montado com rosca patenteada. | 46 |
| Figura 16 - Rosca patenteada. | 47 |
| Figura 17 - Peças produzidas no corte à laser em escala 1:25. | 49 |
| Figura 18 - Locomotivas impressas em escala 1:25. | 49 |
| Figura 19 - Virabrequim produzido via impressão 3D em escala 1:25. | 50 |
| Figura 20 - Jaqueta produzida via impressão 3D em escala 1:25. | 50 |

| | |
|--|----|
| Figura 21 - Blower produzido via impressão 3D em escala 1:25. | 50 |
| Figura 22 - Resfriador de Óleo produzido via impressão 3D em escala 1:25. | 51 |
| Figura 23 - Peças produzidas manualmente em escala 1:25. | 51 |
| Figura 24 - PCB envolto com suporte personalizado feito na impressora 3D. | 56 |
| Figura 25 - Sensor de temperatura envolto com capa feita na impressora 3D. | 56 |
| Figura 26 - Peças Customizadas. | 57 |
| Figura 27 - Produto em fase de protótipo. | 57 |
| Figura 28 - Bóia em processo de prototipagem. | 59 |
| Figura 29 - Caixa do alimentador inteligente. | 61 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Aplicação de máquinas comerciais na indústria de alimentos. | 18 |
| Tabela 2 - Características de tecnologias de impressão 3D. | 28 |
| Tabela 3 - Vantagens, desvantagens e aplicações da Impressão 3D. | 33 |
| Tabela 4 - Classificação dos estudos de caso. | 36 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|--------|--|
| 3D | Tridimensional |
| EUA | Estados Unidos da América |
| RP | Prototipagem rápida |
| 2D | Bidimensional |
| CAD | Desempenho Assistido por Computador |
| DOI | Teoria de difusão de informações |
| UTAUT | Teoria unificada de aceitação e uso da tecnologia |
| PCB | <i>Printed circuit board</i> |
| FDM | Deposição de material Fundido |
| RMBH | Região Metropolitana de Belo Horizonte |
| FIRJAN | Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro |

SUMÁRIO

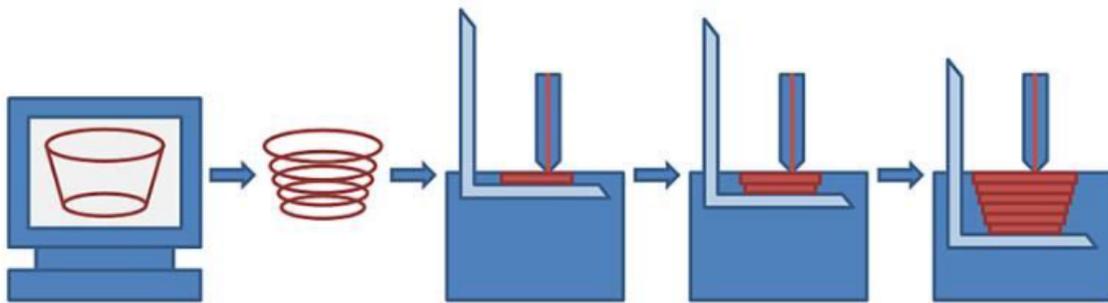
| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 OBJETIVOS | 14 |
| 2.1 Objetivo Geral | 14 |
| 2.2 Objetivos Específicos | 14 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 15 |
| 3.1 Áreas que utilizam a impressão 3D | 15 |
| 3.1.1 <i>Utilização da impressão 3D na construção civil</i> | 15 |
| 3.1.2 <i>Utilização da impressão 3D na Indústria de alimentos</i> | 17 |
| 3.1.3 <i>Utilização da impressão 3D na área de Projetos e protótipos</i> | 18 |
| 3.2 Possibilidades na utilização da impressão 3D | 20 |
| 3.3 Limitações técnicas em relação ao processo de impressão 3D | 20 |
| 3.3.1 <i>Limitações quanto à expertise</i> | 21 |
| 3.3.2 <i>Limitação quanto à aplicabilidade da impressão 3D em campo industrial</i> | 23 |
| 3.3.3 <i>Limitação quanto ao tamanho da peça</i> | 23 |
| 3.3.4 <i>Limitação quanto ao controle de temperatura</i> | 24 |
| 3.4 Vantagens da aplicação da impressão 3D em projetos, construção civil e alimentos | 24 |
| 3.5 Desvantagem da aplicação da impressão 3D em projetos, construção civil e alimentos | 31 |
| 4 METODOLOGIA | 36 |
| 4.1 Metodologia de pesquisa | 36 |
| 4.2 Proposta da pesquisa | 36 |
| 4.3 Resultados esperados | 37 |
| 4.4 Métodos de pesquisa | 37 |
| 4.5 Técnica de pesquisa | 37 |
| 4.6 Planejamento da Pesquisa | 38 |
| 4.7 Desenvolvimento do Estudo de Caso | 39 |
| 4.8 Perfil das empresas estudadas | 40 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 42 |
| 5.1 Relatório Técnico | 42 |
| 5.1.1 <i>Empresa A</i> | 42 |
| 5.1.2 <i>Empresa B</i> | 43 |
| 5.2 Respostas do Questionário | 47 |
| 5.2.1 <i>Empresa A</i> | 47 |
| 5.2.2 <i>Empresa B</i> | 55 |
| 5.3 Discussões | 64 |
| 5.3.1 <i>Caso 1</i> | 64 |

| | |
|---|-----------|
| 5.3.2 <i>Caso 2</i> | 66 |
| 6 CONCLUSÕES | 68 |
| 7 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS | 69 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 70 |

1 INTRODUÇÃO

A impressão 3D (tridimensional) é o processo de fabricação que dá-se por meio da adição sucessiva de material na forma de camadas, com informações obtidas a partir de um *software*, o esquema representativo das etapas do processo está ilustrado na figura 1. Um dos principais destaques para a técnica é a necessidade mínima da atuação do operador durante a processo, visto que a impressora apresenta fácil e eficiente automatização, tornando possível a integração da tecnologia com meios tradicionais de fabricação (VOLPATO, 2018).

Figura 1 - Processo de impressão 3D.

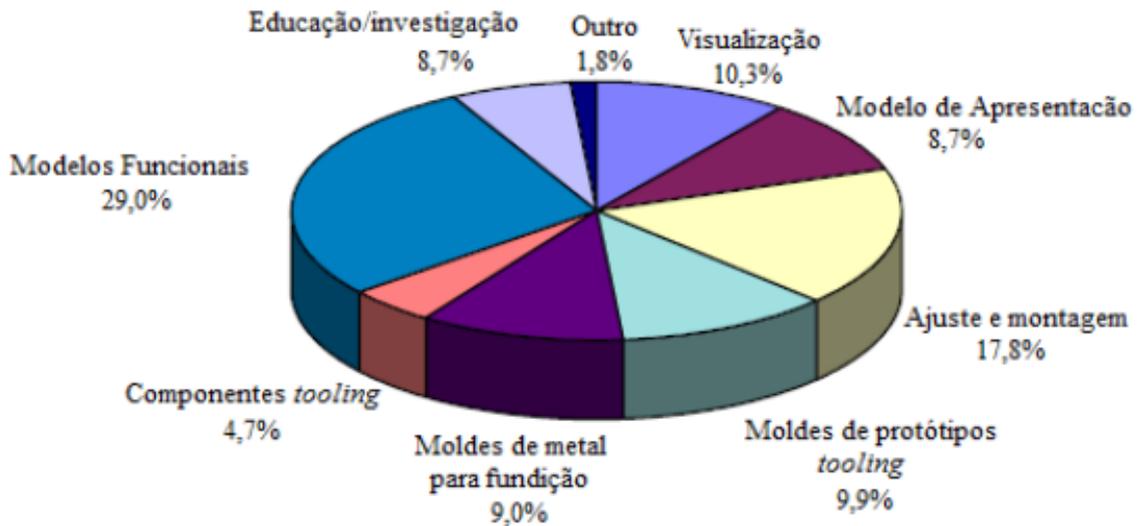


Fonte: Wiltgen, 2021.

As principais técnicas para a impressão 3D são: Estereolitografia, Modelagem por Deposição Fundida, Impressão a Jato de Tinta e Sinterização Seletiva a Laser (SCHNIEDERJANS, 2016). A escolha da técnica depende da necessidade de produção em escala, complexidade da geometria da peça e custo (VOLPATO, 2018).

Com o crescimento do mercado surgiram novas demandas de pesquisas para agilizar processos, aumentar a qualidade e aplicabilidade das impressões, além de viabilizar as produções em maior escala. Wohlers *et al.* (2015) apresenta diversas aplicações da impressão 3D, que são apresentadas na figura 2, distribuído como: a produção de modelos funcionais 29%, produção de protótipos para verificação de ajustes e montagens 17,8%, visualização de produtos 10,3%, protótipos 9,9%, moldes para fundição 9%, educação 8,9% dentre outros.

Figura 2 - Aplicações da impressão 3D.



Fonte: Wohlers *et al.*, 2015.

A proposta deste trabalho consiste em realizar um levantamento de empresas nas áreas de projetos (desenvolvimento de produtos), construção civil e indústria alimentícia que utilizam a impressão 3D como parte integrante de algum processo. A pesquisa limitou a procura de empresas na Região metropolitana de Belo Horizonte, e dentre as empresas encontradas, a pesquisa realizou o estudo em duas empresas selecionadas.

A RMBH é composta por 35 municípios: Belo Horizonte, Betim, Caeté, Contagem, Ibirité, Lagoa Santa, Nova Lima, Pedro Leopoldo, Raposos, Ribeirão das Neves, Rio Acima, Sabará, Santa Luzia, Vespasiano, Brumadinho, Esmeraldas, Igarapé, Mateus Leme, Juatuba, São José da Lapa, Florestal, Rio Manso, Confins, Mário Campos, São Joaquim de Bicas, Sarzedo, Baldim, Capim Branco, Jaboticatubas, Taquaraçu de Minas, Itaguara, Matozinhos, Nova União e Itatiaiuçu.

A motivação teve como foco realizar o levantamento das informações de aplicabilidade da impressão 3D, bem como suas vantagens e desvantagens, visto que a técnica permite uma liberdade de adaptações e colaborações com atividades que antes eram previamente desenvolvidas de outras formas, quer seja manual ou até mesmo com custos mais elevados, além da capacidade de adaptação da técnica em áreas distintas e até mesmo como colaboradora do pensamento da indústria 4.0.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Realizar um estudo de caso com 2 empresas que utilizam a técnica de impressão 3D na Região Metropolitana de Belo Horizonte.

2.2 Objetivos Específicos

- A. Fazer a busca por empresas que utilizam a impressão 3D na área da construção civil dentro do perímetro da região metropolitana de Belo Horizonte.
- B. Fazer a busca por empresas que utilizam a impressão 3D na área alimentícia dentro do perímetro da região metropolitana de Belo Horizonte.
- C. Fazer a busca por empresas que utilizam a impressão 3D na área de desenvolvimento de projetos dentro do perímetro da região metropolitana de Belo Horizonte.
- D. Fazer um estudo de caso com duas destas empresas que utilizam impressão 3D.
- E. Construir uma base de estudo para futuras pesquisas sobre aplicações da impressão 3D, principais vantagens e ou desvantagens dentro do caso estudado.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Áreas que utilizam a impressão 3D

A impressão 3D é uma tecnologia que gera poucos resíduos além de ter aberto a possibilidade de customização de projetos em massa que não podem ser produzidos por outros meios. Por esse motivo, é tão atraente para áreas tão distintas como construção civil, diversos projetos e grandes ramos industriais. A tendência é a aplicação da técnica em escala cada vez maior (PORTO, 2016).

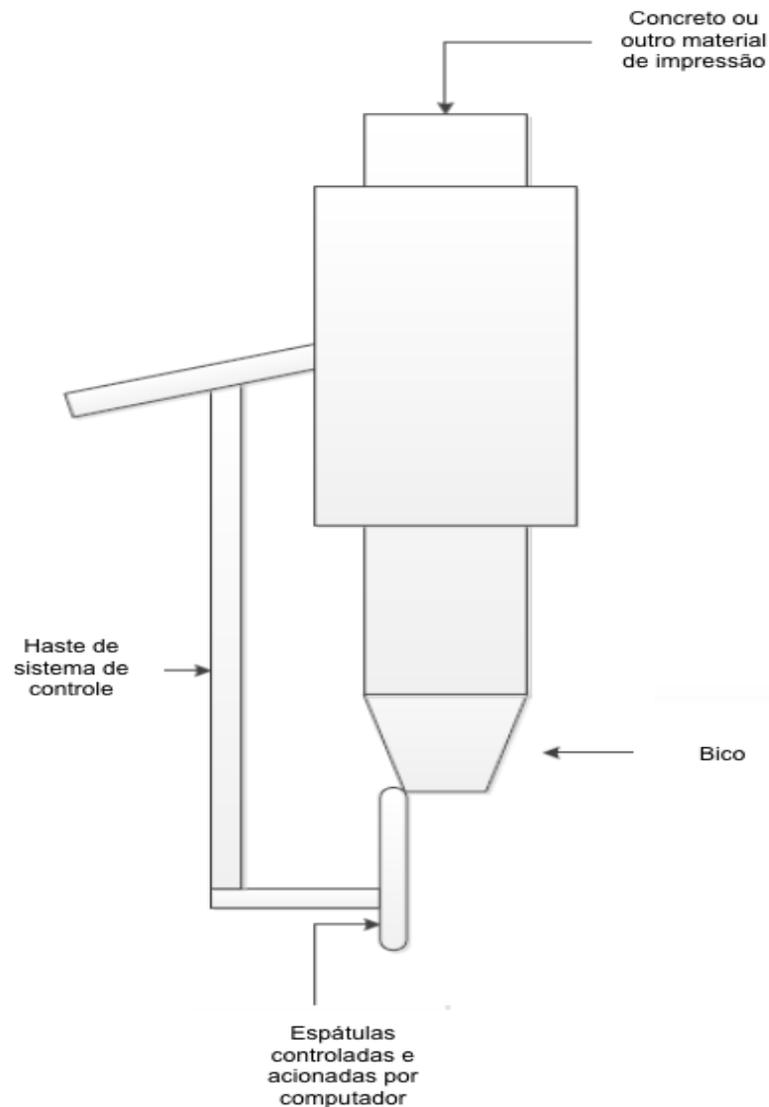
3.1.1 Utilização da impressão 3D na construção civil

A construção habitacional através da impressão 3D tem sido algo de muito interesse para a indústria devido à redução de custo da mão de obra e mínimo desperdício de material, entretanto a construção de impressoras de grande porte para realização da mesma é um ponto crítico devido à sua dificuldade de projeto e que, apesar de já existir impressão 3D a mais de 30 anos, é algo recente (SILVA *et al*, 2019).

A área de construção civil requer um projeto que utiliza de muitas ferramentas e mão de obra especializadas devido à sua unicidade, dessa forma a aplicação de impressão 3D além de proporcionar benefícios com custos, tempo e eficiência também facilita o projeto de modo que a mudança necessária do mesmo seja feita de forma automatizada (ALWI *et al*, 2013).

A impressão 3D possui diferentes técnicas de aplicação, a mais recente desenvolvida é a técnica *Contour Crafting* que é utilizada na construção civil, conforme mostra a figura 3. A técnica consiste na extrusão do material onde um conjunto de espátulas acoplado ao bico extrusor faz o contorno do material, é uma técnica que se assemelha muito à fabricação de concreto pré-moldado com a diferença de ser um sistema totalmente automatizado (WU *et al*, 2016).

Figura 3 - Esquemática da técnica *Contour Crafting*.



Fonte: Adaptado de Wu, P. *et al.*, 2016.

Além da técnica descrita, a fim de suprir necessidades da área, foram desenvolvidas outras técnicas como o *D-shape* e a *Emerging Objects*. A primeira consiste na deposição do material em forma de pó seletivamente e aplicação de ligante para endurecer as camadas, já a segunda consiste em uma mistura de cimento com pequenas fibras em que é adicionado aglutinantes sendo de dois tipos, um à base de álcool com propriedades adesivas e de mistura e outro para aumentar mais a resistência (WOLFS, 2015; WU *et al.*, 2016).

Apesar do grande conservadorismo e receio de novas tecnologias na indústria da construção, o grande potencial da aplicação da impressão 3D na área fez com que as pesquisas e o interesse aumentassem significativamente nos últimos anos. Isto porque a tecnologia possibilita grandes potenciais na área como a automação, redução de custos, poluição e desperdícios, produção no local, liberdade de *design* entre outras (LOPES, 2016).

3.1.2 Utilização da impressão 3D na Indústria de alimentos

A alimentação é essencial para a sobrevivência das espécies, sendo uma necessidade básica para ingestão de nutrientes que o corpo precisa, ela se tornou uma atividade agradável e o alimento se tornou objeto de vários estudos para sua diversificação e construção de sabores. Entretanto, a engenharia de alimentos vai além e busca alternativas para produzir alimentos que englobam saúde e equilíbrio e que possam ser associados a medicamentos e vitaminas de modo ter um alimento completo (WILTGEN, 2021).

Dessa forma, a impressão 3D tem ganhado bastante visibilidade para propiciar a fabricação de alimentos nos últimos 10 anos. Inicialmente a ideia era fabricar alimentos personalizados, de modo a obter diversas formas, porém a preocupação com a saúde levou os pesquisadores a explorar a fabricação de alimentos que juntam as necessidades nutricionais, vitamínicas e até mesmo da utilização de drogas via alimento (SUN *et al*, 2015; WILTGEN, 2021).

A adaptação aos sistemas já utilizados deve ser feita a fim de compreender todas as variáveis operacionais e o tipo de material a ser utilizado. Além disso, as propriedades finais devem conter rigidez e resistência suficiente para suportar sua dimensão sem deformação significativa. Dessa forma, tem-se que o processo e o planejamento são essenciais para o sucesso do produto final (SUN *et al*, 2015). Além disso, requer um desenvolvimento de novas técnicas e materiais, de modo que seja possível a produção de alimentos em vários níveis, desde produção em domicílio à produção em larga escala (BERGO *et al*, 2019).

Sun *et al* (2015) descreveu a utilização de algumas técnicas para produção alimentícia que podem ser vistas na Tabela 1, cada uma das técnicas possui particularidades. Entretanto ainda há grande preocupação com algumas técnicas que se utilizam de laser, feixe de elétrons e aditivos que podem ser prejudiciais e devem ser estudados. Apesar disso, o potencial da impressão 3D na indústria alimentícia vem sendo cada vez mais estudada devido à possibilidade de se obter uma nutrição personalizada e alta sustentabilidade.

Tabela 1 - Aplicação de máquinas comerciais na indústria de alimentos.

| Máquina | <i>Choc Creator</i> | <i>Foodini</i> | <i>ChefJet</i> | <i>FoodJet</i> |
|---------------------|--|--|---|--|
| Tecnologias | Extrusão a quente | Extrusão à temperatura ambiente | Impressão a jato de tinta em pó | Impressão a jato de tinta |
| Materiais | Polímero alimentar em pó, como chocolate | Material semi-sólido de alta viscosidade, como massa | Pó, como açúcares, amido, farinha de milho, sabores e aglutinante líquido | Material de baixa viscosidade, como pasta ou purê |
| Plataformas | Palco motorizado | Palco motorizado | Palco motorizado | Palco motorizado |
| | Unidade de aquecimento | Dispositivo de extrusão | Cabeça de impressão de aglutinante a jato de tinta | Cabeça de impressão a jato de tinta |
| | Dispositivo de extrusão | | Cama de pó | Unidade de controle térmico |
| Produtos fabricados | Chocolate personalizado | Pizza e biscoitos personalizados | Cubo de açúcar em cores | Biscoitos personalizados, modelagem de pasta alimentar |

Fonte: Adaptado de Sun *et al.*, 2015.

3.1.3 Utilização da impressão 3D na área de Projetos e protótipos

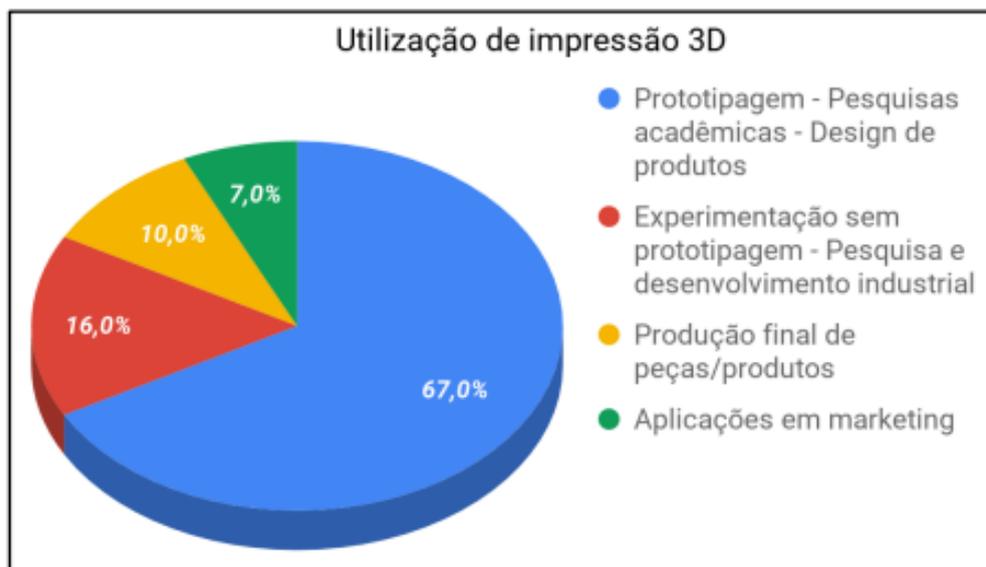
As pesquisas na área de impressão 3D têm crescido substancialmente nos últimos anos, isto porque os benefícios de sua utilização tem levantado questionamentos sobre sua adoção. Apesar disso, alguns setores industriais necessitam de mais avanços para sua

aplicação em larga escala assim como a análise de impacto em sua adoção (SCHNIEDERJANS, 2016).

Para tanto, investir em protótipos para a decisão final é algo que virou pauta na indústria. Isto porque existe uma grande incerteza quando se está desenvolvendo um produto através de novas tecnologias, sendo necessário uma análise de todas possíveis alternativas (SELHORST, 2008). Pode-se citar aqui os custos e tempo de projeto e produção, armazenagem dos protótipos, perdas na fase de testes e tempo de início e fim do projeto (ZIER *et al*, 2019).

Sendo a ciências médicas um destaque na utilização da tecnologia, através de impressões de tecidos e órgãos entre outros, a engenharia e o *design* têm apontado grande demanda para utilização da mesma. Atualmente existe um grande leque de pesquisas sobre a prototipagem rápida devido ao processo rápido entre fim da produção do modelo tridimensional e a impressão da peça, levando a técnica a uma popularidade. Além disso, a abordagem da técnica nos cursos superiores aumentou o interesse da indústria em sua aplicação devido aos projetos realizados (LOPES, 2018). Como pode-se observar na figura 4, a pesquisa acadêmica lidera a utilização da impressão 3D.

Figura 4 - Aplicação da impressão 3D.



Fonte: Lopes, 2018.

Com a popularização da técnica, houve uma grande expansão de utilização da técnica, isto porque nos últimos anos ela está disponível a custos menores e diversidade de

programação. Dessa forma, já há aplicações em diversos segmentos e desde escala pequena até grandes escalas e projetos complexos (MORAES *et al*, 2017).

3.2 Possibilidades na utilização da impressão 3D

Schniederjans (2021) propõe estudo analítico, sobre a adoção da tecnologia 3D na realidade da manufatura fabril como potencial otimizador da produção e da cadeia de distribuição. Foram representados 270 representantes da alta gestão fabril dos Estados Unidos da América (EUA), com o objetivo de entender qual o lugar da tecnologia no mercado, e uma das perguntas era: Como as percepções dos gerentes diferem quanto à adoção da impressão 3D na manufatura?

O artigo categorizou os participantes da pesquisa pelo uso da impressão 3D sendo 67% usando para prototipagem e desenvolvimento de *design* de produto, 10% usam para produto final, 7% para demonstração para clientes, 16% utilizam para experimentar a tecnologia.

Inicialmente na indústria, nos anos 80, um dos maiores propósitos da tecnologia, se destinou à prototipagem rápida (RP), um processo de fabricação, a fim de otimizar a produção reduzindo custos e erros em larga escala. O modelo é inicialmente projetado em *software* e em seguida impresso tridimensionalmente por deposição de camadas, sendo que as medidas e espessura influenciam na qualidade e tempo de impressão (PORTO, 2016).

Existe a possibilidade da impressão 3D ser uma grande aliada da indústria 4.0, principalmente em se tratando de tecnologia. A indústria 4.0 concerne na revolução embasada na inclusão de tecnologias nos processos produtivos, fazendo com que haja uma maior autonomia nas tomadas de decisões, e maior transparência no âmbito das relações entre humanos e máquinas. Segundo a Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN) (2016) a indústria 4.0 agrega valor na cadeia organizacional completa, pois a mesma promove alterações em diversos níveis dos processos produtivos.

3.3 Limitações técnicas em relação ao processo de impressão 3D

A impressão 3D é uma técnica baseada na deposição de finas camadas de material, em peças de grande porte se torna difícil o controle das múltiplas finas camadas. Outra preocupação é o grande volume de material de suporte, e as limitações se estendem para capacidade das impressoras e controle de qualidade das peças (ISLAM, 2021). Outra

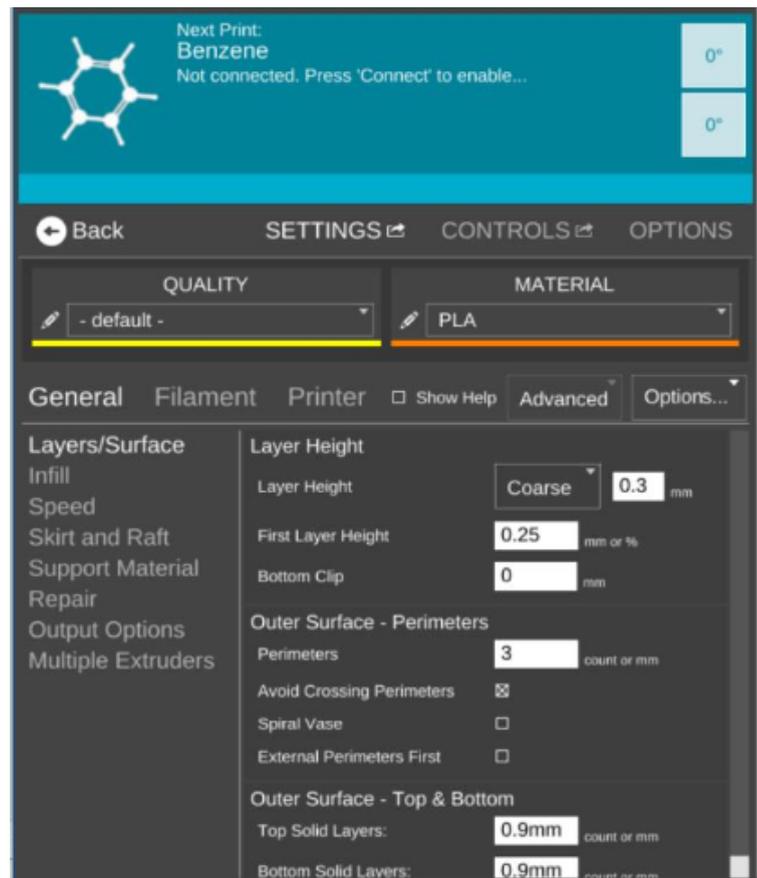
limitação são as diferenças de temperaturas quando ocorre a impressão de peças com maiores volumes de material depositado, a troca térmica com o ambiente pode causar vários problemas no produto (AGUIAR, 2016).

3.3.1 Limitações quanto à expertise

O *software* de impressão se encarrega de examinar o corpo a ser impresso, e escolher a rota de menor uso de material no menor tempo possível. Pois calcula a menor largura necessária para cobrir as paredes externas do corpo, além de criar um apoio matricial em formato de pente no interior do impresso, a fim de oferecer rigidez porém com baixo uso de material. O *software* faz com que a impressão ocorra nos eixos X e Y, depondo material por "fatias", percorrendo sempre a menor distância possível (PORTO, 2016).

Assim como uma impressão bidimensional (2D), em folha convencional, a impressão 3D precisa de alinhamentos dos parâmetros do *software*, que incluem: densidade de preenchimento do volume, construção de suportes de apoio, altura de camada do objeto, parâmetros da impressora como velocidade de impressão, temperatura da mesa e do bico de impressão, como podem ser vistos na figura 5 (AGUIAR, 2016).

Figura 5 - Alguns parâmetros disponíveis no Software.



Fonte: Aguiar, 2016.

A superfície de impressão também precisa ser preparada, para isso, usa-se uma camada de cola, por motivos de aderência da primeira camada do impresso na mesa. É necessário calibrar a distância entre o bico e a mesa, e também a velocidade e a temperatura de impressão. Alguns problemas podem ser observados logo no início do processo, os mesmos são provocados por falta de adesão à mesa ou por falhas na extrusão provocadas por impurezas no bico. Se a impressora demonstrar funcionamento estável, não é necessária supervisão constante (AGUIAR, 2016).

Os processos da impressão 3D não são completamente intuitivos, por isso exigem preparo e capacitação do operador, logo se fazem necessários investimentos em treinamentos, é necessário também expertise em ferramentas computadorizadas de *design* como o desempenho assistido por computador (CAD), além do tempo de aprendizado do processo (SCHNIEDERJANS, 2021).

3.3.2 Limitação quanto à aplicabilidade da impressão 3D em campo industrial

Há contribuições empíricas no estudo de Schniederjans (2021), que aprimoram o fundamento teórico da pesquisa, que utiliza a combinação das teorias de difusão de inovações (DOI) e da teoria unificada de aceitação e uso da tecnologia (UTAUT). O objetivo foi avaliar analiticamente os impulsionadores da adoção da impressão 3D. Nessa estratégia, enquanto o DOI fornece relatos de inovação tanto da percepção interna da empresa quanto da de mercado, o UTAUT fornece a validação do DOI e avalia os motivadores dos resultados, incluindo condições facilitadoras e influência social.

O estudo de campo foi feito em um ambiente de manufatura e demonstra que neste contexto existe uma discrepância entre as visões de inovação frente a tecnologia e sua aplicabilidade em campo. A expectativa de alto desempenho da tecnologia foi fortemente impulsionada, mas não foi levada em conta a complexidade, os esforços necessários para a aplicação da tecnologia em campo e a intenção das altas gestões fabris em adotar a tecnologia. Conclui-se que no ramo fabril, a possibilidade de adoção da tecnologia é bem menos factível do que o esperado. Conclui-se também que a análise de factibilidade é dependente do contexto fornecido e da tecnologia analisada (SCHNIEDERJANS, 2021).

A tendência da demanda de impressoras de grande porte ser crescente, o mercado atual ainda é dominado por impressoras 3D de pequena escala (impressoras 3D *desktop*) de dimensões aproximadas de 200X200X200 milímetros (mm), fator limitante para aplicação industrial de larga escala (MIAH, 2019).

3.3.3 Limitação quanto ao tamanho da peça

Embora a técnica ofereça vantagens como a melhoria na disposição de material com alta qualidade de impressão, o dimensionamento físico do projeto ainda é um desafio. Quando amplia-se o tamanho das máquinas para grande porte, nota-se problemas de dimensão inerentes ao processo, demandando alterações de projeto (MIAH, 2019).

No estudo de Miah (2019), para compreender o impacto do aumento da escala da impressora na construção de protótipos, fenômeno chamado de *upsizing* no artigo, foi utilizado um protótipo funcional de prova em escala real, com eixos X, Y e Z, de aproximadamente 1500X1500X1800 mm, o protótipo foi testado para garantir funcionalidade geral. O objetivo do estudo era testar capacidade de impressão e determinar possíveis problemas de *upsizing* que afetam a qualidade ou causam falha total, diagnosticando:

- 1) Tensão adicional à correia da extrusora e à flexibilidade resultante provocando oscilações e consequente falha total de impressão;
- 2) Furos de retração da peça extrudada;
- 3) Requer maior controle de temperatura;
- 4) Dificil equilíbrio da relação tempo X qualidade de impressão, para a peça imprimir demandou uma quantidade muito superior de tempo, limitando produções de larga escala.

3.3.4 Limitação quanto ao controle de temperatura

Um dos maiores problemas encontrados na impressão 3D por extrusão de material envolve o controle da temperatura para a não deformação das peças impressas durante o processo. O empenamento é causado por tensões internas na peça provocadas pelo diferencial de temperatura entre o material recém extrudado e o bico de impressão. A diferença de temperatura permitida entre uma extremidade da peça para outra torna-se menor à medida que o tamanho da impressão aumenta, a fim de controlar as tensões internas. Por isso, a temperatura do bico de impressão é um dos parâmetros mais importantes e limitantes para o bom funcionamento da técnica (MIAH, 2019).

Há alternativas para controlar esse problema, como por exemplo aquecer o ar circulante para reduzir a taxa de resfriamento da peça recém impressa, a fim de reduzir as tensões térmicas internas, reduzindo-as gradativamente. É comum as impressoras já virem equipadas com estrutura aquecida para se precaver desse problema, sendo conhecidas como as impressoras fechadas (MIAH, 2019).

3.4 Vantagens da aplicação da impressão 3D em projetos, construção civil e alimentos

Uma vantagem a ser considerada pelo uso da impressão 3D é o seu crescimento exponencial em mídias, plataformas digitais e conferências, onde o acesso ao público mostra-se promissor, uma vez que atinge pessoas de cargos executivos até pessoas do chão de fábrica, tornando a impressão 3D cada vez mais difundida. Dentre as principais vantagens da utilização da mesma, estão a redução no tempo de colocação no mercado e também no tempo de fabricação de produtos, economia de material pela redução dos processos de manufatura e ferramentas, moldes e de mão de obra e por fim a fabricação de peças com maior complexibilidade. Além disso, a impressão 3D mostrou-se como uma tecnologia muito

flexível, podendo ser aplicada em diversas áreas (SCHNIEDERJANS, 2017), tais como projetos de engenharia no geral, na área de construção civil e até alimentos.

A impressão 3D tem sido utilizada em projetos de engenharia devido à possibilidade de modelar e criar protótipos únicos para aplicações específicas dentro da área. Para isso é necessário que haja conhecimento prévio de *softwares* de modelagem tridimensional e também conhecimento específico da função final da peça, o qual oferece as vantagens do idealizador ser o próprio operador da impressora 3D, redução de custo e peso das peças impressas. Além disso, a opção de utilizar a impressora 3D em projetos possibilita o compartilhamento de resultados e a colaboração entre pesquisadores de todo o mundo e de diversas áreas do conhecimento (LOPES *et al.*, 2018).

Existem diversos estudos e relatos relacionados à utilização da impressão 3D em projetos voltados para a educação em sala de aula, onde gráficos matemáticos virtuais foram impressos em modelos reais, assim como modelos matemáticos e demonstrações de teoremas como os triângulos Pitagóricos, o Atrator de Lorenz e o Sexteto de Soddy, facilitando a visualização e entendimento dos alunos. Tanto os professores quanto alunos alegam que a acessibilidade, assim como o desenvolvimento e aproveitamento aumentaram. Com isso, nota-se uma maior aceitação do público em relação à impressão 3D, o que pode fazer com que a mesma seja utilizada em diversas outras finalidades além de apenas para visualização em salas de aula, ocasionando posteriormente a produção de protótipos e outros projetos (AGUIAR, 2016).

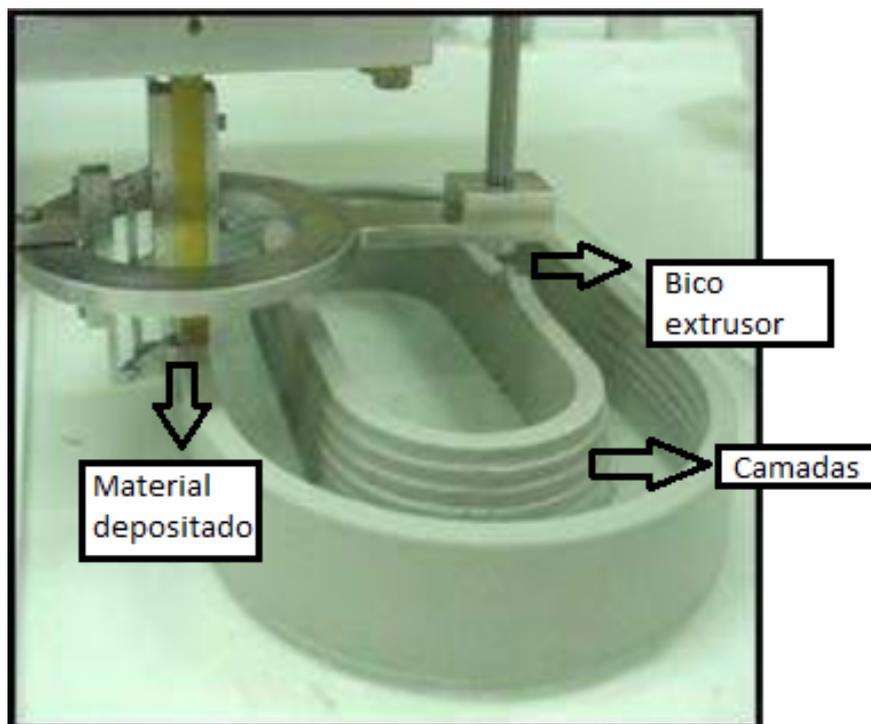
Chicca *et al.* (2018) afirma que através da impressão 3D torna-se possível a materialização de um produto, ocasionando benefícios no processo projetual onde possibilita a prevenção de erros ainda na etapa de concepção, além de viabilizar a compreensão das formas e espaços, estabelecendo proporcionalidades, perspectivas e funcionalidades. Segundo Florio *et al.* (2007) a viabilização de protótipos físicos faz com que seja experimentado a percepção visual e tátil do volume, assim como permite reconhecer elementos e suas características, inter-relações e sequências espaciais, logo, caso o protótipo funcione conforme o esperado, há motivação para avançar para a próxima etapa no projeto, caso contrário, volta-se à etapa anterior, em um ciclo constante de testes e refinamentos.

Atrela-se o sucesso de um projeto de novo produto à sua fase de desenvolvimento, onde a eficácia e eficiência são fatores de grande peso (OLIVEIRA, 2008). Ao inserir a aplicação da impressão 3D nesses projetos, as chances de se obter êxito na parte do desenvolvimento e conseqüentemente do produto final são bem maiores quando comparadas com a utilização dos processos usuais de fabricação, uma vez que um dos benefícios da

impressão 3D é o fator tempo, que é reduzido consideravelmente. Além disso, fatores como custos e relacionados à prototipagem (quando necessário) também são reduzidos (ZIER, 2019).

No âmbito da construção civil, é perceptível que a impressão 3D vem ganhando destaque por oferecer maiores benefícios quando comparada aos demais processos de fabricação. A produção de casas por este meio apresentaram menor custo por diversos fatores, tais como redução da mão de obra devido ao processo ser automatizado, redução da matéria prima e baixo índice de desperdício, uma vez que há uma maior precisão da quantidade de material que será utilizado. Além disso, há uma maior liberdade projetual e flexibilidade de *design* pois a impressora 3D possibilita que sejam produzidas estruturas mais complexas, proporcionando um maior domínio da funcionalidade e otimização estrutural (MACEDO *et al.*, 2019). Outro fator considerável é a redução significativa do tempo de construção, segundo Buswell *et al.* (2007) o tempo para construção de uma parede estrutural, por exemplo, utilizando uma impressora 3D foi reduzido em cerca de 35%.

Segundo Menezes (2020), a impressão de concreto e materiais cimentícios têm ganhado muita visibilidade no âmbito da engenharia e da arquitetura por possibilitar a aplicação em larga escala. Com isso, tem-se algumas técnicas de impressão 3D desenvolvidas para a construção civil, tais como a principal, que é chamada de *Contour Crafting* (construção por contornos) que consiste na criação de peças em estruturas de materiais cerâmicos e a base de cimento, através da deposição de camadas sucessivas pela extrusão de argamassa, controlada por computador, até que se obtenha o objeto desejado, tal técnica pode ser vista na figura 6 e é considerada a base das demais técnicas. A *Contour Crafting* permite que o objeto possua contorno exterior e inferior, possibilitando que a estrutura seja otimizada em termos de preço e consumo de materiais. Além disso, pode-se produzir estruturas pré-fabricadas que permitem que sejam montadas posteriormente no local da obra, viabilizando o transporte e montagem.

Figura 6 - Técnica *Contour Crafting*.

Fonte: Adaptado de Khoshnevis, 2004.

Com a tecnologia da impressão 3D sendo aplicada na construção civil, é esperado que haja melhorias no custo, na eficiência, e na velocidade de produção e construção para todos os envolvidos na obra (GARDNER *et al.*, 2013). Logo, pode ser considerado que as expectativas quanto a isso são atendidas, uma vez que WU *et al* (2016) destaca que com o uso da impressão 3D na construção civil a produtividade foi aumentada em termos de redução do desperdício, flexibilidade de *design*, mão de obra reduzida e tempo de construção reduzido.

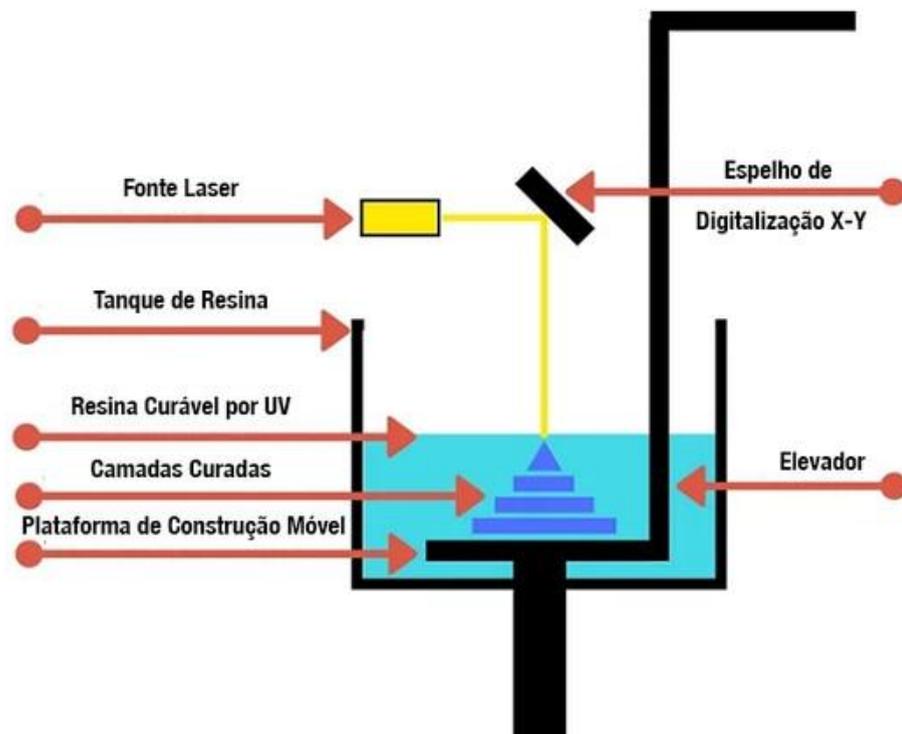
Além disso, existe uma ampla variedade de técnicas de processos de fabricação a partir da manufatura aditiva que foram e estão sendo desenvolvidos para atender aos mais diversos nichos, podendo ser utilizados para fazer e complementar a utilização na construção civil e assim, aumentar a produtividade, bem como o custo x benefício da obra. Tais técnicas, podem ser vistas na Tabela 2, bem como suas principais características e nas figuras 7, 8 e 9. A tecnologia da impressão 3D evoluiu rápido e está em constante avanço, com isso, os custos reduzem, novos materiais de impressão podem ser adicionados numa base regular e até mesmo existe a possibilidade de vários materiais serem impressos uma só vez.

Tabela 2 - Características de tecnologias de impressão 3D.

| TÉCNICA | PROCESSO DE IMPRESSÃO | MATERIAIS |
|-------------------------|---|---|
| Estereolitografia | Usando um laser UV para endurecer o polímero líquido e baixar a plataforma para criar múltiplas camadas. | Resinas líquidas fotossensíveis. |
| FDM | O material de impressão é alimentado para a cabeça da impressora para depositar o material em camadas. | ABS, Elastômeros, Cera, Metais. |
| SLS | Material de impressão é depositado e em seguida consolidado utilizando um feixe de laser focado. Repete-se de camada para camada. | Materiais à base de nylon, aço, formas de areia (pó). |
| <i>Contour Crafting</i> | Material de impressão é extrudado a partir do bico e moldado, controlado por computador. | Materiais cerâmicos, concreto. |

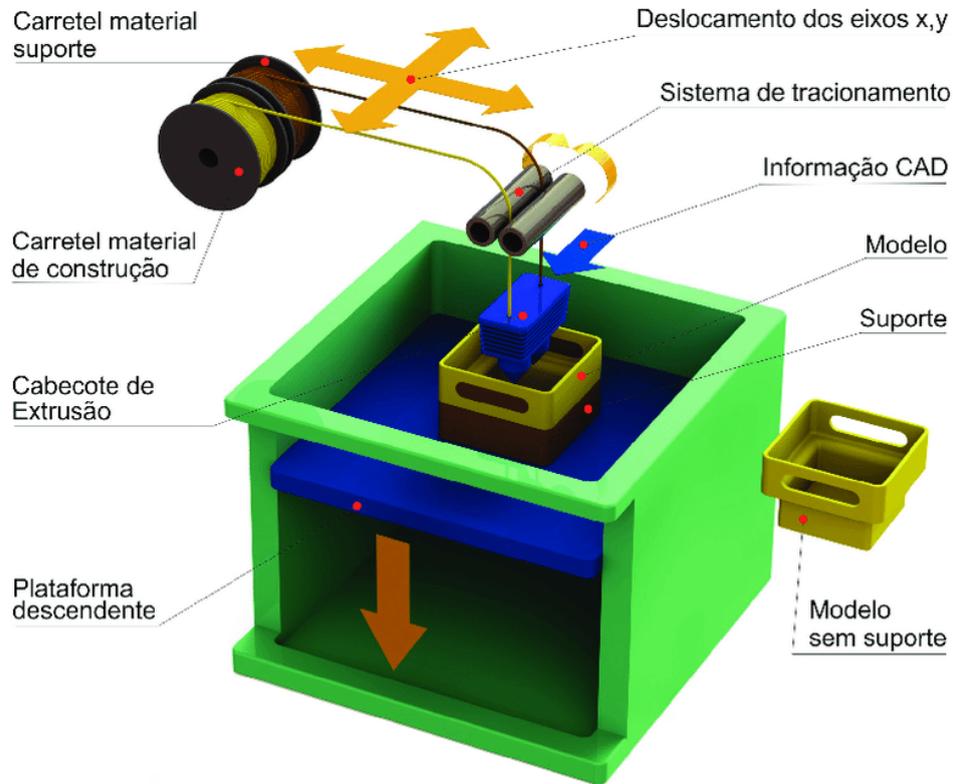
Fonte: Adaptado de Porto, 2016.

Figura 7 - Técnica de Estereografia.



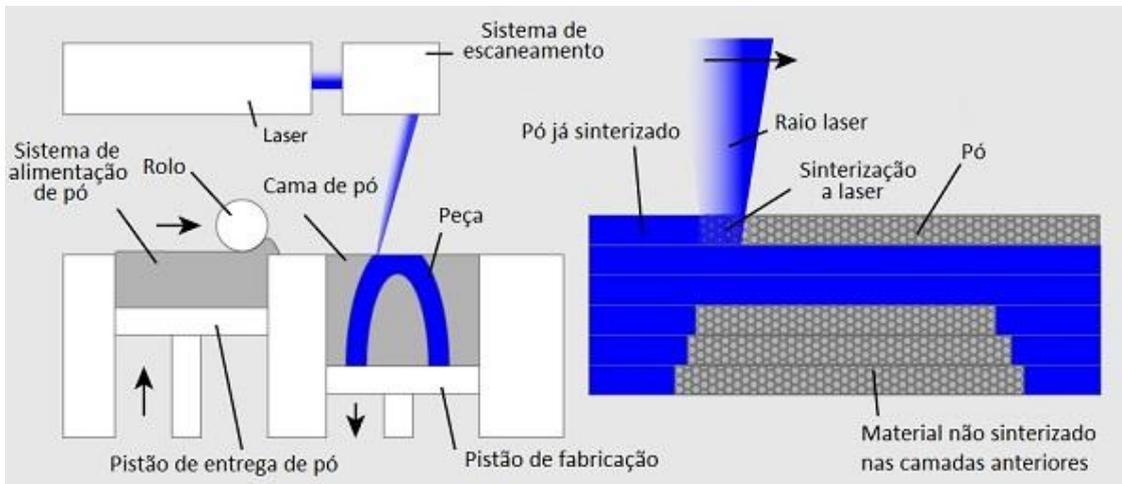
Fonte: Manufactur3D, 2022.

Figura 8 - Técnica de FDM.



Fonte: Henriques *et al*, 2012.

Figura 9 - Técnica de SLS.



Fonte: Roda, 2018.

Além do setor da construção civil, a indústria alimentícia também está sendo beneficiada pela impressão 3D, a demanda de alimentos no mundo tem crescido exponencialmente e segundo Porpino *et al.* (2018) cerca de 28% da produção global é desperdiçada sem nem mesmo chegar à mesa do consumidor por não se adequar aos padrões de beleza que “agradam aos olhos”. As vantagens da utilização da impressão 3D para

produção de alimentos são inúmeras, a começar pela utilização desses alimentos que seriam descartados por sua aparência mas que ainda servem para consumo e possuem alto valor nutricional. Outros benefícios são a possibilidade de produção direta em domicílio pelo indivíduo, assim como a produção em pequena escala, como em bares, restaurantes e padarias, e também a produção industrial em larga escala. Já existem *startups* e empresas nascentes como, por exemplo, a *Upprinting Food* (Holandesa) e a *Piq Chocolates*, que utilizam da impressão 3D para transformar alimentos que iriam para o lixo em *snaks* e chocolates, o que possibilita um maior estudo e desenvolvimento de técnicas para esta finalidade, visto que é uma tecnologia em expansão (BERGO *et al.*, 2019).

Impressoras 3D já estão sendo utilizadas em confeitarias e lojas de doces nos EUA, Europa e no Brasil (SARTORI, 2019). Na área da confeitaria, geralmente são esperados objetos com *designs* complexos que dificilmente seriam feitos à mão com perfeição. Existem impressoras 3D de doces e chocolates que são utilizadas na confeitaria e oferecem uso desde o doméstico até o profissional, como a *Candy 3D*.

Wegrzyn, *et al.* (2012) determinam que para a produção de alimentos a partir da impressão 3D é necessário que dois tipos diferentes de processamento da matéria prima sejam aplicados, diferentemente de quando a impressão é de materiais não comestíveis. No primeiro ocorre a preparação e determinação das proporções, que ao serem impressas passam para o segundo processamento, onde irá ocorrer a fase de cozimento do alimento para ser ingerido posteriormente.

A tecnologia de produção de alimentos a partir de impressão 3D permite que uma grande variedade de matéria prima seja utilizada. Existem diversas características que podem influenciar na escolha da mesma, a figura 10 mostra que propriedades reológicas, físico químicas, mecânicas e estruturais irão determinar o que pode ser impresso e como pode ser impresso, assim como qual será o pós processamento (Wiltgen, 2021). A grande vantagem presente nisto é a liberdade de escolha e possibilidade de fusão de mais de uma matéria prima, fazendo com que o aproveitamento seja alto já que é possível imprimir uma infinidade de combinações de acordo com o destino final do alimento, podendo incluir diversos tipos de nutrientes, vitaminas e até mesmo medicações.

Figura 10 - Propriedades da matéria prima.



Fonte: Godoi, F. *et al.*, 2015.

Outros benefícios potenciais referentes à aplicação da impressão 3D em diversas áreas são a redução da necessidade de utilização de ferramentas de custo elevado, a customização de acordo com a aplicabilidade, a incentivação do empreendedorismo e a divulgação da tecnologia tanto no setor privado quanto no público visando melhorar a atividade econômica. Ademais existem os benefícios ligados à sustentabilidade, o qual fica evidente que a utilização da impressão 3D pode proporcionar a redução do impacto ambiental através da eliminação de sucata, por exemplo. Logo, torna-se possível a criação de um ambiente colaborativo onde há redução de custos e sustentabilidade (SCHNIEDERJANS, 2017).

3.5 Desvantagem da aplicação da impressão 3D em projetos, construção civil e alimentos

Por se tratar de uma tecnologia relativamente nova no mercado, a impressão 3D apresenta diversas vantagens, contudo, algumas desvantagens também mostraram-se presentes. Uma das desvantagens com mais foco em grandes indústrias é o custo inicial de maquinário para aplicações em escala, vez que necessita de aumentar a quantidade de máquinas para atender demandas produtivas por causa da baixa velocidade de fabricação, é necessário também captar mão de obra especializada na modelagem de peças através dos softwares 3D, que não é uma desvantagem, mas aumenta o custo com salários que pode

inviabilizar o custo de produção, além disso, a adoção da impressora 3D aumenta o uso de energia elétrica quando comparada a um processo de injeção, por exemplo. Questões acerca da qualidade do produto em termos de textura superficial e durabilidade também foram consideradas como desvantagem em relação ao processo tradicional de injeção de termoplásticos (SCHNIEDERJANS, 2017).

Segundo Seguin (2011), uma desvantagem relevante quanto a aplicação da impressão 3D é referente à sua manutenção, pois por se tratar de uma tecnologia relativamente nova há uma falta de mão de obra especializada no mercado para realizar manutenções e reparos na mesma. Além disso, existe uma certa limitação ao utilizar materiais metálicos para impressão, uma vez que estes materiais apresentam propriedades mecânicas diferentes. Somado a isso, observa-se que o acabamento superficial para peças metálicas impressas é inferior quando comparadas as peças produzidas por usinagem.

Ferreira *et al* (2016) apresenta a Tabela 3 em seu estudo, que é um apanhado de vantagens, desvantagens e aplicações da impressão 3D que algumas empresas que adotaram a técnica para seus projetos relataram em entrevista. No quesito desvantagens, pode-se perceber que destacaram-se fatores como alto custo, novidade no mercado e acabamento.

Tabela 3 - Vantagens, desvantagens e aplicações da Impressão 3D.

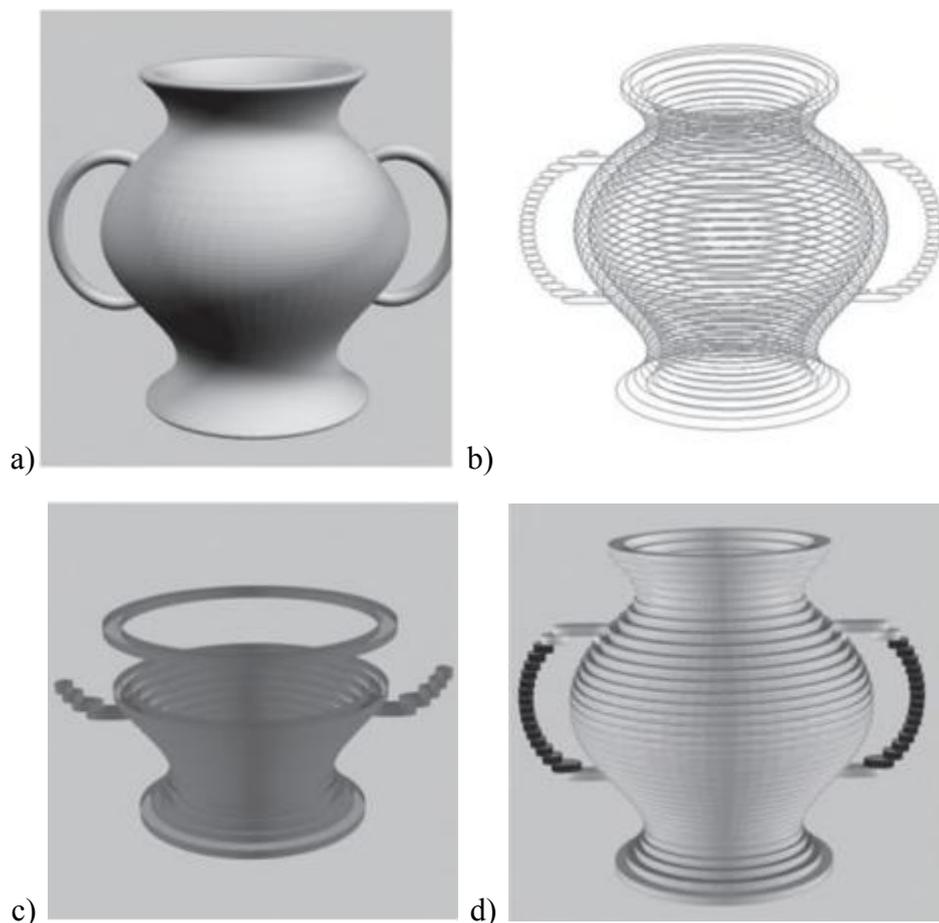
| VANTAGENS | DESVANTAGENS | APLICAÇÕES |
|---|--|--|
| Ajuda a evitar alguns modos de falhas e seus efeitos. | Dificuldade em obter certas geometrias das peças. | Simulação e testes de novas ferramentas de produção. |
| Curto prazo na otimização de peças. | Investimento alto para uma impressão mais bem acabada. | Simulação e testes de novos dispositivos de produção. |
| Custo baixo em relação ao processo convencional. | Não possuir capacidade de atingir 100% das tolerâncias exigidas. | Simulação e testes de produtos e componentes em desenvolvimento. |
| Fácil simulação nos laboratórios. | Não possuir grande quantidade de pessoas especializadas. | Validação de produtos e componentes em desenvolvimento. |
| Fácil simulação no chão de fábrica. | O processo de impressão é lento. | Dispositivos para o processo como gabaritos. |
| Facilita na análise de projetos. | - | Nas áreas de negócios, na criação de brindes. |
| Otimização de peças. | - | - |
| Possibilidades de testes próximos à realidade. | - | - |
| Possibilidades de testes próximos ao produto final. | - | - |
| Rapidez no desenvolvimento do protótipo. | - | - |

Fonte: Adaptado de Ferreira *et al.*, 2016.

Em geral, as propriedades dos materiais produzidos por impressão 3D não costumam ser semelhantes às dos materiais processados de forma tradicional, devido à fabricação por camadas presente na impressão, onde o material possui propriedades anisotrópicas e, logo, algumas limitações de aplicação. Além disso, a precisão e o acabamento superficial ficam prejudicados quando comparados com a usinagem, por exemplo, uma vez que a adição de camadas dá origem à degraus de escada nas superfícies inclinadas e curvas, como pode ser visto na figura 11 (VOLPATO, 2018).

Figura 11 - Principais etapas no processo de Impressão 3D.

- a) Modelo geométrico 3D. b) Planejamento de processo.
c) Processamento por adição de camadas. d) Peça fabricada.



Fonte: Adaptado de Volpato, 2018.

Em contrapartida aos diversos benefícios do uso da impressão 3D na construção civil, existem também algumas limitações visto que a atuação da mesma neste nicho de mercado ainda é recente e seu desenvolvimento tornou-se mais lento devido ao conservadorismo da indústria da construção civil. Ademais, há um alto custo inicial e uma determinada dificuldade

na construção de impressoras 3D grandes o suficiente para construir partes de prédios e edifícios (MACEDO *et al.*, 2019).

Cabral (2021) cita que outras desvantagens relacionadas à impressão 3D na construção civil estão ligadas ao fato de que a técnica ainda não permite a construção de edificações muito altas, logo, são aplicadas para construções de um ou dois pavimentos apenas e também não é possível realizar a impressão de fundações e telhados; ou instalar eletrodutos, tubulações, portas, janelas ou outros componentes automaticamente, por enquanto. Para mais, a utilização da impressora 3D em um canteiro de obras exige que a mesma esteja exposta às intempéries durante a construção, podendo ocorrer prejuízos futuros relacionados à manutenção das máquinas.

Outro aspecto de desvantagem é o próprio conservadorismo da indústria da construção civil, onde a maioria se apegua à forma de fazer tradicional e com riscos gerenciais conhecidos (FLORÊNCIO, 2016). Ademais, Khoshnevis (2012) defende que há uma determinada resistência social em revolucionar um dos setores que mais demandam de mão de obra, onde existe uma preocupação quanto ao aumento do desemprego.

Da mesma forma, existem algumas limitações para o uso da impressão 3D na produção de alimentos, tais como o controle da velocidade de impressão vs. diâmetro do bico aplicador, que devem ser calculados para que o produto final seja conforme o esperado e, em casos de alimentos sensíveis à temperatura (chocolate por exemplo), este parâmetro deve ser controlado e estudado para que o produto final não seja afetado de forma negativa, inviabilizando a produção (BERGO *et al.*, 2019).

Wiltgen (2021) cita que a manufatura aditiva em alimentos utiliza máquinas extrudáveis, ou seja, as matérias primas precisam ser macias, moles e fluidas, logo, alimentos sólidos como carnes, frutas, vegetais e queijos, por exemplo, precisam de um pré processamento minucioso para transformar sua estrutura em algo que possa ser extrudável. Diante disso, podem haver algumas limitações e dificuldades relacionadas à impressão de alguns alimentos.

A maioria das desvantagens apresentadas quanto ao uso da impressão 3D são ligadas ao alto custo, mas também fica evidente que por ser uma tecnologia nova no mercado, existem muitas limitações por falta de conhecimento e muitas pessoas e negócios ainda não a utilizam, logo espera-se que com a maior utilização os custos sejam reduzidos e a tecnologia seja aprimorada (SCHNIEDERJANS, 2017).

4 METODOLOGIA

4.1 Metodologia de pesquisa

Neste capítulo é apresentada a metodologia e seus conceitos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho.

4.2 Proposta da pesquisa

O estudo de caso é uma forma de pesquisa que usufrui de dados qualitativos, que são coletados a partir de eventos reais e possuem o objetivo de explicar, explorar ou descrever fenômenos. Segundo Yin (1993), os estudos de caso podem ser classificados conforme a Tabela 4, onde podem ser exploratórios, explanatórios, ou descritivos, de acordo com seu conteúdo e objetivo final ou de caso único ou casos múltiplos, de acordo com a quantidade de casos.

Tabela 4 - Classificação dos estudos de caso.

| ESTUDOS DE CASO | ÚNICOS | MÚLTIPLOS |
|------------------------|----------------------|-------------------------|
| EXPLORATÓRIOS | Exploratórios únicos | Exploratórios múltiplos |
| EXPLANATÓRIOS | Explanatórios únicos | Explanatórios múltiplos |
| DESCRITIVOS | Descritivos únicos | Descritivos múltiplos |

Fonte: Adaptado de Yin, 1993.

A pesquisa desenvolvida neste trabalho é exploratória. De acordo com Ganga (2012), as mesmas são desenvolvidas com a finalidade de proporcionar a compreensão inicial de um problema pouco explorado. O objeto deste estudo é verificar o propósito que este fenômeno é observado, não há necessidade de testar nenhum procedimento, somente compreender a importância da impressão 3D nestes nichos de mercado. Após a finalização desta pesquisa, o conhecimento adquirido sobre o assunto poderá permitir a construção de propostas de melhoria e aplicação inovadoras da utilização da impressão 3D.

4.3 Resultados esperados

De acordo com Jung (2004), a pesquisa poderá ser aplicada a solução de um caso ou básica que tem como finalidade adquirir conhecimentos essenciais a partir de estudos e observações, não exige divulgação dos conhecimentos obtidos por meio de artigos científicos.

4.4 Métodos de pesquisa

A pesquisa pode possuir uma abordagem qualitativa ou quantitativa. Segundo Ganga (2012) a abordagem quantitativa confirma a partir de dados estatísticos, ou seja, quantifica e analisa as relações entre as variáveis envolvidas na pesquisa/projeto. Já a abordagem qualitativa, dá-se pelas informações coletadas sobre o assunto a partir de opiniões e visões do indivíduo, ou seja, a partir de informações e coleta de dados que auxiliam na interpretação do ambiente em que o estudo se encontra. A pesquisa em questão é classificada como qualitativa, pois as variáveis não serão quantificadas.

4.5 Técnica de pesquisa

Para realização de uma pesquisa é necessário o uso de técnicas e procedimentos para coletar e analisar dados, a fim de obter-se um modelo completo que seja possível analisar e concluir com base nos objetivos propostos da pesquisa. Neste trabalho utilizou-se as técnicas de pesquisa bibliográfica, pesquisa de campo e estudo de caso.

A pesquisa bibliográfica conecta o pesquisador com as informações publicadas em jornais, livros, revistas, artigos, *internet*, entre outros, proporcionando a absorção do conhecimento e novas formas de abordagem sobre determinado assunto. Nela, procura-se realizar a identificação e delimitação de documentos com informações relevantes a fim de realizar a pesquisa que dará a base bibliográfica (MACEDO, 1996).

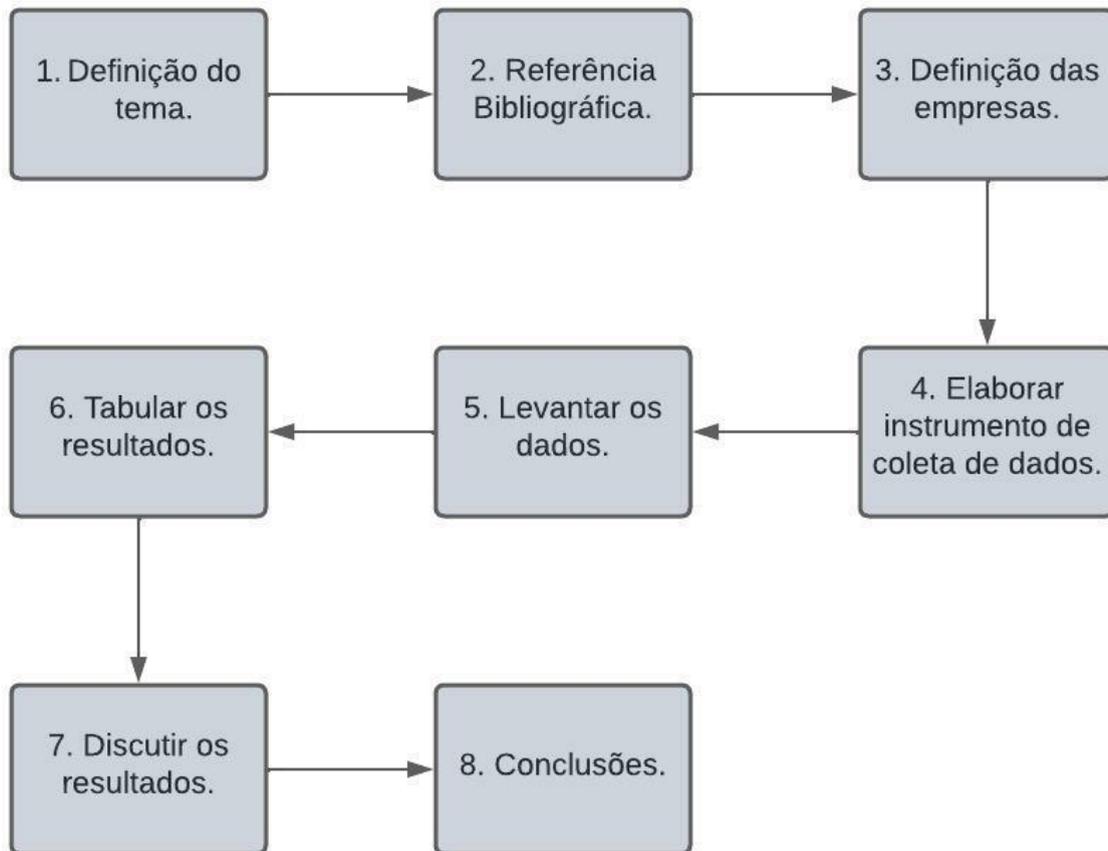
A pesquisa de campo dá-se na forma da ida ao local para coleta dos dados que estão sob a ação de variáveis no mesmo. Com esta pesquisa, é possível obter informações, levantar hipóteses, realizar comprovações e descobrir novos fenômenos (LUZ, 2016).

O estudo de caso, possui como finalidade esclarecer, apresentar ou explorar fenômenos a partir de dados coletados em eventos reais (YIN, 1993).

4.6 Planejamento da Pesquisa

Os procedimentos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho, com foco em responder os objetivos propostos, estão detalhados no fluxograma do planejamento da pesquisa conforme ilustrado na figura 12.

Figura 12 - Fluxograma do estudo de caso.



Fonte: Elaborado pelas autoras.

Etapa 1: A escolha do tema se deu pelo interesse das autoras em aprofundar o conhecimento na utilização da impressão 3D em empresas da área de alimentos, construção civil e projetos de produtos.

Etapa 2: A pesquisa bibliográfica foi desenvolvida a partir de materiais publicados em livros e artigos de outros estudos já realizados sobre o tema, *sites* de empresas e *site* de buscas na internet.

Etapa 3: A Definição das empresas que fazem parte deste trabalho seguiu três critérios:

1) Trabalhar com a impressão 3D em pelo menos 1 atividade;

- 2) Estar localizada dentro do perímetro das cidades que compõem a região metropolitana de Belo Horizonte;
- 3) Disponibilidade da empresa em participar da pesquisa e divulgar suas informações internas.

Etapa 4: Os instrumentos de coleta foram por visitas técnicas para conhecimento do processo, entrevistas com profissionais da área com intuito de elaborar um relatório técnico e como técnica de investigação indireta a elaboração de um questionário composto por um conjunto de questões que foram submetidas a equipe da empresa envolvida no processo de impressão 3D. Durante a elaboração, alguns cuidados foram observados, utilização de linguagem objetiva e clara, de fácil compreensão e de conhecimento geral entre os profissionais da área. As perguntas do questionário foram de caráter aberto, sendo de resposta livre com a linguagem própria do representante sem interferência das autoras.

Etapa 5: O levantamento dos dados ocorreu nas visitas técnicas, onde as autoras se deslocaram às dependências das empresas e posteriormente retornaram para a realização das entrevistas do questionário.

Etapa 6: Tabulação dos resultados, após o retorno dos questionários e finalização das visitas técnicas, aconteceu a análise de todas as respostas e informações obtidas.

Etapa 7: Interpretação dos resultados, identificou-se as vantagens, desvantagens, e potencialidade de aplicação da impressão 3D nas áreas estudadas.

Etapa 8: Conclusão do trabalho e verificação da relação entre os fatos verificados por meio dos objetivos e a teoria aplicada na literatura.

4.7 Desenvolvimento do Estudo de Caso

O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo de caso para conhecer as atividades que envolvem a aplicação da impressão 3D em uma empresa da área de Construção Civil, uma empresa da área de Alimentos e uma empresa da área de Desenvolvimento de Produto (Projetos) dentro da região metropolitana de Belo Horizonte.

Após a definição do tema, foi realizada a pesquisa bibliográfica sobre a impressão 3D e suas aplicações nestas áreas do mercado. Na terceira etapa, foi realizada uma busca na internet por empresas que atuam na área de alimentos, construção civil e desenvolvimento de produtos e que tinham alguma evidência em utilizar a impressão 3D. Após este filtro, foi realizado o contato por meio de telefone ou *e-mail* com as empresas. Houve muita dificuldade

em encontrar empresas das áreas de alimentos e construção civil dentro do perímetro geográfico delineado, decidiu-se então buscar empresas em outras regiões. Mesmo assim, não foi obtido êxito nos contatos, o que impediu de seguir o trabalho estudando casos no ramo de alimentos e construção civil. Diante disso, o foco foi a partir da etapa do estudo de caso na aplicação da impressão 3D em empresas do ramo de projetos, no desenvolvimento de produtos. Posteriormente na etapa 4 e 5, foram realizadas visitas técnicas nas empresas que concederam participar da pesquisa, com intuito de conhecer melhor o processo para subsidiar a elaboração do questionário, nestas visitas foi possível elaborar um relatório técnico do processo, contendo informações observadas pelas autoras no uso da impressão 3D. Na etapa 6, foram produzidos questionários para cada empresa estudada, onde foi possível tabular os resultados a partir das respostas dadas pelas pessoas entrevistadas. Após isso, na etapa 7, os resultados foram discutidos possibilitando a elaboração das conclusões acerca de cada caso (etapa 8).

4.8 Perfil das empresas estudadas

As 2 empresas que participaram da pesquisa, por razões de deliberações internas de divulgação da marca, serão mantidas no anonimato, estando representadas como empresa A e B. Procurou-se apresentar características gerais como ramo de atuação, nicho de mercado, valores, número de funcionários, tamanho do departamento de impressão 3D, quantidade de impressoras, dentre outras informações que julgasse necessárias, para que o leitor tenha uma ideia do ambiente no qual as informações foram coletadas.

Empresa A – O ramo de atuação é o fornecimento de equipamentos, sistemas, soluções digitais e serviços para os setores de transporte ferroviário de carga e trânsito. Está dentro do nicho de mercado de projetos. Atualmente possui cerca de 27.000 (vinte e sete mil) funcionários. A impressão 3D é utilizada no departamento de *Lean Manufacturing*, setor no qual se encarregam de aumentar a eficiência da produção industrial, reduzindo erros de operação. Contudo todos os outros departamentos possuem acesso à impressora.

Empresa B – O ramo de atuação é a aquicultura inteligente, sob os benefícios da automatização da indústria 4.0. Está dentro do nicho de mercado de projetos. Atualmente possui cerca de 50 (cinquenta) funcionários. A impressão 3D é utilizada no departamento de produto, dentro da subdivisão de estruturas.

Caso 1 – Construção de *Mock-ups* para empresa do setor ferroviário

Consiste em avaliar a aplicação da impressão 3D em substituição ao processo manual das maquetes utilizadas na empresa, destacando suas vantagens e desvantagens.

Caso 2 – Sistema de arraçamento inteligente

Consiste em avaliar a aplicação da impressão 3D em substituição ao processo de moldagem por resina de algumas peças que compõem o alimentador de peixes, destacando suas vantagens e desvantagens.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão abordados os resultados coletados e analisados na empresa A e na empresa B, assim como as discussões do caso 1 e do caso 2.

5.1 Relatório Técnico

Os relatórios técnicos das visitas às empresas serão apresentados a seguir.

5.1.1 Empresa A

Visão de Negócio

A empresa em estudo é uma multinacional, fornecedora líder global no segmento de equipamentos, sistemas de sinalização e logística, soluções digitais e serviços de valor agregado para os setores de transporte ferroviário de carga e trânsito. Atendendo às necessidades totais do ciclo de vida de frotas, desde novas locomotivas e metrô até modernizações, serviços e reparos.

A empresa atualmente possui duas principais divisões sendo: Carga e passageiros. A parte de carga inclui uma linha abrangente e atrativa de locomotivas, inclusive a frota diesel-elétrica mais eficiente do mundo e uma ampla seleção de controles essenciais para o negócio, sistemas de freio avançados, controle positivo de trem (PTC, *Positive Train Control*) e cabine. Já a parte de passageiros oferece uma série integrada de componentes para vagões de metrô e trens urbanos, bem como ônibus que oferecem segurança, eficiência e conforto ao passageiro.

A planta visitada é especializada no segmento de locomotivas e seus componentes e tem como missão atender às demandas, nacionais e internacionais relacionadas ao setor. Tratando-se dos fornecedores, são inúmeros, nacionais e internacionais, em diversos ramos (químico, elétrico, mecânico, metálico, madeiras, serviços de soldagem, usinagem, dentre outros), devido à alta complexidade e valor agregado do produto final.

Fabricação do produto e a impressão 3D

A empresa possui a cultura da utilização de maquetes como recursos para simular projetos e ou *layouts* da fábrica, com objetivo de visualizar se a planta possui espaço para alocar novos dispositivos no espaço disponível e para reorganizar o site. A maquete, chamada de *Mock-up* na empresa, é utilizada com a metodologia 3P (Processo de Preparação da Produção), que consiste em encontrar a melhor solução para manufaturar um produto na empresa. O processo é feito pelo Lean com auxílio da Engenharia, que fornece as dimensões reais do projeto para o Lean criar uma maquete em escala reduzida (1:45 ou 1:25). O produto final é uma maquete de escala reduzida que representa bem a escala real da fábrica e permite o estudo de espaço da planta para trabalhos como manobra de içamento de carga, se será necessário mudar algum layout da planta, se será necessária a compra de algum dispositivo, dentre outros estudos relacionados ao espaço utilizado.

Antes da introdução da tecnologia 3D, as *Mock-ups* eram produzidas 100% manualmente, com materiais como PVC, isopor, papelão, fita durex, cola quente e materiais encontrados na fábrica como parafusos e porcas. O processo não era padronizado, demorava dias para ser executado dependendo do grau de dificuldade da maquete, exigia o envolvimento de muita mão de obra e entregava um produto final com precisão questionável. Atualmente a empresa utiliza 1 (uma) impressora a “*GTMax3D*” e os *softwares* são “*NX Siemens Unigraphics*” (para desenhar) e o “*Repetier*” (para fatiar).

A maior parte das *Mock-ups* atualmente são impressas, pois assim a empresa se beneficia de uma maquete com escala acurada, peças com geometrias complexas, *design* refinado, rapidez na produção, menos funcionários envolvidos no processo. Porém a empresa entende que ainda pode se beneficiar dos processos manuais em casos que a impressora 3D ainda se limita, como por exemplo, impressão de peças muito grandes, ou peças com geometrias muito simples que o processo manual seria mais rápido e atenderia a demanda.

5.1.2 Empresa B

Visão de Negócio

A empresa em estudo trabalha com Aquicultura inteligente, se especializando em piscicultura, ramo que trata o ambiente aquático para o cultivo de peixes. Segundo o fundador da empresa, que é o representante, o Brasil representa uma parte competitiva no mercado para

esta modalidade, sendo atualmente o quarto maior produtor de peixes do mundo e o país com maior potencial de crescimento, devido ao extenso território litorâneo, com projeção de nos próximos 20 anos ultrapassar o primeiro colocado da lista de produtores, a China (AGROLINK, 2020).

O fundador afirma que a ração representa aproximadamente 85% do custo total da operação, segundo dados internos da empresa, podendo ser o maior limitante de crescimento financeiro caso não seja bem fracionada. O que a empresa propõe é um sistema de ar्राçoamento preciso, personalizado de acordo com as necessidades do cliente, automatizado e com um diferencial de entregar a rastreabilidade do processo.

O produto em estudo é o Sistema de alimentação de precisão, movido à energia solar e conectado ao *software* desenvolvido pela empresa via *Wi-fi*, o funcionamento se baseia no princípio que o apetite dos peixes muda conforme a temperatura da água, portanto o *software* se encarrega de fracionar a ração conforme a mudança de temperatura da água, oferecendo uma disponibilidade constante de ração, reduzindo o tempo de jejum do peixe de acordo com a estratégia elaborada pela empresa e o cliente, conseqüentemente reduzindo a competição por alimento dentro do tanque, proporcionando um crescimento uniforme dos peixes, além de reduzir os riscos de contaminação no tanque, pois sem disputa por alimento há menos ferimentos e a proliferação de doenças é menor. Na Figura 13 abaixo pode-se observar vários Sistemas de alimentação de precisão atuando em campo:

Figura 13 - Sistemas de Alimentação de precisão montados em campo.



Fonte: Das autoras.

Quando o cliente aluga um alimentador, recebe acesso a um aplicativo de celular que o permite configurar os períodos de alimentação. O aplicativo também fornece métricas históricas de alimentação com resultados obtidos para cada tanque durante todos os dias do ciclo, relatórios em tempo real informando falhas e indicadores de temperatura da água, consumo da ração e crescimento do peixe, além de projeções futuras do negócio.

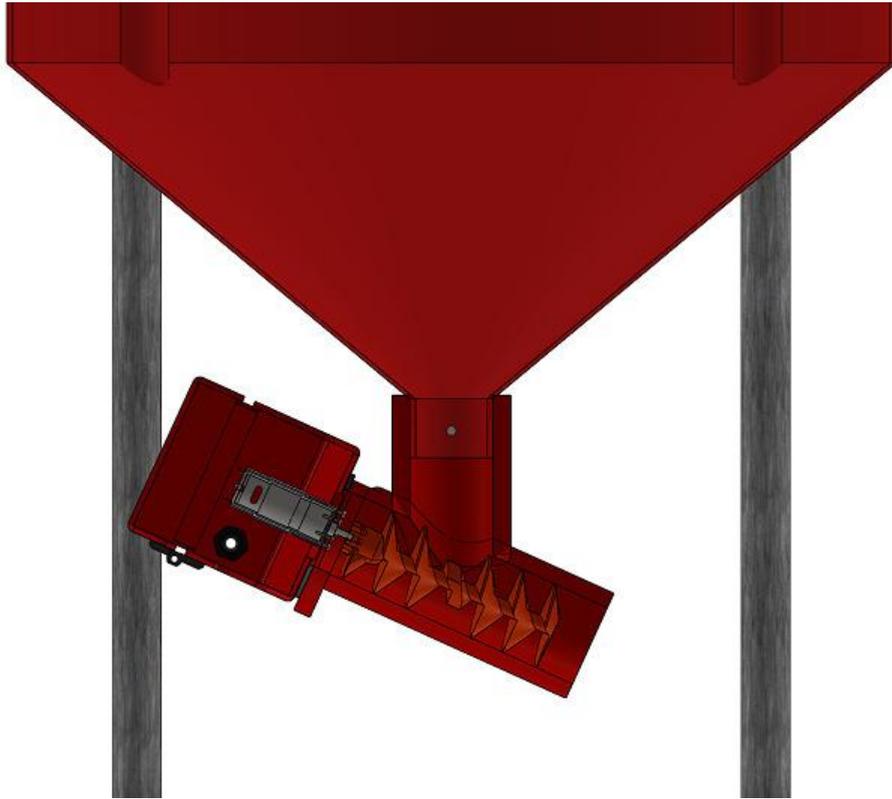
Fabricação do produto e a impressão 3D

A empresa utiliza a impressão 3D para produzir peças customizadas com funções muito específicas no produto final, porém a maior utilização da tecnologia é na construção de protótipos. Existe uma cultura de validação por prototipagem, por entender que desta forma se poupam custos com erros de produção do produto final. Anteriormente a prototipagem era feita a mão com resina e isopor e era muito demorado e pouco preciso, por este motivo a impressão 3D foi inserida no negócio da empresa, oferecendo melhorias como precisão das peças, *design* atraente, repetibilidade do processo, redução de mão de obra, tempo de execução e complexidade. Atualmente a empresa utiliza duas impressoras a “*GTMax H4*” e “*7 sethi3D AIP3*”, para execução dos desenhos é utilizado o *software* “*SolidWorks*” e para fatiamento o “*Simplify 3D*”.

Um caso interessante abordado na visita foi a rosca que compõe a parte interior da caixa alimentadora de peixes como observado nas figuras 14 e 15. Inicialmente a rosca era impressa em PLA, filamento que tinha disponível na empresa. Após um ano de aplicação em campo do produto, percebeu-se que a rosca apresentava tempo de vida curto, pois o material mostrou-se inadequado para o ambiente de aplicação já que não suportava altas temperaturas e umidade. Para isso vários outros protótipos foram impressos com outros materiais, com a finalidade de aumentar a resistência do produto. A empresa chegou a conclusão que o material mais indicado para a aplicação da rosca era o ABS.

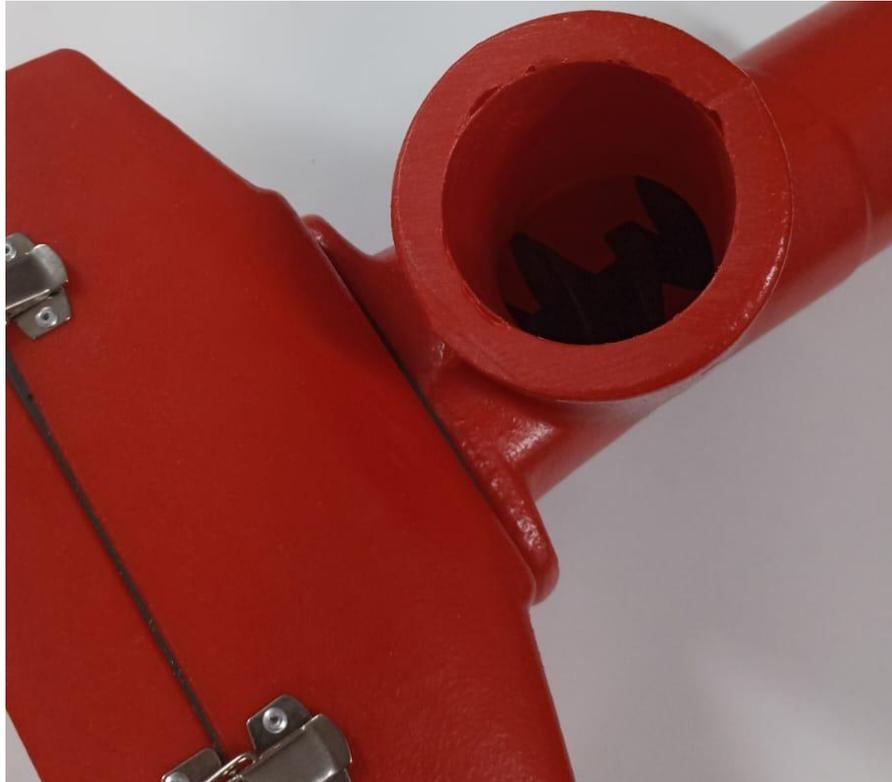
Após a utilização da rosca de ABS em campo observou-se outro problema, o *design* da peça provocava elevada taxa de quebra de ração, resultando em desperdício, já que o peixe não consome a ração quebrada. Para solucionar a falha, a empresa criou uma patente de rosca com um chanfro no meio, representada na figura 16. Essa rosca patenteada, ainda era produzida via impressão 3D, porém observou-se que o processo era moroso e o ritmo de impressão não atendia a demanda devido ao tempo prolongado. Por isso a empresa migrou a produção da rosca patenteada da impressão 3D para o processo de injeção, que é o processo que mais se adequou à realidade da empresa.

Figura 14 - Desenho do alimentador inteligente com vista interna da rosca patenteada.



Fonte: Das autoras.

Figura 15 - Caixa do alimentador inteligente montado com rosca patenteada.



Fonte: Das autoras.

Figura 16 - Rosca patenteada.



Fonte: Das autoras.

5.2 Respostas do Questionário

Os questionários realizados com os representantes de cada empresa após a visita técnica serão apresentados abaixo.

5.2.1 Empresa A

1. Qual a necessidade de fabricar maquetes?

R: A empresa ferroviária em estudo utiliza maquetes como recursos para simular projetos e ou layouts da fábrica, com objetivo de visualizar se a planta possui espaço para alocar novos dispositivos no espaço disponível e para reorganizar o *site*. A maquete possui escala reduzida que representa fielmente a escala real da fábrica e permite o estudo de espaço da planta para trabalhos como manobra de içamento de carga, se será necessário mudar algum *layout* da planta, ou a compra de algum dispositivo, dentre outros estudos relacionados ao espaço utilizado.

2. Quem são os principais clientes, pessoas físicas ou jurídicas?

R: Pessoas Jurídicas. Por motivo de sigilo o nome dos clientes não será revelado.

3. Quais tipos, modelos ou nichos a empresa atua na fabricação de maquetes?

R: A empresa não comercializa o serviço de maquete, as Mock-ups têm função estratégica para atender demandas internas com o fim organizacional das operações.

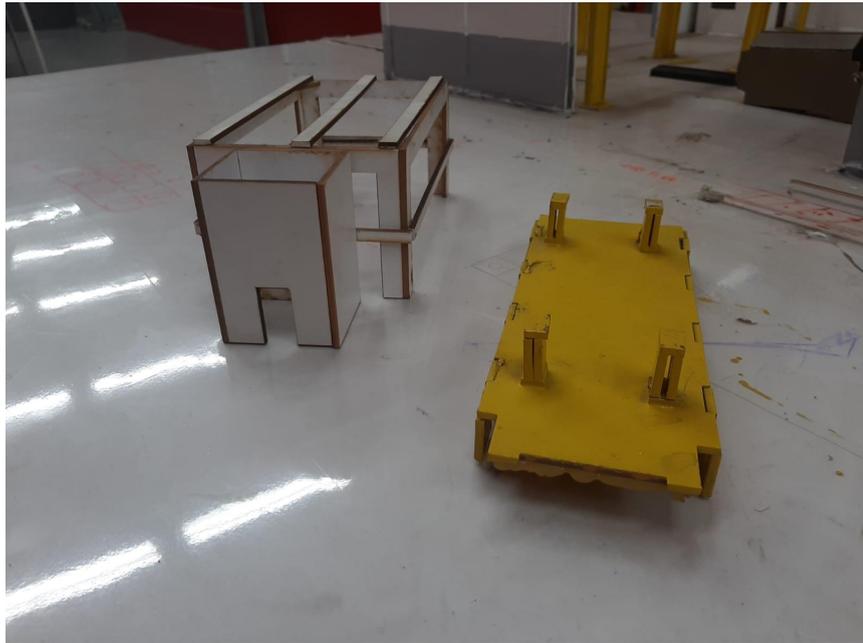
4. Como surge o início do projeto de uma maquete? é feito modelagem computacional?

R: A necessidade de uma maquete surge através de uma demanda informada pelo diretor de *Supply Chain*. Essas demandas podem ser um novo produto, criação de nova linha de produção que ainda não existe processo de montagem e há necessidade de desenvolver um, reparos esporádicos ou desenvolvimento de projetos. Após o surgimento da demanda é feito análise do layout, que requer visita à fábrica para medir a área estudada com trena a laser, após medições os projetos são elaborados em *software* de desenho (*Autocad*) para simulações do projeto. Em seguida, para detalhamento da montagem utiliza-se o método "*fishbone*". *Fishbone* é uma metodologia interna da empresa, que se apropria da metodologia *Ishikawa*, utilizando o formato de espinha de peixe como base para uma análise mais aprofundada da sequência de operações de um processo. Após estudo a modelagem é feita computacionalmente via *Software Unigraphics* e convertido em *Repetier* para impressão. Quando o processo era feito manualmente o estudo do Lean já era executado e a modelagem via *Unigraphics* já havia sido introduzida, porém a execução manual deixava a desejar nos fatores de acuracidade da escala, *design* e complexidade geométrica.

5. Quais os processos a empresa conhece para fabricação de maquetes?

R: Atualmente a empresa conhece e domina os métodos de corte à laser, impressão 3D, e processos manuais. Abaixo, na figura 17 peças produzidas por corte à laser, nas figuras 18, 19, 20, 21 e 22 peças produzidas por impressão 3D e na figura 23 peças produzidas manualmente, todas em escala 1:25.

Figura 17 -Peças produzidas no corte à laser em escala 1:25.



Fonte: Das autoras.

Fig.17 Peça à esquerda, branca, componente do *Mock-up*, é a representação em para a cabine de teste em escala 1:25. À direita em amarelo, componente do *Mock-up*, que representa o carro de movimentação do motor diesel em escala 1:25.

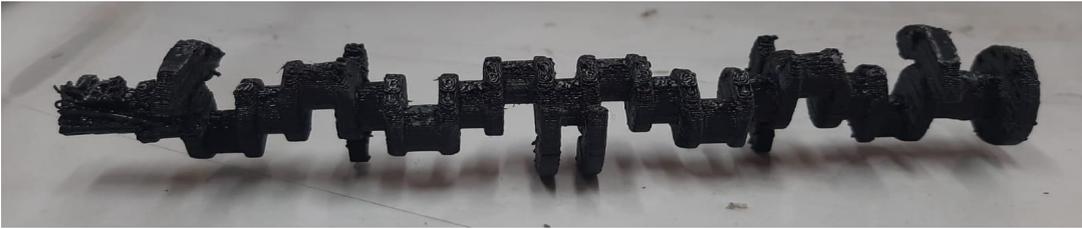
Figura 18 -Locomotivas impressas em escala 1:25.



Fonte: Das autoras.

Fig.18 Peças componentes do *Mock-up* da linha principal de montagem são representações em escala 1:25 de locomotivas diesel-elétrica.

Figura 19 - Virabrequim produzido via impressão 3D em escala 1:25.



Fonte: Das autoras.

Figura 20 - Jaqueta produzida via impressão 3D em escala 1:25.



Fonte: Das autoras.

Figura 21 - Blower produzido via impressão 3D em escala 1:25.



Fonte: Das autoras.

Figura 22 - Resfriador de Óleo produzido via impressão 3D em escala 1:25.



Fonte: Das autoras.

Figura 23 - Peças produzidas manualmente em escala 1:25.



Fonte: Das autoras.

6. Como eram feitas as primeiras maquetes?

R: As primeiras *Mock-ups* foram produzidas manualmente, com materiais como PVC, isopor, papelão, fita durex, cola quente e materiais encontrados na fábrica como parafusos e porcas. O processo não era padronizado, demorava dias para ser executado dependendo do grau de dificuldade da maquete, exigia o envolvimento de muita mão de obra, gerentes incluídos, e a

entrega final era de um produto com precisão questionável, levando em conta que a maquete precisa ter escala compatível com a realidade da planta.

7. Quais os insumos utilizados para produzir as maquetes?

R: Os insumos utilizados para produção das maquetes manuais eram placas de PVC, isopor, fita durex, papelão, insumos encontrados na fábrica como parafusos e arruelas. Atualmente com a inserção da impressão 3D há grande uso de filamentos de ABS.

8. Qual o tempo de produção das maquetes artesanais?

R: No processo manual, a produção de uma maquete da Linha Principal, demanda 4 (quatro) meses com 2 (dois) funcionários trabalhando "*full time*" (8 horas por dia). Além disso, era necessário suporte de terceiros que se encarregavam de movimentar o material da maquete na fábrica e cortar peças à laser quando necessário. O processo incluía a traçagem manual dos croquis e a montagem da maquete, que envolvia cortar todas as peças de PVC à mão. Atualmente o processo demanda 2 (dois) meses de trabalho de 1 (um) funcionário, incluindo modelagem no *software* e produção na impressora. Importante destacar que enquanto a impressora imprime a *Mock-up* o funcionário está livre para operar em outros projetos.

9. Quando a empresa começou a utilizar a impressão 3D na fabricação de maquetes?

R: A empresa produz maquetes desde 2016, e apenas no ano de 2019 a impressão 3D foi implementada no processo.

10. Qual o tipo de impressão 3D é utilizado?

R: Impressão de Filamento.

11. Quantas impressoras a empresa possui?

R: A planta de Contagem da empresa, onde este estudo de caso está sendo executado, possui 1 (uma) impressora.

12. Qual marca e tamanho de impressora é utilizado?

R: A impressora utilizada é a *GTMx3D* e os *softwares* são *NX Siemens Unigraphics* (para desenhar) e o *Repetier* (para fatiar).

13. Quantos profissionais eram demandados quando o processo era artesanal?

R: Para o processo artesanal eram demandadas 2 (duas) pessoas trabalhando "*full time*", além da ajuda de terceiros para movimentação de material e corte à laser de peças.

14. Quantos profissionais e impressoras atualmente trabalham no processo de fabricação por impressão 3D.

R: Atualmente apenas 1 (uma) pessoa é demandada no processo de fabricação das *Mock-ups*, não há pessoa específica para a função, o time de lean se encarrega do processo e por alocar o funcionário responsável pela impressão. Se necessário pode haver contratação de serviços de terceiros para produção em larga escala.

15. A produção mensal ou anual teve alavancagem em relação à quantidade de maquetes produzidas? Comente em média a proporção de ganhos.

R: Na planta de Contagem, os ganhos com maquetes nunca foram mensurados. O Processo Manual sempre atendeu às demandas da empresa, a diferença com a implementação da impressão 3D foi o tempo de produção. Diferentemente da planta da empresa nos Estados Unidos da América (EUA) especializada em desenvolvimento e que lidera as pesquisas de impressão 3D dentre as plantas da empresa. O representante não possui dados da planta dos EUA.

16. Qual é o tipo de mão de obra utilizado para produzir uma maquete feita à mão?

R: Anteriormente, o profissional exigido para a maquete era uma pessoa especializada em desenho técnico.

17. Qual é o tipo de mão utilizado para produzir uma maquete por impressão 3D?

R: Um funcionário que domine os *Softwares* utilizados pela empresa *NX Siemens* e o *Repetier* e linguagem CNC. O representante explicou que não houveram novas contratações, os funcionários já existentes foram capacitados para produzir em impressão 3D.

18. Quais vantagens em fabricar maquetes artesanais?

R: Quando o projeto possui escala maior, o processo manual é mais indicado do que a impressão. Mas essa vantagem é devido à limitação da impressora que a empresa tem. Outra vantagem encontrada pela empresa, em adotar o processo manual é quando o nível de

complexidade do projeto é pequeno e não exige complexas geometrias. Em exemplo é a maquete de um galpão, que é basicamente feita com placas retangulares.

19. Quais desvantagens em fabricar maquetes artesanais?

R: As desvantagens do processo manual citadas pela empresa foram tempo de execução do projeto, qualidade do *Mock-up* (baixa precisão, *design* pobre, erros de esquadro), dificuldade de incorporar geometrias complexas.

20. Quais vantagens em migrar para fabricação de maquetes impressas?

R: As vantagens observadas pela empresa com a impressão foram: redução do tempo de produção da maquete, repetibilidade do processo, *design*, escala acurada, incorporação no projeto, de forma precisa, com peças geometrias complexas, possibilidade do operador executar outros projetos enquanto a impressão ocorre.

21. Quais desvantagens em migrar para fabricação de maquetes impressas?

R: A empresa não observou desvantagem em migrar os processos manuais para impressão 3D, mas observaram limitações da impressora comprada, como o tamanho das peças impressas. Observaram também que em certos momentos, quando o projeto possui baixa complexidade geométrica, o processo manual é mais rápido.

22. Na ordem de custos, qual o percentual de redução ou ampliação houve na migração entre os processos de fabricação.

R: Os custos e ganhos não foram mensurados pela empresa. A decisão de investir em uma impressora não foi baseada em um estudo de custo X benefício. O objetivo era reduzir o tempo de operação manual dos funcionários. O representante citou que houve ganho indireto com as horas trabalhadas dos operadores do lean, porém não foi estimado o valor.

23. Quais foram as alterações técnicas realizadas nas maquetes ao longo dos anos?

R: Com o passar dos anos, com a impressão 3D, as maquetes ganharam detalhes, que não eram possíveis ser executados manualmente. Foi relatado pelo representante que a maquete manual tem bastante aspecto retangular e sem formas complexas.

24. Existe algum estudo para migrar novamente o processo de fabricação? Se sim, qual o novo processo em análise?

R: Atualmente não há estudos para migrar o processo de fabricação das *Mock-ups*. A empresa entende que, no contexto da fábrica, tanto processo manual quanto a impressão 3D possuem vantagens e desvantagens, e utilizam disso para melhor aplicar os métodos. O representante citou que em casos de maquetes de grande volume a empresa ainda utiliza o método manual por causa da limitação da impressora que a empresa possui.

25. Como a empresa analisa as oportunidades atuais e futuras no mercado de impressão 3D?

R: A empresa entende que a impressão 3D será o futuro para peças metálicas fundidas. Existe um estudo na empresa para substituir a compra de peças específicas e substituir pela produção própria via impressão 3D.

26. Porque a maquete não pode ser substituída por *software*?

R: A visualização em maquete não pode ser substituída por um *software*, por causa da teoria de lean. Quando desenvolve-se análise de linha de montagem, entende-se que o *Mock-up* é uma ferramenta que permite a movimentação rápida de peças, o que proporciona maior agilidade e entendimento do processo, facilita o trabalho em equipe, melhora a visualização da planta, além de ser uma forma rápida de apresentar a fábrica para clientes.

5.2.2 Empresa B

1. Quais os produtos fabricados na empresa por impressão 3D

R: Suporte personalizado para PCB (*Printed circuit board*), visto na figura 24. Capa de proteção do sensor de temperatura, visto na figura 25. Disco giratório lançador de ração ainda em processo de prototipagem. Peças personalizadas com funções específicas no produto final, visto na figura 26. Além dos protótipos, na figura 27 pode ser visto um dos vários protótipos produzidos pela empresa.

Figura 24- PCB envolto com suporte personalizado feito na impressora 3D.



Fonte: Das autoras.

Figura 25 - Sensor de temperatura envolto com capa feita na impressora 3D.



Fonte: Das autoras.

Figura 26 - Peças customizadas.



Fonte: Das autoras.

Figura 27 - Produto em fase de protótipo.



Fonte: Das autoras.

Fig. 23 Protótipo de um item ainda não lançado pela empresa, possui sistema abre/fecha magnético. O objetivo desse produto é realizar a contagem dos peixes dentro dos tanques de alimentação com auxílio do sensor anexado.

2. Qual a finalidade de um alimentador automático de peixes?

R: O Sistema de alimentação de precisão tem a finalidade de entregar um arraçamento de precisão dentro dos tanques para piscicultura. O objetivo do sistema é reduzir desperdício de ração, minimizar o tempo de jejum dos peixes, proporcionar um ambiente com menor competição por alimento, e possibilitar um crescimento mais uniforme e mais saudável. Em comparação com o processo manual, o operador oferta grandes quantidades de ração, distribuídas poucas vezes no dia, o que gera longos períodos de jejum, alta disputa por alimento no tanque, aumento do risco de ferimentos provocados pela disputa e consequentemente contaminações.

3. Qual o princípio de funcionamento do alimentador de peixes?

R: O Sistema de alimentação é constituído por uma parte mecânica e eletrônica denominada alimentador inteligente que é acionado por energia solar e se reajusta automaticamente com a mudança de temperatura por meio de um *software*, já que o apetite dos peixes varia de acordo com a temperatura da água. Logo, o sistema regula o nível de ração do tanque mantendo a constante oferta de ração (Gráfico curva Quantidade de Ração X Temperatura). O *software* entrega relatórios em tempo real, indicando fatores como falhas mecânicas do Alimentador, temperatura da água, consumo de ração e crescimento do peixe, o que possibilita a rápida interferência no tanque, se necessário.

4. Quando e como surgiu a oportunidade em projetar um alimentador automático de peixes ?

R: A oportunidade de se introduzirem no mercado da Aquicultura, produzindo um produto novo, surgiu em novembro de 2016. O representante explicou que estudando o setor da piscicultura, notou-se a carência por um produto que atendesse à demanda do mercado, e dessa forma criaram a oportunidade e desenvolveram um produto novo.

5. Quais e como foram os primeiros protótipos?

R: O primeiro protótipo produzido pela empresa foi uma Bóia, que é parte de um alimentador, seu processo de fabricação durou cerca de 3 (três) meses, sem incluir a fase de projeto. O material base para o protótipo foi uma qualidade de resina e a moldagem foi feita à mão. O processo ao migrar para a impressão, demandou em média 2 (duas) semanas para a elaboração do projeto 3D e a primeira impressão, sendo que a boia impressa demanda em média 20 (vinte) horas de impressão.

→ Anteriormente a função da Bóia no alimentador, era servir de suporte para o sensor de temperatura. Atualmente o sensor de temperatura é anexado ao alimentador e a Bóia está sendo modificada para se tornar suporte do sensor de oxigênio dissolvido na água, visto na Figura 28.

Figura 28 - Bóia em processo de prototipagem.



Fonte: Das autoras.

Fig. 24 Sensor de Oxigênio dissolvido na água indicado pela seta azul e antena *wi-fi* indicada em vermelho. Acima da bóia, observa-se placa de energia solar anexada.

6. Qual a demanda de produção que a empresa esperava quando iniciou o projeto?

R: Quando a empresa se inseriu no mercado a expectativa de demanda já existia, pois o objetivo não era gerar demanda nova mas sim resolver um problema existente. O estimado foi de uma demanda anual de 800 mil toneladas de peixes, em todo território nacional, sendo que o peixe mais cultivado atualmente no Brasil, pela empresa, é a tilápia. No início, a empresa não focava em nenhum peixe específico e o sistema de alimentação de precisão funcionava para qualquer cardume.

7. Existem outros modelos de alimentadores automáticos no mercado? Qual o diferencial do produto de vocês?

R: No mercado existem substitutos aos alimentadores, porém o diferencial do alimentador inteligente em questão é o *software* implementado ao produto que agrega com informações em tempo real, oferecendo um sistema de gestão da operação que identifica falhas e notifica em tempo real. O *Software* de Controle coleta dados e aplica conceitos da indústria 4.0. Então respondendo a pergunta, existem no mercado dispositivos que fazem uma automação mecânica do processo, porém faltam métodos de identificação de falhas em tempo real, e é o que a empresa oferece de novo.

8. Quais foram as limitações técnicas dos protótipos?

R: As limitações técnicas do protótipo manual de resina (Bóia) relatadas pela empresa foram: Peças visivelmente grosseiras com *design* prejudicado, menor nível de resolução dos detalhes comparadas com as peças 3D, processo manual demorado e trabalhoso, desperdício de material comparado com a impressão 3D. (percentual de preenchimento).

9. Qual o perfil de profissional que a empresa demandava na fabricação de alimentadores de peixe na criação dos primeiros alimentadoras?

R: Nos primeiros alimentadores não havia perfil profissional para fabricação do produto. Fundadores da empresa conheceram um graduado em engenharia de materiais que se encarregou de produzir o primeiro protótipo da empresa, a Bóia, comentada na entrevista. Com o tempo, os funcionários da empresa se capacitaram de acordo com as necessidades da empresa, além de contratar mão de obra terceirizada para fabricação de peças específicas, por fornecedores parceiros que dominam as técnicas de produção (injeção, rotomoldagem, produção de molde, montagem de elementos eletrônicos).

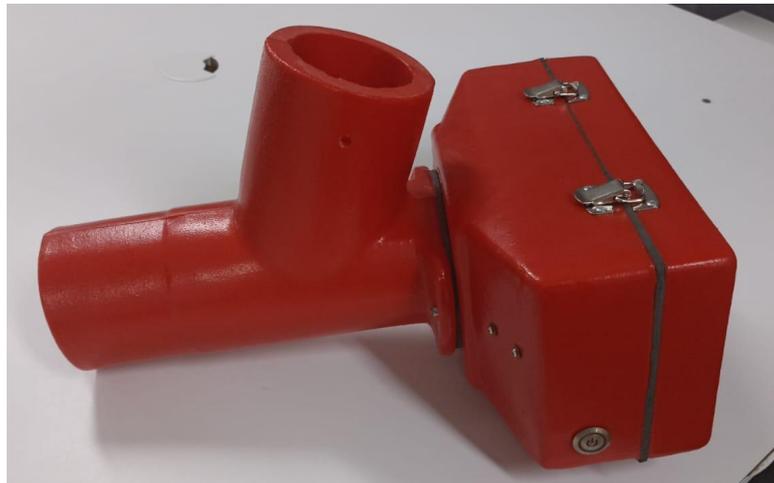
10. Quais foram as alterações realizadas no projeto até o modelo atual?

R: Muitas adaptações foram necessárias para a empresa chegar no modelo atualmente comercializado pela empresa, dentre elas foi destacado pelo representante a vedação do alimentador inteligente, a resistência estrutural dos materiais utilizados, a distribuição do peso do produto, alterações funcionais e de *design* a fim de tornar mais comercial.

11. Quais técnicas de fabricação foram utilizadas nos primeiros produtos comercializados?

R: O primeiro produto produzido e comercializado foi via rotomoldagem. O processo de produção envolveu a criação de moldes metálicos para validar o modelo e provar se o conceito da empresa era viável. O primeiro molde produzido foi com chapas metálicas com auxílio de um serralheiro. A fim de melhorar a precisão e acabamento do molde, e consequentemente do produto final e melhorar os parâmetros iniciais do conceito proposto, foi produzido um molde de Alumínio fundido, viabilizando o produto final, que foi produzido com polímero via Rotomoldagem. Abaixo, representado pela figura 29, a Caixa do alimentador inteligente produzida via Rotomoldagem com o molde de Alumínio Fundido.

Figura 29 - Caixa do alimentador inteligente.



Fonte: Das autoras.

12. Qual era o tempo da produção dos primeiros produtos fabricados?

R: O molde de Alumínio fundido demora 2 (dois) dias para ser fabricado, após molde pronto são produzidos 7 (sete) alimentadores por dia via Rotomoldagem.

13. Qual era a capacidade de produção mensal ou anual nesta época?

R: A capacidade de produção mensal da empresa anteriormente era de aproximadamente 15 (quinze) alimentadores. Um dado interessante foi da rosca, componente do alimentador, que quando era produzida via impressão, demandava 8 (oito) horas para produzir 1 (uma) unidade, atualmente mudaram o processo para injeção, que tem a capacidade de produzir 1000 (mil) unidades por dia. Um bom exemplo no qual a impressão 3D não viabilizou o processo e que métodos tradicionais se mostraram mais produtivos.

14. Quais foram os insumos e materiais utilizados?

R: Majoritariamente polímeros, sendo filamentos de ABS, ICORENE® 3850 Copolímero hexeno, além dos itens eletrônicos que a empresa compra montados.

15. Quando e como surgiu a oportunidade de migrar a fabricação para impressão 3D?

R: A oportunidade de migrar a produção de protótipos para a impressão 3D surgiu quando perceberam que o conhecimento à tecnologia estava acessível e que era possível treinar o profissional da empresa. O representante destacou que a tecnologia popularizou após abertura da patente, pois os preços e o acesso à especialização se tornaram mais populares, além do aumento da disponibilidade dos insumos e *softwares* de impressão.

16. Como é feita a modelagem para impressão 3D?

R: A modelagem para a impressão 3D depende do item que será impresso. A maioria dos itens da empresa são modelados via *software*, porém quando é necessário reproduzir um item já existente são feitas medições manuais com paquímetro digital para inserção no *software*.

17. Qual tipo de impressão 3D é utilizada?

R: FDM

18. Quantos profissionais demandavam no processo anterior e quantos demandam no processo atual?

R: A produção de protótipos e itens pequenos personalizados da empresa não chegou a ser viabilizada por outros processos, logo, a comparação não pode ser feita.

19. Qual o perfil de profissional que a empresa demanda na fabricação de alimentadores de peixe atualmente?

R: A empresa possui um funcionário específico que executa a impressão 3D. Não houve nova contratação, o que ocorreu foi a capacitação de um funcionário via curso online, mentorias e consultorias.

20. Quantas impressoras a empresa possui?

R: Duas impressoras.

21. Qual marca e tamanho de impressora é utilizado?

R: *GTMax3D H4* e outra da marca *Sethi3D AIP3* e utiliza os *softwares SolidWorks* e o *Simplify 3D*

22. Quantos % do produto é fabricado na impressão 3D e quantos % dependem de algum outro processo?

R: A empresa mensura o impacto da impressão 3D no produto final ou por preço ou por peso final do produto. O resultado é que a impressão tem impacto no produto final de apenas 2%, mensurado em valor.

23. Quais processos adicionais são utilizados e porque?

R: Os processos adicionais à impressão 3D que a empresa utiliza são os seguintes serviços terceirizados: rotomoldagem, injeção, montagem industrial da placa eletrônica do alimentador inteligente.

24. Qual o tempo de fabricação de um alimentador de peixe atualmente?

R: Atualmente a empresa produz 7 (sete) alimentadores inteligentes por dia, sendo aproximadamente 1 (um) por hora. A empresa tem capacidade de produzir mais alimentadores se necessário, porém a produção se orienta pela demanda.

25. Qual a capacidade de produção mensal ou anual atualmente?

R: Atualmente a empresa produz 7 (sete) Alimentadores por dia, podendo produzir 200 (duzentos) por mês, tendo capacidade de dobrar a produção se produzir outro molde.

26. Qual a demanda atual que a empresa comercializa neste produto?

R: A demanda da empresa varia de acordo com as estratégias comerciais adotadas, em média vende 30 (trinta) alimentadores por mês. A produção é feita sob demanda, não trabalham com estoque.

27. Qual a vantagem de confeccionar o produto por impressão 3D?

R: Para a empresa, as vantagens observadas foram produção facilitada de produtos personalizados e produtos de geometria complexa, repetibilidade dos processos, facilidade para prototipar novos produtos, acessibilidade da tecnologia (capacitações feitas online).

28. Houve benefício financeiro com a implementação da impressão 3D no processo? na ordem de quantos%?

R: O representante não soube mensurar o ganho.

29. Qual a desvantagem de confeccionar o produto por impressão 3D?

R: Dentre as desvantagens da impressão 3D, para a empresa se destacam: resistência insuficiente para a aplicação do produto, alto tempo de produção, alta variação na qualidade dos filamentos para impressão gerando grande dependência a certos fornecedores.

30. Existe algum estudo para migrar novamente o processo de fabricação? Se sim, qual o novo processo em análise?

R: Sim, existe um estudo para migrar o processo de produção da caixa de proteção do circuito, atualmente a produção é rotomoldagem e objetivo é migrar para injeção, com o intuito de uma produção mais eficiente e rápida.

31. Como a empresa analisa as oportunidades atuais e futuras no mercado de impressão 3D?

R: A empresa analisa as oportunidades no mercado de impressão 3D crescentes, pois há muito espaço em diversos mercados para a introdução da tecnologia, disponibilidade de matéria-prima, materiais e projetos flexíveis para atender demandas específicas, crescente fabricação de peças metálicas que facilita a alimentação do processo produtivo metalúrgico. Além da oportunidade de aumentar a eficiência processos convencionais com a inserção da nova tecnologia. Importante destacar que o mercado da manufatura aditiva apresenta diferentes tecnologias de impressão com melhores resoluções.

5.3 Discussões

A partir dos resultados obtidos através das visitas técnicas, dos relatórios técnicos e dos questionários, pode-se traçar as observações dispostas abaixo.

5.3.1 Caso 1

De acordo com Almeida *et al* (2018), *Mock-ups* são modelos físicos que imitam o produto final, na maioria das vezes em escala natural, que contribuem para um estudo posterior com a finalidade de diversos estudos, como ergonômicos e testes de simulação.

Sugere-se que as *Mock-ups* são utilizadas nesta empresa como um protótipo para modificações e desenvolvimentos dentro da mesma, algo parecido com prototipagem rápida, o que segundo Lopes (2018) foi o que fez a técnica se popularizar e se destacar.

O representante da empresa em questão afirma que utiliza o processo de Impressão de Filamento, segundo já mencionado por Schniederjans (2016), existem várias técnicas para a impressão 3D, contudo, cada técnica é melhor utilizada para determinada aplicação. Nota-se que a impressão chamada de Impressão de Filamento pelo representante é a de Modelagem por Deposição de material Fundido (FDM), que consiste na alimentação da impressora por um material para que seja depositado em camadas (LOPES, 2016), que neste caso, sugere-se ser a mais indicada para a aplicação dentro da empresa.

Vale ressaltar que os *softwares* são muito importantes na impressão 3D pois possuem parâmetros que irão influenciar na limitação do uso da impressora e também na qualidade final do material. Assim como mencionado por Aguiar (2016), Porto (2016) e Schniederjans (2021), a empresa A utiliza 2 tipos diferentes de *softwares* com finalidades diferentes para garantir que não haja limitações no uso e nem na qualidade final do projeto.

As vantagens citadas pelo representante condizem com o esperado, uma vez que Schniederjans (2017), Lopes (2018), Aguiar (2016), Chicca (2018) e Macedo *et al* (2019) as citam em seus estudos dando ênfase no porquê a impressão 3D é um processo de fabricação promissor, logo sugere-se que a impressão 3D tenda a ser aplicada em maior escala com o seu desenvolvimento.

O representante menciona que para projetos em escala maior, o processo de maquete manual é mais indicado do que a impressão 3D, devido à limitação das impressoras que a empresa possui, contudo, sugere-se que ao realizar a impressão de peças muito maiores, haja outras desvantagens além do tamanho da impressora. Peças com tamanho muito maior demandam impressoras de porte maior, o que segundo exposto por Miah (2019) pode tornar-se uma desvantagem pois podem aparecer problemas de dimensão inerentes ao processo, o que demandaria alterações no projeto. Além disso, Ferreira (2016) argumenta que o processo de impressão 3D pode ser lento, dependendo do que está sendo impresso, o que para determinados casos como o dito pelo representante, observa-se que pode tornar-se uma desvantagem quando compara-se o processo de impressão 3D com algum outro processo em questão.

A empresa A analisa como oportunidades futuras a impressão de peças metálicas fundidas. A impressão 3D de materiais metálicos pode apresentar uma determinada limitação pois estes materiais apresentam propriedades mecânicas diferentes e possuem acabamento

inferior quando comparados com outro processo, conforme Sequin (2011) afirmou em seu estudo. Contudo, nota-se que a impressão 3D tem evoluído de forma exponencial de acordo com o avanço da tecnologia, e existem estudos que já utilizam a técnica de FDM para imprimir peças metálicas de acordo com Porto (2016). Logo, conclui-se que a produção que o representante menciona é condizente com a realidade atual.

5.3.2 Caso 2

Percebe-se que o *software* de controle utilizado pela empresa engloba o conceito de indústria 4.0, conforme foi mencionado por Firjan (2016) em seu estudo, pois possui uma representação virtual, que através da *internet* torna-se capaz de trocar informações acessando dados em tempo real para disparar ações autônomas. Assim, observa-se que o produto tornou-se diferencial no mercado justamente por utilizar este conceito agregado à sua tecnologia.

O representante da empresa conta que apenas um colaborador é responsável por manusear a impressora 3D e que o mesmo recebeu treinamento *online*, consultorias e mentorias. Diante do exposto por Sequin (2011) a tecnologia de impressão 3D era relativamente nova, logo não era de uso popular. Segundo Schniederjans (2017) e Ferreira (2018) afirmam que havia falta de mão de obra especializada que soubesse operar através dos *softwares*. Atualmente constata-se que há meios de obter-se acesso à tecnologia e a capacitações, o que torna mais fácil especializar os operadores.

Conforme já abordado por Schniederjans (2021) os processos de impressão 3D demandam preparo e capacitação do operador para a realização, assim como é feito na empresa em questão onde precisou haver investimento em cursos e treinamentos para que o funcionário fosse apto a exercer a função de executar a impressão dentro da empresa.

Sobre os *softwares* o representante menciona que são utilizados 2. O *software SolidWorks* permite a criação de objetos e materiais 3D enquanto o *software Simplify 3D* possui recursos de acabamentos e métodos de fabricação, permitindo que seja feito o fatiamento no mesmo. Tais *softwares* possuem os parâmetros que precisam ser ajustados para que não haja limitações à expertise, conforme citadas por Aguiar (2016) e Porto (2016), logo, observa-se que a empresa B os utiliza para evitar falhas e limitações.

As vantagens comentadas pelo representante reafirmam o que Schniederjans (2017) mencionou em seu estudo, assim como Lopes (2018) e Chicca (2018). Assim, percebe-se que

a impressão 3D possui diversos impactos positivos quando implantada como processo de fabricação, principalmente na área de projetos em indústrias e *startups*.

As desvantagens relatadas estão em conformidade com a descrição de Volpato (2018) sendo que as propriedades dos produtos produzidos por impressão 3D são diferentes dos produtos produzidos pelos processos tradicionais, limitando em alguns casos as suas aplicações. Além disso, Ferreira (2016) cita em seu estudo algumas outras desvantagens que contemplam o alto tempo de produção. No entanto, ainda pode-se sugerir que as desvantagens não igualam-se às vantagens dentro do produto que a impressão 3D é utilizada dentro da empresa B, tornando a produção por meio da mesma a melhor escolha neste caso, mesmo com as desvantagens citadas.

6 CONCLUSÕES

Diante do analisado pode-se concluir que mesmo sendo uma tecnologia de processamento promissora e com diversas vantagens, a impressão 3D ainda apresenta algumas limitações que fazem com que a maioria das empresas ainda prefira utilizar os métodos convencionais de processamento para realizar grande parte dos processos dentro das mesmas.

Após realizar o levantamento das empresas que utilizam a impressão 3D na região metropolitana de Belo Horizonte, não foram encontradas empresas da área de construção civil ou da área alimentícia. Contudo, foram encontradas algumas empresas na área de projetos e desenvolvimento de produtos, e duas delas fizeram parte deste estudo.

Com o estudo de caso, observou-se que nas empresas abordadas, a impressão 3D é utilizada como mecanismo secundário, para execução de projetos. A utilização da tecnologia auxilia os métodos tradicionais de produção, no entanto não os substitui. Foi possível concluir com as visitas em campo e com as respostas dos questionários, que a impressão 3D é uma tecnologia promissora, e oferece aplicações em projetos de alta complexidade geométrica, repetibilidade de processos com precisão, escala acurada e *design* refinado. Porém ainda em estudo, já que também foram observadas limitações de projetos como falha na produção de larga escala, elevado tempo de fabricação e baixa resistência mecânica do produto final.

7 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se, para trabalhos futuros:

- Analisar as possibilidades de impressão 3D como parte primária do processo produtivo;
- Realizar um levantamento de custos das técnicas de impressão 3D a fim de compará-los aos processos tradicionais;
- Realizar um estudo da utilização da impressão 3D para imprimir peças metálicas fundidas;
- Realizar ensaios mecânicos em protótipos feitos por impressão 3D e em protótipos feitos por outro processo de fabricação a fim de avaliar qual possuirá um melhor desempenho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROLINK. [S. l.], 2020. Disponível em:

https://www.agrolink.com.br/noticias/-em-20-anos-brasil-sera-maior-produtor-de-tilapia-_441720.html. Acesso em: 29 jun. 2022.

AGUIAR, L. C. D. **UM PROCESSO PARA UTILIZAR A TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D NA CONSTRUÇÃO DE INSTRUMENTOS DIDÁTICOS PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS**. Orientador: Prof. Dr. Wilson Massashiro Yonezawa. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestre em Educação para a Ciência) - UNESP, Campus de Bauru, Bauru, 2016.

ALMEIDA, L. A. *et al.* Proposta de base pré-fabricada adaptável para mockups automotivos. **Scientia Amazonia**, 2018.

ALWI, A. *et al.* **MegaScale 3D Printing**. Konstruktion, University of Surrey, 2013.

BERGO, P. L. S. *et al.* TRANSFORMANDO DESPERDÍCIO DE ALIMENTOS EM INDULGÊNCIA COM O USO DE NOVAS TECNOLOGIAS. **Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária**, [s. l.], 2019.

BUSWELL, R. *et al.* **Freeform Construction: Mega-scale Rapid Manufacturing for Construction**, 2007.

CABRAL, D. **Quais os usos da impressão 3D na construção civil e arquitetura?**. [S. l.], 30 jul. 2021. Disponível em: <https://www.deviantec.com.br/noticias/quais-os-usos-da-impressao-3d-na-construcao-civil-e-arquitetura/>. Acesso em: 14 jan. 2022.

CHICCA, N. A. J. *et al.* Introdução da impressão 3D em experimentos voltados ao ensino de projetos de design. **Anais do XXIX Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE 2018)**, Recife – PE, 2018.

FERREIRA, G. C. *et al.* UTILIZAÇÃO DA IMPRESSÃO 3D NA MANUFATURA PARA A OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS: UM ESTUDO DE CASO EM INDÚSTRIAS AUTOMOBILÍSTICAS. **Memorial TCC – Caderno da Graduação**, FAE Centro Universitário | Núcleo de Pesquisa Acadêmica - NPA, 2016.

Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro - FIRJAN. Indústria 4.0: Panorama da Inovação, 2016.

FLORÊNCIO, E. Q. *et al.* O futuro do processo construtivo? A impressão 3d em concreto e seu impacto na concepção e produção da arquitetura. **XX Congresso de la Sociedad Ibero-americana de Gráfica Digital**, Buenos Aires, Argentina, 2016.

Florio, W. *et al.* **A contribuição dos protótipos rápidos no processo de projeto em arquitetura.** In: Graphica. Curitiba, 2007.

GANGA, Gilberto M. D. **Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) na engenharia de produção: um guia prático de conteúdo e forma.** São Paulo: Atlas, 2012.

GARDNER, M. *et al.* **Construktion, MegaScale 3D Printing.** University of Surrey, 2013.
GODOI, F. *et al.* **Fundamentals of 3D Food Printing and Applications. 1st Edition, Academic Press,** 2018.

HENRIQUES *et al.* **Ensaio em Design - produção e diversidade,** 2012.

ISLAM, Md Nazmul *et al.* **A Survey on Limitation, Security and Privacy Issues on: additive manufacturing.** Ieee. Xi'an, China, p. 1-10. 11 mar. 2021.

JUNG, Carlos F. **Metodologia para pesquisa e desenvolvimento: aplicada a novas tecnologias,** produtos e processos. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2004.

KHOSHNEVIS, B. **Automated Construction by Contour Crafting – Related Robotics and Information Technologies.** Automation in Construction – Special Issue, 2008.

KHOSHNEVIS, B. **Contour Crafting: Automated Construction: Behrokh Khoshnevis at TEDxOjai,** 2012. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=JdbJP8Gxqog>. Acesso em: 14 jan. 2022.

LOPES, G. T. F. **Exploração das Possibilidades da Impressão 3D na Construção.** 92 .
Dissertação de Mestrado - Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2016.

LOPES, T. G. *et al.* **A Utilização de Manufatura Aditiva em Projetos de Pesquisa. Conference paper,** FATEC Lins, 2018.

LUZ, D. V. D. **Desenvolvimento de produtos: um estudo de caso.** 2016. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 2016.

MACEDO, A. *et al.* **IMPRESSÃO 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL. VI JORNADA INTERDISCIPLINAR DE ENGENHARIA CIVIL,** Anápolis, 2019.

MACEDO, N. D. **Iniciação à pesquisa bibliográfica: guia do estudante para a fundamentação do trabalho de pesquisa.** 2. ed. São Paulo: Edições Loyola, 1996.

MANUFACTUR3D. [S. l.], 2022. Disponível em: manufactur3DMag.com. Acesso em: 11 maio 2022.

MENEZES, M. S. **PLATAFORMA CAD PARA ELABORAÇÃO DE PROJETOS E GERENCIAMENTO E CONTROLE DE IMPRESSÃO 3D COM ÊNFASE NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal Goiano, Rio Verde, GO, 2020.

MIAH, S. J. **Large-scale 3D printers for additive manufacturing: design considerations and challenges**. the international journal of advanced manufacturing technology. International Journal Of Advanced Manufacturing Technology. London, p. 1-15. 24 jun. 2019.

MORAES, A. et al. **Utilização de Impressão 3D no Mercado Atual**. 6º Jornada Científica e Tecnológica da FATEC de Botucatu, Faculdade de Tecnologia de Botucatu, Botucatu, 2017

OLIVEIRA, M. F. **Aplicações da Prototipagem Rápida em Projetos de Pesquisa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.

PORPINO, D. *et al.* **Intercâmbio Brasil - União Europeia sobre desperdício de alimentos**. Relatório final de pesquisa. Brasília, 2018.

PORTO, T. M. S. **ESTUDO DOS AVANÇOS DA TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D E DA SUA APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Orientador: Jorge Santos. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2016.

RODA, D. T. [S. l.]. **Impressoras 3D: como funcionam**, 2018. Disponível em: <https://www.tudosobreplasticos.com/processo/impresao3D.asp>. Acesso em: 11 mai. 2022.

SARTORI, A. **Analysis of the effects of Additive Manufacturing in the Supply Chain using Delphi method**. MSc Dissertation. Postgraduate Program Professional Master's Degree in Production Engineering. Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

SCHNIEDERJANS, D. G. **Adoption of 3D-printing technologies in manufacturing: A survey analysis**. **Int. J. Production Economics**, Department of Supply Chain Management, University of Rhode Island, Kingston, RI 02881, United States, p. 287-298, 2017.

SCHNIEDERJANS, D. G. **Perception of 3D-printing: analysis of manufacturing use and adoption**. Department of Supply Chain Management, University of Rhode Island, Kingston, Rhode Island, USA, 2017.

SCHNIEDERJANS, D. G. **Adoption of 3D-printing technologies in manufacturing: A survey analysis**. Int. J. Production Economics, Department of Supply Chain Management, University of Rhode Island, Kingston, RI 02881, United States, p. 287-298, 2017.

SEGUIN, L. **Trabalho explicativo a respeito das impressoras 3D, e seus desenvolvimentos**. Curso de Curso Técnico em Instrumentação, Curso Nacional de Aprendizagem Industrial-SENAI, Santos, 2011.

SELHORST, A. J. **Análise Comparativa entre os processos de Prototipagem Rápida na Concepção de Novos Produtos: Um estudo de caso para determinação do processo mais indicado**. Dissertação Programa de Pós Graduação - Engenharia de Produção e Sistemas, Departamento de Ciências Exatas e Tecnologia, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2008.

SILVA, A.M. et al. **Impressão 3D na Construção Civil**. VI Jornada Interdisciplinar de Engenharia Civil, Anápolis, 2019.

SUN, J. et al. **An Overview of 3D Printing Technologies for Food Fabrication**. Food and Bioprocess Technology, p. 1605-1615, vol. 8, 2015.

VOLPATO, N. **Manufatura aditiva Tecnologias e aplicações da impressão 3D**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 2018.

WEGRZYN, T. F. *et al.* **Food Layered Manufacture: A New Process for Constructing Solid Foods**. Trends in Food Science & Technology, v.27(2), pp.66-72, 2012.

WILTGEN, F. **PERSPECTIVAS DA MANUFATURA ADITIVA NA CONSTRUÇÃO DE ALIMENTOS**. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, Universidade de Taubaté, 2021.

WOLFS, R.J.M. **3D printing of concrete structures**. Department of the Built Environment, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, 2015.

WOHLERS, T. *et al.* **Wohlers Report 2015: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry**, Wohlers Associates, Fort Collins, CO, 2015.

WU, P. *et al.* **A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry**. Curtin University, 2016.

YIN, R. **Applications of case study research**. Beverly Hills, CA: Sage Publishing, 1993.

ZIER, A. F. *et al.* **ESTUDO DA PROTOTIPAGEM RÁPIDA POR MEIO DA IMPRESSÃO 3D E SEU EFEITO NA REDUÇÃO DE CUSTOS E PRAZOS DOS PROJETOS DE PRODUTO**. Memorial TCC Caderno da Graduação, [s. l.], 2019.