



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**JOSÉ TIAGO PAIVA CAVALCANTE**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO  
DE UMA IMPRESSORA 3D NO SETOR DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DE  
MANUTENÇÃO DE UMA CERVEJARIA NO CEARÁ**

**FORTALEZA**

**2026**

JOSÉ TIAGO PAIVA CAVALCANTE

ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE  
UMA IMPRESSORA 3D NO SETOR DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DE  
MANUTENÇÃO DE UMA CERVEJARIA NO CEARÁ

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Raphael Amaral da Câmara

FORTALEZA

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

C364a Cavalcante, José Tiago Paiva.  
Análise de viabilidade técnica e econômica da implementação de uma impressora 3D no setor de planejamento e controle de manutenção de uma cervejaria no Ceará / José Tiago Paiva Cavalcante. – 2026. 58 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2026.  
Orientação: Prof. Dr. Raphael Amaral da Câmara.

1. Manufatura aditiva. 2. Planejamento e controle de manutenção. 3. indústrias de bebidas. 4. Viabilidade econômica. I. Título.

CDD 628

---

JOSÉ TIAGO PAIVA CAVALCANTE

ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE  
UMA IMPRESSORA 3D NO SETOR DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DE  
MANUTENÇÃO DE UMA CERVEJARIA NO CEARÁ

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Eletricista.

Aprovada em: 27 / 01 / 2026

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Raphael Amaral da Câmara (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Raimundo Furtado Sampaio  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Eng. Amanda Carvalho Alexandre  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico este trabalho ao meu falecido pai, que com amor, dedicação e exemplo me incentivou a lutar pelos meus sonhos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por ter sido meu sustento e por todas as bênçãos concedidas ao longo da minha vida, dando-me forças para continuar mesmo nos momentos mais difíceis.

À minha família, por ter me apoiado desde o começo, desde minha aprovação e durante cada dia que passei na universidade. Destaco, em especial, a importância do meu pai, que, mesmo partindo durante esse processo, permaneceu como minha maior inspiração para manter o foco e alcançar meus objetivos.

À minha namorada, Rute. Por todo companheirismo, cuidado e ajuda nessa reta final.

Ao Grupo de Desenvolvimento Aeroespacial (GDAe-UFC) por ter me proporcionado um ambiente dinâmico dentro da universidade e me proporcionado amigos que ajudaram no processo.

A todo o corpo docente do Departamento de Engenharia Elétrica, que com profissionalismo e dedicação forma exímios profissionais.

Ao professor Dr. Raphael Amaral, por ter me apoiado como orientador e por todo conhecimento passado em suas aulas. Suas contribuições e incentivos foram fundamentais para minha formação acadêmica e profissional.

“Tudo posso naquele que me fortalece”

- Filipenses 4:13

## RESUMO

A indústria de bebidas enfrenta uma competitividade alta onde são exigidas estratégias eficazes por parte do setor de manutenção para garantir confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos de produção, ao mesmo tempo em que custos são reduzidos. Nesse cenário, a manufatura aditiva surge como uma ferramenta inovadora para auxiliar o setor de Planejamento e Controle de Manutenção (PCM), permitindo que peças sejam fabricadas na própria empresa, diminuindo a dependência de fornecedores externos. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade econômica e vantagens técnica da aplicação da manufatura aditiva em uma indústria de bebidas no estado do Ceará. Para isso, foi realizado um estudo de caso levantando as principais barreiras da manutenção no contexto de gestão de peças de reposição, mapeamento de componentes passíveis de impressão 3D e comparação de vantagens em relação ao método tradicional de aquisição de peças. Os resultados mostraram ganhos financeiros potenciais, com retorno do investimento em curto prazo, redução dos tempos de parada, fortalecimento da autonomia da manutenção e promoção de um ambiente de trabalho mais seguro. Dessa forma concluiu-se que a adoção da manufatura aditiva representa uma iniciativa estratégica, viável e promissora para apoiar a gestão de manutenção em uma indústria de bebidas.

**Palavras-chave:** Manufatura aditiva; Planejamento e controle de manutenção; Indústrias de bebidas; Viabilidade econômica.

## ABSTRACT

The beverage industry faces intense competitiveness, requiring effective strategies from the maintenance sector to ensure the reliability and availability of production equipment while simultaneously reducing costs. In this context, additive manufacturing emerges as an innovative tool to support the Maintenance Planning and Control (MPC) department, enabling parts to be manufactured in-house and reducing dependence on external suppliers. This study aims to evaluate the economic feasibility and technical advantages of applying additive manufacturing in a beverage industry located in the state of Ceará. To this end, a case study was conducted by identifying the main maintenance barriers in the context of spare parts management, mapping components suitable for 3D printing, and comparing the advantages relative to the traditional method of parts acquisition. The results showed potential financial gains, with a short payback period, reduced downtime, strengthened maintenance autonomy, and the promotion of a safer working environment. Therefore, it was concluded that the adoption of additive manufacturing represents a strategic, feasible, and promising initiative to support maintenance management in a beverage industry.

**Keywords:** Additive manufacturing; Planning and maintenance control; Beverage industry; Economic feasibility.

## LISTA DE FIGURAS

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Figura 1  | – Etapas da impressão 3D.....                                | 21 |
| Figura 2  | – Organograma da manutenção.....                             | 29 |
| Figura 3  | – Impressora Ultimaker S5 .....                              | 32 |
| Figura 4  | – Controle de configurações de impressão para validação..... | 34 |
| Figura 5  | – Etiqueta para identificação de peça em teste.....          | 35 |
| Figura 6  | – Vedação da válvula de enchimento.....                      | 37 |
| Figura 7  | – Pente de transferência da saída da embaladora.....         | 37 |
| Figura 8  | – Pente de transferência do Pasteurizador.....               | 37 |
| Figura 9  | – Guia 01 da mesa de.....                                    | 37 |
| Figura 10 | – Guia 02 da mesa de acúmulo.....                            | 38 |
| Figura 11 | – Guia 03 da mesa de acúmulo.....                            | 38 |
| Figura 12 | – Suporte de cabos móveis mesa de acúmulo.....               | 38 |
| Figura 13 | – Base do prato da rotuladora de garrafas.....               | 38 |
| Figura 14 | – Trava da regulagem do expulsador de garrafas.....          | 45 |
| Figura 15 | – Gabarito do transporte de latas vazias.....                | 46 |
| Figura 16 | – Suporte da câmera do inspetor de datação.....              | 47 |
| Figura 17 | – Prendedor de luva.....                                     | 48 |
| Figura 18 | – Proteção de partes móveis.....                             | 49 |
| Figura 19 | – Etapas do processo de compra.....                          | 50 |

## LISTA DE EQUAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Equação 1 – Valor Presente Líquido.....  | 25 |
| Equação 2 – Taxa Interna de Retorno..... | 26 |
| Equação 3 – Payback.....                 | 27 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Ganhos com impressão 3D..... | 37 |
| Tabela 2 – Investimentos Iniciais.....  | 39 |
| Tabela 3 – Custos com manutenção.....   | 40 |
| Tabela 4 – Gastos do projeto.....       | 42 |
| Tabela 5 – Fluxo de caixa livre.....    | 43 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|     |   |
|-----|---|
| PCM | Planejamento e Controle de Manutenção     |
| MRO | <i>Maintenance, Repair and Operations</i> |
| VPL | Valor Presente Líquido                    |
| TIR | Taxa Interna de Retorno                   |
| TMR | Tempo Médio de Resolução                  |
| TPM | <i>Total Productive Management</i>        |
| MRP | <i>Material Requirements Planning</i>     |

## SUMÁRIO

|                |  |    |
|----------------|--|----|
| <b>1</b>       | <b>INTRODUÇÃO</b> .....  | 14 |
| <b>1.1</b>     | <b>Problemática</b> .....  | 14 |
| <b>1.2</b>     | <b>Justificativa</b> .....   | 15 |
| <b>1.3</b>     | <b>Objetivos</b> .....   | 15 |
| <i>1.3.1</i>   | <i>Objetivo geral</i> .....  | 15 |
| <i>1.3.2</i>   | <i>Objetivos específicos</i> .....   | 15 |
| <b>1.4</b>     | <b>Metodologia</b> .....   | 16 |
| <b>1.5</b>     | <b>Estrutura do trabalho</b> .....   | 16 |
| <b>2</b>       | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....   | 18 |
| <b>2.1</b>     | <b>Planejamento e Controle de Manutenção</b> .....                         | 18 |
| <b>2.2</b>     | <b>Gestão de estoque de peças de manutenção e peças de reposição</b> ..... | 19 |
| <b>2.3</b>     | <b>Manufatura aditiva</b> .....  | 20 |
| <i>2.3.1</i>   | <i>Manufatura aditiva aplicada à manutenção industrial</i> .....           | 22 |
| <b>2.4</b>     | <b>Análise econômico-financeira</b> .....                                  | 23 |
| <i>2.4.1</i>   | <i>Classificação dos gastos</i> .....                                      | 23 |
| <i>2.4.2</i>   | <i>Fluxo de caixa</i> .....  | 24 |
| <i>2.4.3</i>   | <i>Valor Presente Líquido (VPL)</i> .....                                  | 25 |
| <i>2.4.4</i>   | <i>Taxa Interna de Retorno (TIR)</i> .....                                 | 26 |
| <i>2.4.5</i>   | <i>Payback</i> .....   | 27 |
| <b>3</b>       | <b>ESTUDO DE CASO</b> .....  | 28 |
| <b>3.1</b>     | <b>A cervejaria estudada</b> .....   | 28 |
| <i>3.1.1</i>   | <i>A estrutura da gerência de manutenção</i> .....                         | 29 |
| <i>3.1.2</i>   | <i>O estoque de manutenção</i> .....                                       | 30 |
| <b>3.2</b>     | <b>O setor de impressão 3D</b> .....                                       | 31 |
| <i>3.2.1</i>   | <i>Modelo de impressora e softwares</i> .....                              | 32 |
| <i>3.2.2</i>   | <i>Mapeamento de oportunidades e solicitações de impressão</i> .....       | 33 |
| <i>3.2.3</i>   | <i>Controle de impressões e validação de modelos</i> .....                 | 34 |
| <b>3.3</b>     | <b>Análise de viabilidade econômica</b> .....                              | 35 |
| <i>3.3.1</i>   | <i>Ganhos financeiros</i> .....  | 36 |
| <i>3.3.2</i>   | <i>Dispêndios financeiros</i> .....  | 38 |
| <i>3.3.2.1</i> | <i>Investimentos Iniciais</i> .....  | 38 |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 3.3.2.2 | <i>Custos</i> .....   | 39 |
| 3.3.2.3 | <i>Despesas</i> .....                                       | 41 |
| 3.3.2.4 | <i>Perdas</i> .....   | 42 |
| 3.3.3   | <i>Fluxo de caixa livre</i> .....                           | 43 |
| 3.4     | <b>Análise de viabilidade técnica</b> .....                 | 44 |
| 3.4.1   | <i>Redução de capital empregado</i> .....                   | 44 |
| 3.4.2   | <i>Melhorias operacionais</i> .....                         | 45 |
| 3.4.3   | <i>Itens sem reposição automática</i> .....                 | 47 |
| 3.4.4   | <i>Itens de segurança</i> .....                             | 48 |
| 3.4.5   | <i>Redução de lead time de aquisição de peças</i> .....     | 49 |
| 3.5     | <b>Considerações finais</b> .....                           | 51 |
| 4       | <b>CONCLUSÃO</b> .....                                      | 53 |
|         | <b>REFERÊNCIAS</b> .....                                    | 54 |
|         | <b>APÊNDICE A – CONTROLE DE MANUTENÇÃO DA IMPRESSORA...</b> | 56 |

# 1 INTRODUÇÃO

O presente estudo foi formulado no setor de Planejamento e Controle de Manutenção (PCM) de uma empresa do ramo alimentício, mais especificamente em uma cervejaria, localizada no estado do Ceará. A cervejaria em questão atua com duas linhas de produção, sendo uma de garrafas e outra de latas.

A alta complexidade dos equipamentos, alinhada a uma desvantagem geográfica, dificultam o papel dos profissionais do setor de PCM, principalmente quando o assunto é compra de peças e custos de manutenção. Nesse contexto, a manufatura aditiva tem um papel fundamental, funcionando como uma ferramenta da indústria 4.0 capaz de produzir peças sob demanda, diminuindo a dependência da cadeia externa de suprimentos, à um preço mais barato, e com possibilidade de customização.

## 1.1 Problemática

A gestão de peças de reposição tem papel crucial na rotina do profissional de PCM em indústrias de grande porte. A disponibilidade desses equipamentos está diretamente associada à disponibilidade de componentes críticos, pois a ausência pode ocasionar grandes paradas, perda de produção e altos custos de manutenção. Em muitos casos, para indústrias grandes, esses componentes que devem ser adquiridos se encontram em outra região do país ou até mesmo no exterior, o que aumenta de forma significativa os prejuízos para a fábrica. Rego e Mesquita (2011, p. 1) defendem que:

“Estoques de peças de reposição atendem necessidades de manutenção e reparo de produtos de consumo, veículos, máquinas e equipamentos industriais, acarretando frequentemente altos custos de capital e forte impacto no nível de serviço aos clientes. A grande multiplicidade de componentes, com ciclos de vida mais curtos e baixas demandas dificultam a gestão destes estoques”

A dependência de fornecedores externos e os longos prazos de reposição estão entre os principais fatores que aumentam a complexidade da gestão de peças de reposição. Essa situação é bem agravante no setor de bebidas, em que há presença de equipamentos complexos, onde parte das peças são adquiridas sob encomenda por fornecedores externos com tempo de entrega elevado. Um outro agravante é o valor de aquisição dessas peças: Por mais simples que seja, o fato de ser produzida sob demanda, a exclusividade do fornecedor e o custo logístico para entrega fazem com que o valor do componente seja elevado.

## **1.2 Justificativa**

A busca por excelência operacional dentro das cervejarias tem obrigado o profissional de PCM a buscar soluções que reduzam os custos e aumentem a disponibilidade dos equipamentos à produção. A gestão de peças de manutenção tem um papel crucial nesse contexto, pois a ausência de determinada peça em um momento de quebra pode causar grandes paradas na linha de produção, que vão ocasionar prejuízos financeiros e perda de confiabilidade operacional.

Além disso, em indústrias de maior complexidade, o lead time para a entrega de peças de manutenção tende a ser significativamente elevado, em razão da indisponibilidade desses componentes no mercado local ou da existência de fornecimento exclusivo por parte de determinados fabricantes. Essa situação é ainda mais crítica no estado do Ceará, uma vez que grande parte dos fornecedores, quando não se encontra no exterior, está concentrada nas regiões Sul e Sudeste do país.

Diante desses fatos a implementação de uma impressora 3D em uma cervejaria no estado do Ceará se mostra uma alternativa viável para redução de custos e melhoria da disponibilidade dos equipamentos, melhorando a eficiência operacional da empresa. O presente trabalho justifica-se na necessidade de avaliar de forma técnica e objetiva a viabilidade dessa implementação por meio de um caso real.

## **1.3 Objetivos**

### ***1.3.1 Objetivo geral***

Apresentar a análise de viabilidade técnica e econômica da implementação de uma impressora 3D no setor de planejamento e controle de manutenção de uma cervejaria no Ceará.

### ***1.3.2 Objetivos específicos***

- a) Identificar peças de reposição com substituição periódica que possam ser produzidas por impressora 3D.

- b) Comparar os custos de fabricação em impressora 3D com os custos de aquisição com fornecedores externos.
- c) Analisar os benefícios da fabricação de peças que não possuem substituição programada.
- d) Avaliar os demais benefícios, como redução de lead time e possibilidade de personalização.

#### **1.4 Metodologia**

O presente trabalho é caracterizado como estudo de caso, de natureza aplicada, tendo tanto abordagem qualitativa, como abordagem quantitativa, com o objetivo de analisar a viabilidade técnica (qualitativo) e econômica (quantitativo) da implementação de uma impressora 3D no setor de planejamento e controle de manutenção em uma cervejaria no Ceará. Para Yin (2010), o estudo de caso é indicado quando se busca investigar fenômenos inseridos em um contexto real.

Quanto aos objetivos, o trabalho é classificado como descritivo e explicativo, pois descreve o funcionamento do setor de manutenção e almoxarifado, mapeia as oportunidades e apresentar os resultados obtido com a aplicação da manufatura aditiva. Segundo Gil (2008), pesquisas descritivas tem como finalidade a caracterização de determinado fenômeno, enquanto a explicativa tenta identificar os fatores que contribuem para sua ocorrência.

A coleta de dados foi feita por meio da observação direta e aplicação prática da implementação do objeto de estudo, garantindo a efetividade dos dados colhidos para elaboração dos cálculos de retorno financeiro.

A avaliação econômico-financeira foi feita elaborando-se o fluxo de caixa de três anos, considerando-se apenas os ganhos financeiros obtidos com peças de reposição periódica, através do método de valor presente líquido. As demais aplicações e benefícios foram avaliados de forma complementar, representando os ganhos indiretos da aplicação.

#### **1.5 Estrutura do trabalho**

Dividido em quatro capítulos, o trabalho é composto por introdução, revisão bibliográfica, estudo de caso e conclusões.

No primeiro capítulo é apresentado o trabalho de forma introdutória, explicando qual o contexto se insere a pesquisa e como será abordado o tema ao longo do trabalho. Além disso são mostradas as justificativas, a problemática e os objetivos do trabalho, além da metodologia utilizada no estudo.

No segundo capítulo, revisão bibliográfica, é apresentado o referencial teórico que foi necessário para o desenvolvimento do trabalho. No caso, foram abordados conceitos de manutenção, Planejamento, Gestão de peças de manutenção e análise econômico-financeira.

No terceiro capítulo é mostrado o estudo de caso, onde o contexto da empresa estudada é apresentado, a estrutura do setor, como funcionou a implementação do projeto e os resultados obtidos. Também serão mostradas oportunidades de melhoria que podem potencializar os ganhos obtidos.

Por fim, o último capítulo será responsável por descrever todas as conclusões obtidas ao fim do trabalho, ressaltando os objetivos adquiridos e mostrando os impactos do estudo.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo será apresentado o conteúdo teórico que embasou esse trabalho, são estudados os temas e mostradas as fontes que foram necessárias para realização desse estudo, sendo julgados como relevantes os conceitos de PCM, Manufatura aditiva e Análise econômico-financeira.

### **2.1 Planejamento e Controle de Manutenção**

O Planejamento e Controle de Manutenção (PCM) é um setor que desempenha função essencial dentro da gestão da manutenção industrial, sendo responsável por organizar, programar, controlar e analisar as atividades de manutenção de forma sistêmica e estratégica garantindo a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, utilizando o mínimo de recursos possível. Para Kardec e Nascif (2012), o PCM atua como o elo entre a estratégia de manutenção e a execução das atividades no chão de fábrica, permitindo maior previsibilidade e eficiência operacional.

Para Viana (2002), o planejamento de manutenção compreende a definição prévia das atividades a serem executadas, incluindo escopo do serviço, recursos necessários, materiais, ferramentas, mão-de-obra e tempo estimado de execução. Já o controle de manutenção está ligado à execução das atividades, ou o seu acompanhamento, junto à coleta de dados, análise de indicadores de desempenho e retroalimentação do sistema promovendo a melhoria contínua.

Segundo Kardec e Nascif (2012), a ausência de planejamento adequado resulta em aumento da manutenção corretiva não planejada, maior consumo de peças de reposição, elevação dos custos operacionais e maior indisponibilidade dos equipamentos produtivos. Essa visão reforça que a atuação do PCM tem relação direta com a redução de falhas inesperadas e otimização dos custos de manutenção.

Nesse contexto de redução de falhas e custos, é imprescindível a atuação do PCM na gestão das peças de reposição. Para Viana (2002) a integração do PCM e almoxarifado é importante para garantir disponibilidade de peças críticas, evitando a falta de materiais – evitando grandes paradas – quanto o excesso de estoque, que imobiliza capital e traz custos de armazenagem de material.

Além disso, o PCM tem um importante papel no controle dos indicadores de manutenção, como MTBF (*Mean Time Between Failures*), MTTR (*Mean Time to Repair*), custos de manutenção, Taxa de execução de atividades de manutenção, entre outros. Para Kardec e Nascif (2012), o uso sistemático desses indicadores permite avaliar a eficácia das estratégias adotadas e identificar oportunidades de melhoria nos processos de manutenção.

Sendo assim, o PCM se mostra como um setor estratégico para a competitividade industrial, uma vez que tem impacto direto na confiabilidade operacional, na redução dos custos de manutenção e produção e melhor gestão dos recursos da fábrica. No âmbito deste trabalho, o PCM atua na análise econômica e técnica do uso da impressora 3D como ferramenta estratégica, que pode impactar diretamente na disponibilidade de peças, nos custos de manutenção e em outros aspectos que serão vistos adiante.

## **2.2 Gestão de estoque de peças de manutenção e peças de reposição**

Um dos principais desafios enfrentados pelos profissionais de Manutenção Industrial está na gestão de peças de manutenção, também conhecida por peças de reposição ou *spare parts*. Segundo Rego e Mesquita (2011), diferentemente dos estoques de produção, os itens de manutenção possuem características específicas, como demanda irregular, baixo giro, alto nível de criticidade e elevado impacto operacional, em caso de indisponibilidade.

Ainda por Rego e Mesquita (2011), entre as peças de reposição há predominância de comportamento esporádico, ou seja, de forma irregular, o que dificulta a aplicação de modelos comuns de previsão e controle de estoque. Os autores destacam ainda que, independente do valor unitário das peças, que em alguns casos pode até ser baixo, sua indisponibilidade pode comprometer a produção de forma a trazer prejuízos financeiros significativos.

Nesse sentido, para a manutenção industrial, é de suma importância que a disponibilidade de peças estratégicas esteja assegurada, para que a unidade fabril não sofra com perdas significativas de produção, atrasos e redução de confiabilidade operacional. De acordo com Zhang, Huang e Yuan (2021), a gestão eficiente de estoque de sobressalentes é essencial para garantir níveis adequados de disponibilidade dos ativos, especialmente em ambientes industriais de alta complexidade e dependência de equipamentos automatizados.

Para Silva (2020) os estoques de manutenção classificados como itens MRO (*Maintenance, Repair and Operations*), frequentemente representam uma parcela significativa

do capital imobilizado das empresas, sem que haja, necessariamente, um controle eficiente sobre criticidade, consumo histórico e nível de serviço. No trabalho é destacado, ainda, que a ausência de critérios claros para definir os níveis de estoque pode levar tanto ao excesso, quanto à falta de peças, impactando negativamente o desempenho da manutenção. Vale ressaltar que o excesso de peças no estoque representa um impacto negativo por representar capital empregado da companhia “parado”, ou seja, ocorre uma descapitalização que poderia ser evitada por estudos melhores dos parâmetros de níveis de estoque.

Campos e Simon (2021) citam que a relação entre as atividades de manutenção e a gestão dos estoques é fundamental para redução de custos operacionais e aumento da confiabilidade. Segundo eles, quando o planejamento de manutenção ignora a disponibilidade de sobressalentes, aumenta-se o risco de não execução das atividades de manutenção, comprometendo os indicadores de execução.

Dessa forma, é coerente pensar que estratégias que ajudem a reduzir a dependência de estoques elevados e de fornecedores externos podem impactar diretamente a eficiência operacional de uma indústria. Zhang, Huang e Yuan (2021) apontam que novas tecnologias, como a manufatura aditiva, surgem como potenciais soluções para mitigar os desafios que a gestão de estoque causa para a manutenção.

### **2.3 Manufatura aditiva**

A manufatura aditiva, ou impressão 3D, consiste em um conjunto de técnicas de fabricação que visa produzir objetos em três dimensões através da deposição sucessiva de camadas de material a partir de um modelo feito digitalmente. De acordo com Gibson, Rosen e Stucker (2021), esse processo se diferencia dos métodos tradicionais de manufatura por permitir maior liberdade geométrica, redução de desperdícios de materiais e produção sob demanda, características que tornam a tecnologia atrativa para aplicações industriais.

Esse tipo de tecnologia teve seu início de desenvolvimento as últimas décadas do século passado, sendo usado inicialmente para confecção de protótipos de forma rápida, evoluindo para confecção de ferramentas, peças, ferramentas e componentes funcionais. Atualmente essas funções foram expandidas e a manufatura aditiva pode ser encontradas em diversas áreas, desde fabricação de brinquedos e utensílios domésticos até aplicações industriais.

De acordo com Volpato (201, p.12):

A AM pode ser definida como um processo de fabricação por meio da adição sucessiva de material na forma de camadas, com informações obtidas diretamente de uma representação geométrica computacional 3D do componente. Normalmente, essa representação é na forma de um modelo geométrico 3D originado de um sistema CAD (computer-aided design). Esse processo aditivo permite fabricar componentes físicos a partir de vários tipos de materiais, em diferentes formas e a partir de diversos princípios. O processo de construção é totalmente automatizado e ocorre de maneira relativamente rápida, se comparado aos meios tradicionais de fabricação.

O processo de produção de um modelo em impressão 3D acontece a partir do fatiamento de um modelo 3D em camadas 2D que serão definidas onde o material será depositado. A peça tridimensional é formada então pelo empilhamento desses diversos moldes 2D de forma sequencial até a camada de topo. A Figura 1 mostra as etapas do processo de fabricação 3D.

Figura 1 – Etapas da impressão 3D



Fonte: Volpato, 2017

Existem diversos tipos de processos de impressão 3D, que são classificados de acordo com o material utilizado e a tecnologia empregada. Dentre os tipos de tecnologia, destacam-se a modelagem por deposição de material fundido (FDM – *Fused Deposition Model*), estereolitografia (SLA), a sinterização seletiva a laser (SLS) e a fusão a laser em leito de pó. Cada uma dessas tecnologias tem características próprias em termos de precisão mecânica, tempo de fabricação, porosidade de superfície e tempo e custo de fabricação, que vão influenciar diretamente sua aplicação.

As vantagens da manufatura aditiva são a alta flexibilidade de projeto, rápida prototipagem, baixo custo, tecnologia acessível e redução de desperdícios pela produção sob demanda. Para Gibson, Rose e Gebhardt (2021), essas características tornam a tecnologia

especialmente atrativa em ambientes industriais que demandam agilidade, customização e redução de estoques físicos.

Entretanto, a impressão 3D apresenta algumas limitações, como por exemplo limitação do tamanho de impressão, propriedades mecânicas reduzidas e restrições de materiais. É importante ressaltar esses pontos para uma avaliação criteriosa de sua aplicação e levantamento de expectativas.

Por fim, é possível concluir que a manufatura aditiva é uma tecnologia complementar às técnicas de fabricação de peças, tendo suas vantagens e limitações, com alto potencial de ganhos quando aplicado às indústrias.

### ***2.3.1 Manufatura aditiva aplicada à manutenção industrial***

Na indústria, a manufatura aditiva tem sido introduzida como uma alternativa viável para produção de peças de reposição, principalmente peças de baixa complexidade geométrica, ou que sejam originalmente produzidas com material plástico ou polimérico. Para Holmstrom et al. (2010), a aplicação da manufatura aditiva na cadeia de suprimentos de peças sobressalentes possibilita a redução significativa dos níveis de estoque físico, uma vez que os componentes podem ser fabricados conforme a necessidade, reduzindo tempos logísticos e tempos de aquisição.

Em um estudo sobre o impacto da manufatura aditiva na cadeia de suprimentos, Khaiavi, Partanen e Holmstrom (2014) concluem que a produção descentralizada e sob demanda pode melhorar a disponibilidade de peças, reduzir *lead times* e diminuir a dependência de fornecedores externos. Segundo eles, essa abordagem é particularmente relevante para setores industriais nos quais a indisponibilidade de um único componente pode resultar em longos períodos de parada de equipamentos.

Além dos benefícios logísticos citados, a manufatura aditiva também mostra vantagem econômica em aplicações no setor de manutenção. Berman (2012) destaca que, embora a impressão 3D possa ser superior à métodos convencionais em grandes volumes, a tecnologia se torna vantajosa para pequenas quantidades, peças personalizadas e aplicações emergenciais, que são típicas no setor industrial.

Assim, conclui-se que a manufatura aditiva já vem se mostrando uma tecnologia promissora para as atividades de manutenção sob ótica da literatura, pois possibilita maior flexibilidade, redução de custos indiretos e aumento da autonomia do setor de manutenção.

Essas características são sempre buscadas por indústrias que demandam alta disponibilidade operacional.

## **2.4 Análise econômico-financeira**

A análise econômico-financeira consiste em uma etapa primordial para facilitar a tomada de decisão para certos investimentos dentro do ambiente industrial, pois permite avaliar a viabilidade do projeto em vista dos custos envolvidos. De acordo com Assaf Neto (2012, p. 121):

A análise das demonstrações financeiras visa fundamentalmente ao estudo do desempenho econômico-financeiro de uma empresa em determinado período passado, para diagnosticar, em consequência, sua posição atual e produzir resultados que sirvam de base para a previsão de tendências futuras. Na realidade, o que se pretende avaliar são os reflexos que as decisões tomadas por uma empresa determinam sobre sua liquidez, estrutura patrimonial e rentabilidade

No contexto industrial, decisões relacionadas à aquisição de novos, equipamentos, softwares, tecnologias ou quaisquer investimentos que visem melhorar a confiabilidade operacional, devem ser fundamentados em critérios econômico-financeiros que considerem não apenas o custo inicial de aquisição, mas todas as despesas relacionadas à operação. Para Gitman (2010) essa análise fornece subsídios quantitativos para que gestores possam selecionar os investimentos que maximizem os resultados da empresa.

Para fazer a análise econômico-financeira de um investimento existem alguns métodos, dentre eles destacam-se Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Payback. Para fazer essas análises, no entanto, é imprescindível, ainda, que os conceitos das classificações das despesas estejam bem definidos. Portanto, adiante serão analisados esses temas.

### ***2.4.1 Classificação dos gastos***

Custos, gastos, despesas, são termos que geralmente se confundem no vocabulário cotidiano, no entanto, cada termo tem seu conceito dentro da classificação de custos. Martins (2012) traz as seguintes definições para classificar os custos:

- a) Gasto: Compra de um produto ou serviço qualquer, que gera sacrifício financeiro para a entidade, representado por entrega ou promessa de entrega de ativos;
- b) Desembolso: Pagamento resultante da aquisição do bem ou serviço;
- c) Investimento: Gasto ativado em função de sua vida útil ou de benefícios atribuídos a futuros períodos;
- d) Custo: Gasto relativo a bem ou serviço utilizado na produção de outros bens ou serviços;
- e) Despesa: Bem ou serviço consumido direta ou indiretamente para obtenção de receita;
- f) Perda: Bem ou serviço consumido de forma anormal e involuntária.

Essas classificações englobam todos os “saldos negativos” que são levados em consideração para fazer uma análise econômico-financeira, exceto os juros sobre o capital próprio e o custo de oportunidade, em virtude que esses não implicam a entrega de ativos.

#### ***2.4.2 Fluxo de Caixa***

O fluxo de caixa representa um indicativo para analisar o desempenho de uma empresa. Sendo assim, ele é uma ferramenta gerencial importante para que uma empresa se mantenha competitiva frente ao mercado. Nele são representadas as “entradas” e “saídas”, ou movimentações financeiras, de um certo período analisado.

Para Gitman (2010), os fluxos de caixa, tidos como o sangue que corre pelas veias da empresa, são o foco principal do gestor financeiro, seja na gestão das finanças rotineiras, seja no planejamento e tomada de decisões a respeito da criação de valor para o acionista. Dessa forma, é possível perceber a importância do fluxo de caixa para a tomada de decisão de forma estratégica dentro da companhia.

Portanto, é papel do gestor financeiro controlar e monitorar as transações da empresa durante seu funcionamento para garantir a fidelidade de informações e o fluxo de caixa seja confiável.

Para Assaf Neto e Silva (2012, p.39):

A gestão do fluxo de caixa não representa um caixa com níveis elevados de sobra de recursos, mas sim propicia uma folga financeira para a empresa, fazendo com que suas obrigações sejam liquidadas no momento certo. A obra de caixa em altos níveis

não é um fator bom a ser demonstrado, ao contrário disso, apresenta-se como um problema para a gestão financeira, já que o dinheiro em excesso no caixa da organização poderia estar sendo aplicado em outras atividades, gerando com isso maior lucratividade. Para que haja uma gestão competente, é de extrema importância que o administrador financeiro saiba avaliar criteriosamente seu ciclo operacional, uma vez que possuindo conhecimento necessário, saberá avaliar qual nível de caixa deverá ser mantido, para que não haja nem sobra e nem falta de recursos para manter suas atividades.

É evidente que a maior preocupação seja com a possível escassez de recursos, a qual pode ser facilmente detectada pelo balanço do fluxo de caixa, mas o autor deixar claro que o contrário também representa um problema. Portanto, conclui-se que o fluxo de caixa deve ser usado de forma a otimizar os recursos e manter o nível de caixa adequado para a operação.

### **2.4.3 Valor Presente Líquido (VPL)**

O Valor Presente Líquido (VPL) consiste em analisar projeções de fluxo de caixa e converter em valores presentes para que sejam analisados junto ao investimento inicial. Para Gitman (2010, p.394)

Como o valor presente líquido (VPL) considera explicitamente o valor do dinheiro no tempo, é considerado uma técnica sofisticada de orçamento de capital. Todas as técnicas desse tipo descontam de alguma maneira os fluxos de caixa da empresa a uma taxa especificada. Essa taxa — comumente chamada de taxa de desconto, retorno requerido, custo de capital ou custo de oportunidade — consiste no retorno mínimo que um projeto precisa proporcionar para manter inalterado o valor de mercado da empresa.

O modo de análise do VPL é bem simples, basta descontar os ganhos futuros — Já trazidos para valor presente — do investimento inicial feito. A Função 1 mostra como é calculado o VPL.

Equação 1 – Valor Presente Líquido

$$VPL = \sum_{t=1}^N \frac{FC_t}{(1+i)^t}$$

Onde FC(t) é o fluxo de Caixa no período t, I é o investimento inicial e i é a taxa de juros considerada.

Um das vantagens desse modelo de análise é a simplicidade na leitura do resultado. Se o valor do VPL for positivo, o investimento é viável, pois significa que em valores atualizados o sacrifício financeiro inicial teve retorno dentro do período analisado. Caso contrário, o investimento não deve ser feito.

#### **2.4.4 Taxa Interna de Retorno (TIR)**

O método da taxa Interna de Retorno (TIR) busca encontrar um ponto de equilíbrio financeiro, ou seja, o momento exato em que o Fluxo de Caixa é nulo. É nesse momento em que o VPL é igual a zero, ou seja, não existe lucros, nem prejuízo.

Para Gitman (2010, p. 411)

O método de taxa interna de retorno, a taxa de desconto que iguala, em determinado momento (geralmente usa-se a data de início do investimento - momento zero), as entradas com as saídas previstas de caixa. Para avaliação de propostas de investimento, o cálculo da IRR requer, basicamente, o conhecimento dos montantes de dispêndio de capital (ou dispêndios, se o investimento prevê mais de um desembolso de caixa), e dos fluxos de caixa líquidos incrementais gerados pela decisão. Considerando que esses valores ocorrem em diferentes momentos, pode-se afirmar que a IRR, ao levar em conta o valor do dinheiro no tempo, representa a rentabilidade do projeto expressa em termos de taxa de juros composta equivalente periódica.

Dessa forma, a expressão matemática que representa a Taxa Interna de retorno está representada na equação 2;

Equação 2 – Taxa Interna de Retorno

$$0 = \sum_{t=1}^N \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t}$$

O critério desse método é obtido através da comparação, caso o resultado obtido supere a taxa de atratividade o investimento pode ser considerado economicamente viável e deve ser feito.

### 2.4.5 Payback

O método do Payback é um método que busca avaliar o tempo necessário para alcançar o investimento inicial do projeto. Por esse motivo ele costuma ser mais usado para avaliar propostas de investimento de capital. Dessa forma, ele pode ser calculado pela expressão matemática abaixo.

Equação 3 – Payback

$$PB = \sum_n^N \frac{\text{Ganhos no período}}{\text{Investimento Inicial}}$$

O seu critério é simples: Se o valor encontrado for menor que o período aceitável de *payback* admitido pela empresa, o investimento é dado como economicamente viável e deve ser aceito.

Para Assaf Neto (2002, p.407):

O período de payback, de aplicação bastante generalizada na prática, consiste na determinação do tempo necessário para que o dispêndio de capital (valor do investimento) seja recuperado por meio dos benefícios incrementais líquidos de caixa (fluxos de caixa) promovidos pelo investimento.

### 3 ESTUDO DE CASO

Este capítulo demonstra como foi o processo de implementação da manufatura aditiva dentro de uma cervejaria no Ceará, no setor de Planejamento e Controle de Manutenção. Além disso serão levantadas as vantagens técnicas e análise econômica sobre o projeto. Por fim, serão analisadas as oportunidades futuras e feitas as considerações finais do estudo.

#### 3.1 A cervejaria estudada

A cervejaria estudada é uma multinacional do ramo de bebidas, fica localizada na região metropolitana de Fortaleza, há cerca de 30 minutos da capital cearense. Com mais de 25 anos de atuação, a cervejaria conta com diversos *retrofits* e redesenhos, mas atualmente opera com duas linhas de produção: uma de latas e outra de garrafas. Além das linhas de envasamento a fábrica conta ainda com o setor de *Brewing*, responsável por produzir a cerveja, sendo subdividido nas áreas de recebimento e ensilagem, fabricação, fermentação e maturação.

A cervejaria conta com cerca de 100 trabalhadores diretos e aproximadamente 250 indiretos (terceiros) na unidade, distribuídos entre os setores da fábrica. Destes, cerca de apenas 20 estão diretamente ligados à manutenção, entre técnicos, auxiliares, analistas e gestores.

A empresa adota práticas e comportamentos voltados à garantia da qualidade do produto ao longo do processo produtivo, desde o recebimento da matéria prima, até a expedição do produto acabado. Para isso, são utilizados padrões rigorosos de controle de qualidade, monitoramento de parâmetros, operacionais, procedimentos padronizados e boas práticas de fabricação, visando garantir a conformidade do produto e as exigências legais das normas de empresas alimentícias. Nesse contexto, a manutenção tem papel fundamental na redução de falhas operacionais, garantindo a estabilidade dos fatores característicos da cerveja.

Outro pilar fundamental da cervejaria é a segurança dos seus colaboradores, sendo tratada como prioridade em todos os setores e em todas as etapas do processo produtivo. A empresa adota procedimentos e padrões operacionais voltados à prevenção de acidentes e identificação e mitigação de risco e cumprimentos das normas de segurança. Além disso, são promovidas campanhas de segurança frequentemente, com o objetivo de fortalecer a cultura de segurança e conscientizar os colaboradores.

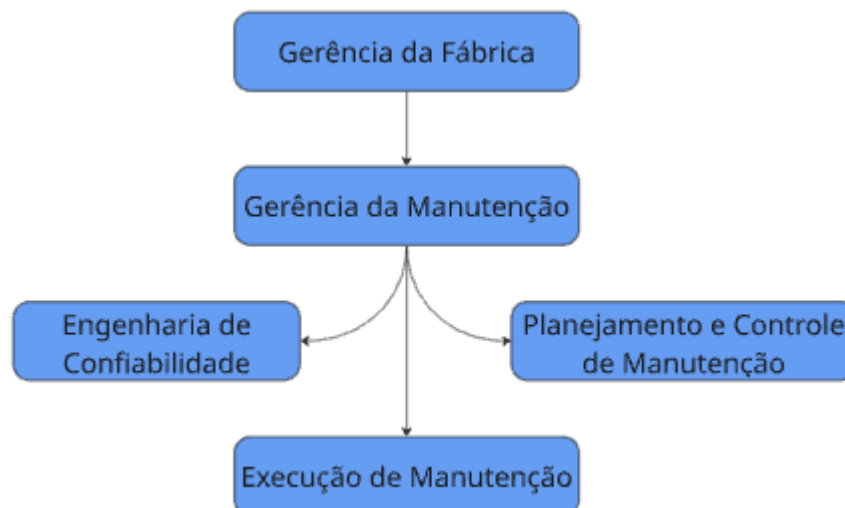
Nesse contexto, a cervejaria utiliza como base a metodologia TPM (*Total Productive Management*) como estratégia de gestão. A aplicação do TPM consiste em aumentar a eficiência global dos equipamentos, reduzir falhas não planejadas, eliminar perdas e envolver os operadores nas atividades básicas de manutenção, contribuindo para uma manutenção autônoma, por parte da produção e melhoria contínua dos processos.

### 3.1.1 A estrutura da gerência de manutenção

A manutenção da cervejaria é organizada de forma a garantir o suporte às áreas de produção, aumentar a disponibilidade dos ativos, a confiabilidade operacional, a segurança dos colaboradores e a qualidade do produto. A manutenção atua integrada aos outros setores da fábrica, especialmente produção de cerveja e envasamento, onde se concentram os pontos críticos.

Dessa forma, a gestão da manutenção ocupa um nível de gerência departamental, assim como a produção, tendo sob seu domínio as áreas de PCM, Engenharia de confiabilidade e execução de manutenção. Nesta organização, o PCM funciona como um órgão de suporte à execução, mas ligado diretamente à gerência. A Figura 2 mostra o organograma de manutenção.

Figura 2 – Organograma da manutenção



Fonte: Próprio autor

A execução de manutenção é composta por técnicos que atuam diretamente nas áreas de produção com manutenção preventiva e corretiva, com o suporte do PCM que atua

planejando essas atividades e adquirindo os recursos necessários para que as atividades sejam executadas. A engenharia de confiabilidade, por sua vez, é responsável por traçar estratégias de manutenção para aumentar a confiabilidade dos ativos da unidade, não se envolvendo diretamente nas atividades rotineiras do PCM.

No que se refere à gestão de peças de manutenção, são de responsabilidade total do PCM, possuindo um analista responsável para isso, o analista de materiais. Esse é responsável por analisar peças de giro, peças críticas, manter o menor valor em capital empregado e garantir que não falem peças importantes.

### **3.1.2 O estoque de manutenção**

A empresa conta com um estoque de mais de 3000 peças, totalizando mais de 9,5 milhões de reais, divididas em 5 categorias:

- a) Materiais classificação A: Peças de reposição automática, alta criticidade e baixo giro;
- b) Materiais classificação B: Peças de reposição automática, com baixa criticidade e alto giro (Pelo menos duas compras por ano);
- c) Materiais classificação C: Sobressalentes sem reposição automática, comprado apenas por demanda;
- d) Materiais classificação D: Materiais obsoletos, que entraram em desuso ou não estão em condições de aplicação;
- e) Materiais classificação E: Itens que não são mais utilizados na unidade em que estão estocados, mas podem ser usados em outras fábricas do grupo.

Os materiais de reposição automática contam com um sistema chamado MRP (*Material Requirements Planning*), um sistema de reposição automática sistêmica baseado em níveis de estoque. Esse sistema faz com que os níveis de estoque de materiais críticos sejam mantidos, utilizando o mínimo de interferência humana possível. Para que isso funcione, um robô, programado pelo time de engenharia, parte a compra de um material sempre que o nível de estoque dele fique abaixo do chamado ponto de reabastecimento, já definido pelo analista de materiais da unidade. Os parâmetros para que o sistema de MRP seja mantido de forma eficiente são definidos de acordo com o histórico de movimentações do material na unidade e do *lead time* de entrega do fornecedor.

Os demais materiais são adquiridos via compra direta, feita pelo analista de PCM para atender a uma demanda específica da fábrica. Esses materiais costumam ter imprevisibilidade de demanda, não sendo necessário serem mantidos em estoque, mas com a devida atenção para que sejam comprados antes que sua ausência case uma falha operacional.

Todos esses materiais de estoque pertencem ao tipo de classificação OPEX (do inglês *Operational Expenditure* ou despesas operacionais), que são peças compradas para as manutenções cotidianas dos equipamentos, visando manter seus padrões operacionais. Esses materiais são mantidos em estoque e o seu valor só é descontado dos custos da unidade após sua aplicação na máquina ou equipamento, fazendo parte das despesas de Reparos e Manutenções.

Há ainda a classificação de materiais CAPEX (do inglês *Capital Expenditure* ou despesas de capitais), que são materiais comprados para expansões de linhas de produção, grandes manutenções anuais ou melhorias que requeiram investimentos maiores. A maior atuação do PCM com esses materiais está nas grandes paradas de manutenção que ocorrem anualmente, onde acontece a compra desses materiais e, diferentemente dos itens de OPEX, não oneram estoque.

Para aplicação da impressora 3D os pontos focais são os materiais OPEX de classificação B e os materiais tipo CAPEX, pois representam uma demanda previsível e periódica que pode garantir a viabilidade econômica do investimento. No entanto, os demais tipos de materiais também serão considerados, pois sua demanda imprevisível representa um risco ao setor de planejamento e controle de manutenção e sua ausência pode causar riscos operacionais e financeiros elevados.

### **3.2 O setor de impressão 3D**

A criação do setor de impressão 3D surgiu no fim de 2024, como fruto de uma iniciativa global do grupo ao qual a cervejaria pertence. Essa iniciativa tinha como objetivo utilizar a manufatura aditiva como uma ferramenta da indústria 4.0 para gerar *saving* relacionado a peças de reposição, além de melhorar o lead time. Ademais a iniciativa reforça o posicionamento da empresa frente às novas ferramentas do mercado e a adequação às novas realidades da indústria.

O setor conta com 1 impressora 3D, 1 computador onde são realizados os desenhos e enviados para impressão, 1 unidade de secagem, onde os filamentos são armazenados e as peças sobressalentes e de manutenção da própria impressora. Os

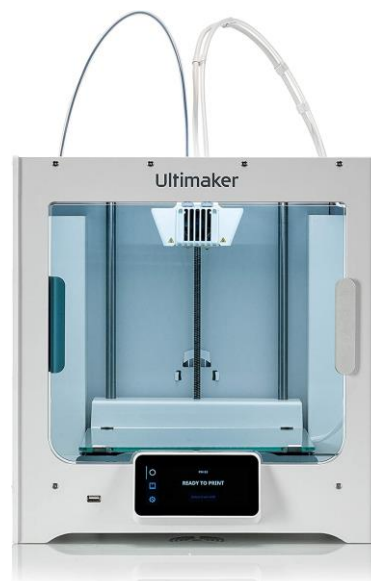
responsáveis diretos pelo setor são o Analista de PCM de confiabilidade, por ser o responsável da unidade para gerenciar custos e *savings*, e do Analista de materiais, tendo em vista que este é responsável pelo gerenciamento das peças de manutenção e o Analista de PCM de confiabilidade, fazendo o controle dos ganhos financeiros.

### 3.2.1 Modelo de impressora e software

A padronização das ferramentas utilizadas em cada unidade foi um dos pontos iniciais do projeto, pois, tendo em vista que a empresa possui atuação global, essa medida tornaria fácil o compartilhamento de informações, aprendizados, técnicas de impressão, boas práticas e conhecimentos sobre a tecnologia de manufatura aditiva entre as fábricas do grupo. Dessa forma, a Ultimaker foi escolhida como fornecedora padrão para todas as unidades, sendo critério de cada uma escolher o modelo de impressora de acordo com o Capex destinado ao projeto. No caso da cervejaria estudada, foi escolhido o modelo Ultimaker S5, mostrada na Figura 3, uma versão intermediária da marca com as seguintes especificações:

- Volume de impressão: 330 x 240 x 300 mm
- Impressão por Deposição Fundida (FDM)
- Dupla extrusão
- Interface touchscreen

Figura 3 – Impressora Ultimaker S5



Fonte: Ultimaker

Para otimizar o funcionamento da impressora e garantir a segurança de quem trabalha no ambiente dela foram adquiridos ainda 1 unidade de secagem, onde os filamentos são armazenados de forma segura, com umidade e temperatura controladas para manter a qualidade do material, além de um Air Manager, responsável por filtrar o ar que sai da impressora, evitando a contaminação do ambiente por filamentos tóxicos, como PLA.

Além disso, foram usados ainda softwares também da Ultimaker tanto para impressão, quanto para gestão dos modelos em produção. Para realizar o fatiamento (configurações de impressão) foi utilizado o Ultimaker Cura, que permite integração direta com a impressora. Do mesmo fabricante, a Digital Library também integra o quadro de softwares utilizados, funcionando como uma nuvem compartilhada onde os usuários podem compartilhar seus desenhos, além de fornecer acesso às câmeras das impressoras conectadas à rede.

Para desenho e modelagem foi escolhido o software Autodesk Fusion 360, do fabricante Autodesk. O Fusion é uma plataforma para modelagem que permite exportação de modelo diretamente para a plataforma Ultimaker Cura, facilitando o procedimento de impressão após a modelagem.

Para manter o setor funcional e garantir a disponibilidade da impressora, é necessário realizar todas as manutenções da máquina conforme o fabricante indica. Dessa forma, o setor faz um controle das atividades de manutenção, contendo atividades mensais, trimestrais e anuais. O Apêndice A mostra como é feito esse controle.

### ***3.2.2 Mapeamento de oportunidades e solicitações de impressão***

As oportunidades de peças para realizar manufatura aditiva são levantadas de 4 formas diferentes, sendo elas:

- a) Expansão horizontal: Quando há compatibilidade de peças entre fábricas do grupo e uma delas já desenhou e validou o modelo, o desenho é compartilhado para implementação em outras fábricas.
- b) Detalhamento de nota: No momento do detalhamento de uma nota de manutenção o analista pode encontrar oportunidade de solução via impressão 3D e comunicar à equipe de impressão.

c) Microsoft Forms: Foi criado um formulário e o QR Code com o link foi espalhado pela fábrica, dessa forma os operadores podem cadastrar sua ideia, caso veja a oportunidade

d) Analista de materiais: No momento de inventário ou em expedição de rotina ao almoxarifado, o analista de materiais pode encontrar peças que visualmente sejam boas oportunidades e cadastrar sua ideia.

Após o levantamento das oportunidades, a equipe responsável pela manufatura aditiva, composta pelo analista de materiais e o analista de confiabilidade, fazem a modelagem da peça e a coloca na programação de impressão.

### 3.2.3 Controle de impressões e validação de modelos

Para fazer o controle dos modelos que estão sendo impressos e fazer sua validação foram desenvolvidos alguns controles pela equipe responsável. Como já falado anteriormente, os modelos impressos, que não foram validados ainda por outras unidades, precisam de um acompanhamento durante sua aplicação para garantir que ele pode ser substituído de fato. Em primeiro lugar, as configurações de impressão definidas pelo responsável são registradas, pois elas vão interferir diretamente nas propriedades mecânicas da peça. A Figura 4 mostra como é feito esse registro.

Figura 4 – Controle de configurações de impressão para validação.

| HISTORICO IMPRESSORA 3D |                    |          |           |           |              |              |     |      |            |                             |   |
|-------------------------|--------------------|----------|-----------|-----------|--------------|--------------|-----|------|------------|-----------------------------|---|
| Aplicação               |                    |          |           |           | Padronização |              |     |      |            |                             |   |
| Data                    | Descrição          | Área     | Equipamen | R\$ Peça  | Status       | Filamento    | Qtd | Temp | R\$ Impres | Receit                      | Observações   |
| 08/11/2025              | Seguidor do rinser | Linha 01 | Rinser    | R\$ 59,54 | RECUSADO     | IGLUDIR 150F | 28g | 2,3  | R\$ 27,35  | P = 20%<br>C = 3<br>PRD = 5 | Teste de seguidor do rinser com desenho corrigido<br>Necessário modificar ângulo da garra |

Fonte: Próprio autor

Esse controle é importante, pois permite ter histórico sobre como foi configurada a impressão, ajudando a efetuar as modificações necessárias para novos testes nos casos das

peças recusadas e a manter as configurações das peças aprovadas, garantindo a qualidade do componente.

Também é importante o controle visual do local onde a peça é instalada, para isso são usadas etiquetas na peça ou na máquina onde a peça foi colocada. Essa etiqueta, que é mostrada na Figura 5, serve para que o operador da máquina saiba que ali tem um produto em teste e ajuda na detecção de problemas no caso de falhas no teste.

Figura 5 – Etiqueta para identificação de peça em teste

**Descrição da peça:**

---



---

**Part Number (fabricante):** \_\_\_\_\_

**Cód. SAP:** \_\_\_\_\_

**Início do teste:** \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

**Responsável pelo projeto:** \_\_\_\_\_

Fonte: Próprio autor

Caso haja alguma falha da peça durante a fase de testes é possível fazer melhorias no desenho ou nas configurações de fatiamento e impressão para realização de novos testes. As alterações mais comuns são do material de impressão, pois vão causar maiores impactos nas propriedades mecânicas da peça (TPU é mais flexível que PLA, por exemplo), mas as configurações de fatiamento e reforços estruturais feitos no modelo 3D também podem causar impactos significativos nas características da peça.

Cabe mencionar que todas as peças utilizadas no mapeamento são componentes que não entram em contato direto com o produto, não sendo necessário cumprir protocolos alimentícios de fabricação. No entanto, alguns fornecedores de materiais de impressão 3D já fabricam filamentos com laudo *food-safe* que permite a produção de peças para essa aplicação.

### 3.3 Análise de viabilidade econômica

Para análise da viabilidade econômica do investimento foi feito um estudo ao longo de um ano de testes, onde as peças mapeadas foram testadas e validadas. Esse período

foi necessário para garantir a confiabilidade das peças produzidas por manufatura aditiva e gerar uma análise verdadeira.

Além das peças validadas em fábrica, foi possível também obter modelos já validados por outras fábricas do grupo através de expansão horizontal. Nesses casos o processo de validação já ocorreu em outra unidade, dispensando a necessidade de teste em linha.

É válido ressaltar ainda que, ao longo desse período, foram produzidas também peças de outras categorias, como itens de segurança, *poka-yokes*, protótipos, entre outros. Esses itens, no entanto, ainda que tragam um retorno financeiro indiretamente, não serão considerados para o cálculo de viabilidade econômica, pois possuem demanda inconstante, dificultando o trabalho de projeções de ganhos futuros.

Por convenção interna da companhia os ganhos obtidos com manufatura aditiva, também chamados de *Saving*, são calculados da seguinte forma: Custo de compra da peça subtraído do custo para fabricação da peça em impressora 3D.

Nessa equação o custo de compra é o valor no orçamento cobrado pelo fornecedor da peça e o Custo de fabricação é calculado pelo próprio software Ultimaker Cura, onde a partir da configuração do programa, onde o responsável pela impressão adiciona os valores do filamento utilizado e o valor é calculado com base na quantidade de filamento que é utilizada.

Esse cálculo, no entanto, deve ser visto como insuficiente para determinar a viabilidade do investimento, pois não traz informações suficientes. É comum ver gestores e analistas comparando esse ganho com o valor da impressora para determinar o sucesso do investimento, mas esquecem que há outros custos, despesas e perdas que devem ser considerados para uma análise fiel.

Para uma análise confiável o presente estudo irá analisar todos os ganhos e gastos, da forma mais fiel possível, e elaborar o fluxo de caixa com todas as informações para análise crítica. Posteriormente, será utilizado o método do Valor Presente Líquido, simulando alguns anos de operação, para projeção do retorno financeiro.

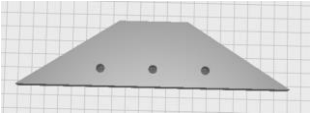
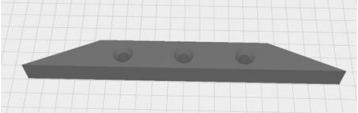
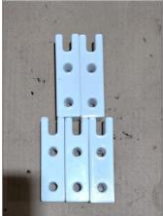
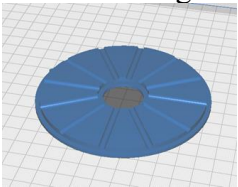
### **3.3.1 *Ganhos financeiros***

A tabela abaixo mostra um apanhado com todas as peças validadas pela equipe de PCM, já testadas em linha e validadas pela produção, representadas nas Figuras 6 a 13. Nela também é possível ver o custo de compra da peça, o custo de impressão e a diferença entre esses preços, que irá gerar o *Saving*. Além disso é possível ver o tempo, em horas, de

fabricação da peça que é fornecido pela própria impressora. Esse valor será importante para mensurar o valor gasto em energia elétrica e para analisar a taxa de disponibilidade da impressora, ou seja, quanto do seu tempo útil está de fato sendo ocupado.

Tabela 1 – Ganhos com impressão 3D

| Peça  | Material | Preço fabricante | Preço Imp. 3D | Qtd | Tempo (h) | Saving / ano  |
|---|----------|------------------|---------------|-----|-----------|---------------|
| <p>Figura 6 – Vedação da válvula de enchimento</p>  <p>Fonte: autor</p>                | PETG     | R\$ 60,04        | R\$ 4,26      | 156 | 0,78      | R\$ 8.701,68  |
| <p>Figura 7 – Pente de transferência da saída da embaladora</p>  <p>Fonte: autor</p> | CPE      | R\$ 295,68       | R\$ 33,82     | 247 | 0,83      | R\$ 6.284,64  |
| <p>Figura 8 – Pente de transferência do Pasteurizador</p>  <p>Fonte: autor</p>       | CPE      | R\$ 467,12       | R\$ 122,40    | 80  | 22,2      | R\$ 27.577,60 |
| <p>Figura 9 – Guia 01 da mesa de acúmulo</p>  <p>Fonte: autor</p>                    | IGUS     | R\$ 11.748,76    | R\$ 78,31     | 4   | 14,2      | R\$ 46.681,80 |

|  |         |               |           |    |      |               |
|--|---------|---------------|-----------|----|------|---------------|
| <p>Figura 10 – Guia 02 da mesa de acúmulo</p>  <p>Fonte: autor</p>                | IGUS    | R\$ 6.974,73  | R\$ 79,82 | 4  | 14,5 | R\$ 27.579,64 |
| <p>Figura 11 – Guia 03 da mesa de acúmulo</p>  <p>Fonte: autor</p>                | IGUS    | R\$ 7.075,12  | R\$ 45,73 | 4  | 8,3  | R\$ 28.117,56 |
| <p>Figura 12 – Suporte de cabos móveis mesa de acúmulo</p>  <p>Fonte: autor</p>   | PLA     | R\$ 12.230,81 | R\$ 33,84 | 2  | 5,8  | R\$ 24.392,32 |
| <p>Figura 13 – Base do prato da rotuladora de garrafas</p>  <p>Fonte: autor</p> | TPU 95A | R\$ 93,33     | R\$ 12,01 | 36 | 12,2 | R\$ 2.927,52  |

Fonte: autor

A soma de todos os ganhos desses itens totaliza R\$ 172.262,76, onde os maiores impactos podem ser encontrados na mesa Dynac, ou mesa de acúmulo, um equipamento importante da linha de latas. Esse valor expressivo para esse equipamento se deve ao fato de que as peças dessa máquina vêm de fora do país, então apesar de serem peças de baixa complexidade geométrica, seu valor é originalmente bastante elevado.

### 3.3.2 *Dispêndios financeiros*

#### 3.3.2.1 *Investimentos Iniciais*

Para iniciar o projeto foi necessário realizar a compra de todos os equipamentos essenciais para a impressão e seus periféricos. Para o conjunto da impressora foi adquirido um

*Air Manager* é uma *Dry Unit*, ou unidade de secagem. O *Air Manager* funciona como um filtro de micropartículas que garante a segurança de quem trabalha no mesmo ambiente da impressora, além de que funciona como uma barreira física para barrar o acesso à mesa de impressão. Já a *Dry Unit* é um item essencial para manter a qualidade do filamento que não está sendo utilizado, pois esses materiais tendem a absorver umidade, comprometendo a qualidade de impressão das peças.

Além da impressora e seus periféricos foi adquirido também um computador para fazer os modelos 3D e realizar o fatiamento – etapa onde são feitas as configurações de impressão – do modelo que será impresso. Foi também feito um investimento em treinamento, com um instrutor externo, para passar conhecimentos básicos de modelagem e fatiamento aos responsáveis pelas impressões.

A Tabela 02 sintetiza todos os valores dos investimentos iniciais.

Tabela 02 – Investimentos Iniciais

| Item          | Valor                 |
|---------------|-----------------------|
| Impressora 3d | R\$ 71.980,00         |
| Air Manager   | R\$ 5.630,00          |
| Dry Unit      | R\$ 4.865,00          |
| Computador    | R\$ 17.000,00         |
| Treinamento   | R\$ 5.000,00          |
| <b>Total</b>  | <b>R\$ 104.475,00</b> |

Fonte: Autor

### 3.3.2.2 Custos

Os custos representam os itens que foram usados, consumidos ou transformados no processo de produção. Dessa forma, são itens que compõem o custo para produção de *spare parts* em manufatura aditiva: Matéria-prima, manutenção, energia, custos com software e depreciação.

#### a) Matéria-prima:

Toda matéria prima utilizada no processo de fabricação das peças são filamentos fornecidos por um fornecedor homologado e variam entre TPU, PLA, IGUS e PETG. Além

desses filamentos, que são denominados filamentos de construção, também são usados filamentos de suporte, que funcionam como bases para auxiliar a produção de peças complexas que precisam de uma base para impressão.

Os custos com esses materiais já são calculados no momento da impressão e estão mostrados na tabela 1. Vale ressaltar que esse custo é calculado com base na quantidade (peso) de filamento que a impressora usará durante a confecção da peça, portanto gastos com peças testes e desperdícios não estão nessa base.

b) Manutenção:

Para manutenção da impressora são utilizados apenas uma unidade de óleo lubrificante, para lubrificação dos eixos da impressora, e uma unidade de graxa branca, para lubrificação do fuso de subida da mesa. Além disso, ao longo do período de estudos foi percebido a necessidade de troca dos bicos de extrusão, que podem obstruir por falta de limpeza, e da mesa de impressão, que sofre pequenos danos à cada impressão.

A tabela 03 sintetiza todos os valores gastos com manutenção para a impressora. Obviamente, esses custos são fixos anuais, ou seja, estarão em todos os anos do período analisado.

Tabela 3 – Custos com manutenção

| Peça              | Valor Unitário | Qtde/ano | Valor total  |
|-------------------|----------------|----------|--------------|
| Óleo lubrificante | R\$ 55,00      | 1        | R\$ 55,00    |
| Graxa branca      | R\$ 28,00      | 1        | R\$ 28,00    |
| Mesa de impressão | R\$ 720,00     | 2        | R\$ 1.440,00 |
| Bico extrusor     | R\$ 435,00     | 2        | R\$ 870,00   |

Fonte: Autor

Dessa forma, os custos com manutenção para a operação da impressora são estimados num total de R\$ 4.703,00 a cada ano.

#### c) Energia:

Os custos com energia são calculados a partir da equação 04, onde o tempo de atuação da impressora é obtido a partir da tabela 01, multiplicando-se o tempo de impressão da peça pela quantidade produzida por ano. O valor do KWh pode variar bastante de acordo com a bandeira tarifária, mas para simplificar os cálculos será adotado o valor de R\$ 0,70 por KWh. Dessa forma, é possível obter o valor de aproximadamente R\$ 750,00.

#### d) Software

Dos softwares utilizados no processo, apenas o Fusion 360, da fabricante Autodesk, necessita de pagamento de anuidade para uso. Realizando a contratação do plano anual o custo dessa aquisição é de R\$ 3.780,00. Os demais programas, da fabricante Ultimaker, são oferecidos gratuitamente aos usuários de impressoras da marca, portanto, não geram custos para o projeto.

#### e) Depreciação

A depreciação representa a queda de preço, ou perda contábil de um item. No caso estudado, a depreciação vai incidir sobre o equipamento principal (a impressora) e seus acessórios principais (*Air Manager* e *Dry Unit*). Além da impressora deve ser considerado também o computador do setor, pois é um ativo que foi comprado para o processo. Será tomado como base uma depreciação de 10% ao ano sobre esses itens.

#### 3.3.2.3 Despesas

As despesas são gastos financeiros de consumo e utilização de bens e serviços ligados ao processo de administração da empresa. Como foi possível ver ao longo do trabalho, não houve alteração na estrutura administrativa do setor ou adição de processos que causassem custos administrativos além do que o setor já previa.

### 3.3.2.4 Perdas

Ao longo do primeiro ano de atuação da impressora foi possível detectar perdas de matéria prima por alguns motivos, são eles:

- Perdas por peças de teste, ou seja, peças que foram impressas, mas que não passaram no processo de validação;
- Perdas causadas por fim de filamento, quando o filamento disponível na bobina não é suficiente para impressão completa da peça e ela acaba sendo perdida, ou quando o filamento não é suficiente para impressão (nesse caso o projetista não chega a iniciar a impressão);
- Má calibração da mesa de impressão pode causar inconformidades na peça, que podem causar deformações que irão condenar o modelo;
- Armazenamento inadequado do filamento pode causar acúmulo de umidade e, em muitos casos, chega a ser irreversível, causando perda total da bobina.

É possível perceber que a maioria desses erros pode ser evitada, sendo a maioria causados por inexperiência dos profissionais responsáveis ou por falta de conhecimento. Nesse sentido, serão considerados como perdas 50% de todo custo com materiais no primeiro ano e 10% para os anos seguintes.

Feitos todos esses levantamentos e considerações, a tabela 4 sintetiza todas as informações referentes aos gastos financeiros, com despesas e custos, fixos e variáveis, e depreciação, para realização do fluxo de caixa.

Tabela 4 – Gastos do projeto

| <b>Gasto</b>         | <b>Valor</b>   | <b>Condição</b> |
|----------------------|----------------|-----------------|
| Investimento inicial | R\$ 104.475,00 |                 |
| Depreciação          | R\$ 9.947,50   |                 |
| Custos variáveis     | R\$ 1.160,19   | No 1º ano       |
| Custos variáveis     | R\$ 955,10     | Após o 1º ano   |
| Custos fixos         | R\$ 8.483,00   |                 |
| Despesas fixas       | -              |                 |
| Despesas variáveis   | -              |                 |

Fonte: Autor

Vale ressaltar que os custos variáveis ligados à matéria prima, ou seja, custos de produção, já estão sendo descontados do valor do ganho financeiro, portanto não são considerados na tabela 4.

### 3.3.3 Fluxo de caixa livre

Para concluir essa análise financeira, a tabela 5 faz uma análise de fluxo de caixa de 3 anos de investimento, considerando os dados das tabelas 1 a 4.

Tabela 5 – Fluxo de caixa livre

|                                  | Ano 1          | Ano 2          | Ano 3          |
|----------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Receita Líquida                  | R\$ 172.262,76 | R\$ 172.262,76 | R\$ 172.262,76 |
| Custos Variáveis                 | R\$ 1.160,19   | R\$ 955,10     | R\$ 955,10     |
| Despesas Variáveis               | -              | -              | -              |
| <b>Margem de Contribuição</b>    | R\$ 171.102,57 | R\$ 171.307,67 | R\$ 171.307,67 |
| Custos Fixos                     | R\$ 8.483,00   | R\$ 8.483,00   | R\$ 8.483,00   |
| Despesas Fixas                   | -              | -              | -              |
| LaJIDA                           | R\$ 162.619,57 | R\$ 162.824,67 | R\$ 162.824,67 |
| ( - ) Depreciação                | R\$ 9.947,50   | R\$ 9.947,50   | R\$ 9.947,50   |
| LaJIR                            | R\$ 152.672,07 | R\$ 152.877,17 | R\$ 152.877,17 |
| Imposto sobre Renda              | R\$ 45.801,62  | R\$ 45.863,15  | R\$ 45.863,15  |
| <b>Lucro Operacional Líquido</b> | R\$ 106.870,45 | R\$ 107.014,02 | R\$ 107.014,02 |
| ( + ) Depreciação                | R\$ 9.947,50   | R\$ 9.947,50   | R\$ 9.947,50   |
| Fluxo de Caixa Operacional       | R\$ 116.817,95 | R\$ 116.961,52 | R\$ 116.961,52 |
| Investimento                     | R\$ 104.475,00 |                |                |
| Fluxo de Caixa Livre             | R\$ 12.342,95  | R\$ 116.961,52 | R\$ 116.961,52 |

Fonte: Autor

Para realização desse fluxo de caixa, foi considerado a receita líquida como os ganhos obtidos com a impressora 3D calculados na tabela 1. Os custos e despesas, fixos e variáveis, estão mostrados na tabela 4, sendo que as despesas foram desconsideradas por não ter alterações no corpo administrativo da empresa para implementação do projeto.

Em seguida, após a subtração das despesas do valor de receita líquida foi calculado o Lucro Operacional Antes de Juros, Imposto de Renda, Depreciação e Amortização (LaJIDA), e ao subtrair a depreciação, torna-se o Lucro Operacional Antes de Juros e Imposto de Renda (LaJIR).

Por fim, com o acréscimo da depreciação foi definido o Fluxo de caixa livre, sendo que no primeiro ano foi considerado todo o investimento inicial do projeto, o que reduz de forma significativa o fluxo de caixa livre do ano 1.

Da tabela 5, conclui-se que o investimento tem um retorno financeiro muito positivo, pois apresenta fluxo de caixa positivo já no primeiro ano (mesmo com todo investimento inicial). Se forem considerados os 3 primeiros anos, com uma taxa de atratividade de 15%, o VPL será de R\$ 176.076,80. Além disso, o valor da Taxa Interna de Retorno (TIR) obtido foi de 97% para o período analisado. Esses valores reforçam a viabilidade econômica do investimento e mostram como a impressora 3D tem retornos financeiros rápidos.

### **3.4 Análise de viabilidade técnica**

Com o levantamento dos ganhos e gastos do investimento, foi possível ver como a impressora configura um investimento economicamente viável com uma taxa de atratividade bem alta. No entanto, esse não foi o único benefício da aplicação da impressora 3D encontrado. Diversos problemas dentro da cervejaria tiveram solução na impressão 3D, ainda que não estejam diretamente ligados à ganhos financeiros, indiretamente trazem benefícios significativos

Essa parte do estudo visa explicar esses benefícios mostrando alguns exemplos de aplicações e seus impactos. Para isso, foram separados alguns pontos onde foram observados intervenção da manufatura aditiva com impacto positivo.

#### ***3.4.1 Redução de capital empregado***

É fato que, elevados níveis de estoque representam um capital empregado alto, que pode ter impacto negativo dentro de uma companhia. Motivo disso é que esse capital representa um imobilizado que poderia estar sendo empregado em outras atividades, promovendo melhorias, inovações ou expansões de linha. Além disso, administrativamente apresenta outros problemas, como dificuldade em inventário, risco de deterioração e necessidade de armazenamento.

Com o uso da manufatura aditiva esses problemas podem ser reduzidos, pois o fato de produzir a peça a um custo mais baixo reduz esse valor de capital e os riscos administrativos. Utilizando como exemplo os dados da tabela 4, com apenas 8 modelos que já

foram validados já é possível reduzir o que seriam R\$ 172.262,76 para apenas R\$ 12.583,72, além do fato de totalizarem 310 peças que não precisam ser mais armazenadas, podendo serem produzidas sob demanda.

Além disso, essa substituição apresenta uma discreta melhoria na rotina dos analistas de PCM pela mitigação das necessidades de *follow-up*. A possibilidade de “fazer em casa” uma peça que sairia de outro estado (até mesmo outro país), passaria por diversos domínios – fornecedor, transportadora, fiscalização etc.- e em todos eles necessitariam de acompanhamento do PCM para garantir sua chegada, traz um certo conforto operacional para o setor.

### 3.4.2 Melhorias operacionais

Na atuação diária do profissional de PCM, é muito comum utilizar as ferramentas de TPM para resolver problemas operacionais e melhorias de sistemas produtivos. Essas ações visam aumentar a confiabilidade operacional dos equipamentos e acabar com falhas inesperadas. A utilização da metodologia TPM visa utilizar ferramentas da gestão da qualidade para melhorar a eficiência global dos equipamentos. Uma das ferramentas do TPM é o *poka-yoke*, que consiste na técnica de dispositivos simples utilizados para mitigar erros humanos nos processos produtivos.

Nesse contexto, diversas oportunidades de melhorias são observadas como oportunidades de impressão 3D. Isso se deve ao fato de que soluções simples, como suportes, gabaritos ou sistema de gestão visual podem ter grandes impactos operacionais, se bem aplicados. A Figura 14 mostra um exemplo de melhoria aplicada junto ao time de impressão 3D.

Figura 14 – Trava da regulagem do expulsador de garrafas



Fonte: Próprio autor

Na Figura 14, é possível observar um “copo” sobrepondo-se ao regulador de pressão de ar do sistema, impedindo o acesso ao regulador. Nessa situação, foi constatado, através de um time de melhoria, em uma parceria da manutenção com o setor de envasamento, que um dos modos de falha do tombamento de garrafas no trecho após o expulsador era causado pela falta de padronização na pressão do expulsador. Dessa forma, uma das soluções encontradas foi realizar o travamento da regulagem, através de um protótipo desenvolvido totalmente pela equipe de manufatura aditiva, sem qualquer necessidade de dependência de fornecedores externo, e por um valor muito baixo.

Outro exemplo que gerou um elevado impacto operacional pode ser visto na Figura 15.

Figura 15 – Gabarito do transporte de latas vazias



Fonte: Próprio autor

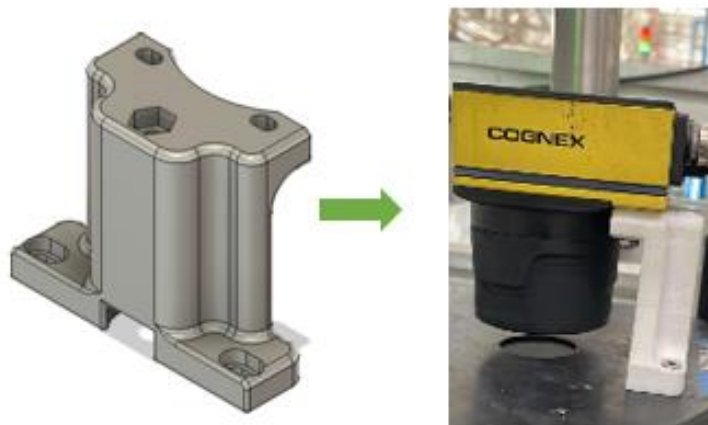
Esse dispositivo foi projetado com o objetivo de mitigar as pequenas paradas no transporte de latas vazias. Semelhante ao caso anterior, a iniciativa surgiu numa parceria entre as áreas, buscando melhorar a performance no cismático, um equipamento que realiza o transporte de latas vazias. O problema encontrado estava na incapacidade do equipamento de manter a altura entre as chapas inferior e superior, ocasionando congestionamento no transporte. A solução encontrada foi produzir esse gabarito regulável, de rápida aplicação, para que a altura entre as chapas se mantenha fixa durante o funcionamento do equipamento. A regulagem serve para que uma mesma bitola atenda todos os tamanhos de lata que são produzidos pela unidade.

### 3.4.3 Itens sem reposição automática

Para fazer análise de viabilidade econômica foram utilizados os itens que possuem demanda periódica e que vão garantir um retorno anual fixo. Esses itens representam parte das compras que são feitas pelo setor de PCM, no entanto, a outra parte é composta por itens que não possuem previsibilidade de substituição e sua necessidade de troca surge em momento de falha, ou próximo a ela. Esse tipo de situação exige uma solução rápida e eficaz, para evitar que paradas indesejadas causem impactos de produção.

Nesse contexto, é de extrema importância um olhar voltado para as peças de classificação C, que são compradas apenas por demanda, mas se trata de itens críticos. A Figura 16 mostra um exemplo de peça que foi produzida pela impressora para atender uma demanda dessa natureza.

Figura 16 – Suporte da câmera do inspetor de datação



Fonte: Próprio autor

O item mostrado é um suporte que tem por objetivo manter a câmera que faz a inspeção das datas da lata no seu lugar. Esse item, no entanto, veio à quebrar no momento da produção, ocasionando parada no transporte após datador, parando a linha toda. Como uma alternativa ao método convencional de compra, foi feito o modelamento da peça em 3D, com um reforço estrutural, visando torná-la mais resistente que a original, e colocado para impressão. Dessa forma, o problema foi resolvido de forma rápida e eficiente, sem a necessidade de contratação de serviços ou compra de peças por fornecedores externos.

### 3.4.4 Itens de segurança

Um dos valores da companhia é a segurança de seus colaboradores em todas as etapas do processo de produção e envio de cerveja. Nesse sentido, a manufatura aditiva também teve suas contribuições, melhorando a segurança dos operadores e garantindo um ambiente de trabalho seguro. A Figura 17 mostra um componente que foi elaborado para acrescentar segurando na rotina dos operadores.

Figura 17 – Prendedor de luva



Fonte: Próprio autor

Apesar de parecer simples, essa peça representa uma mudança radical no cotidiano dos operadores. O início do seu projeto se deu a partir de uma recorrência na companhia: a quantidade de incidente por execução de atividade sem luvas de proteção era alta. A partir de uma análise criteriosa sobre as causas dessa recorrência um problema foi encontrado, o fato de o uniforme dos operadores não ter bolso ou compartimento para guardar as luvas de proteção fazia com que eles rapidamente perdessem seu equipamento de proteção, e mesmo quando não perdiam, não costumava estar por perto.

Nesse contexto, o clipe de luva surgiu como uma alternativa economicamente viável, em vista da proposta de alterar toda a linha de calças do uniforme, e ergonomicamente aceita pelos operadores, reduzindo a quantidade de atividades praticada sem luva de proteção e aumentando a segurança dos colaboradores. O sucesso do projeto foi tanto que outras unidades fizeram a expansão horizontal da iniciativa e passaram a adotar o uso do clipe em suas rotinas de trabalho.

Ainda no contexto de segurança dos colaboradores, um ponto importante das normas de segurança é a proteção de partes móveis. Essa barreira é importante para evitar que contatos humanos, com pontos onde há equipamentos rotativos, ou de movimento linear, possam ocasionar acidentes de trabalho, como pensamento de dedo, cortes, e até mesmo casos mais graves como fraturas e mutilações. A Figura 18 mostra exemplos de manufatura aditiva aplicada à proteção de partes móveis.

Figura 18 – Proteção de partes móveis



Fonte: Próprio autor

Na figura acima são mostrados à esquerda uma tampa de ventoinha e à direita uma tampa de mancal com ponta de eixo. Ambas apresentam uma mitigação de risco de segurança para a operação.

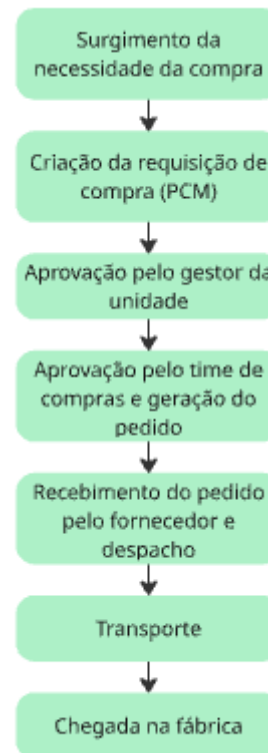
Além dos benefícios diretos à operação, essas ações também trazem ganhos ao setor de PCM. Por se tratar de situações que geram risco aos colaboradores, a ausência dessas proteções causa as chamadas notas de segurança, ou etiquetas de segurança, onde um desvio é aberto indicando a inconformidade e o PCM é responsável por fazer a correção. Por se tratar de um item de segurança, essas anomalias precisam ser corrigidas no tempo mais curto possível, para mitigação imediata do risco. Sendo assim, a manufatura aditiva além de ser a alternativa financeiramente mais rentável, é também a que traz menos embaraços ao PCM.

#### ***3.4.5 Redução de lead time de aquisição de peças***

O *lead time* representa todo o tempo compreendido entre o início de uma atividade e o fim dela. Nesse sentido, no âmbito da aquisição de peças de reposição, o *lead time* é todo o tempo levado desde a geração da solicitação de compras, até a chegada da peça

no almoxarifado da fábrica. A Figura 19 mostra todos os processos para a chegada do material até a fábrica.

Figura 19 – Etapas do processo de compra



Fonte: Próprio autor

Dessa forma, várias barreiras são encontradas ao longo desse processo, tanto o tempo de demora, quanto a necessidade de acompanhamento representam riscos à rotina do profissional de PCM. Utilizando-se de exemplo a peça da figura 8, o pente de transferência do pasteurizador de latas, que demora pouco mais de 22 horas para ser fabricado, o tempo de entrega prometido pelo fornecedor é de 120 dias após o faturamento do pedido. Em alguns casos, para peças específicas, o tempo total de entrega pode ultrapassar os 6 meses.

Nesse sentido, conclui-se que a adoção da manufatura aditiva por meio da impressora 3D representa uma alternativa estratégica para a redução do *lead time* de aquisição de peças de reposição por parte da manutenção. Ao possibilitar a fabricação interna de peças sob demanda, reduz a dependência de fornecedores e externos e elimina etapas do processo de compras e prazos logísticos. Além disso, a produção local permite maior agilidade nas tratativas de falhas inesperadas, contribuindo para o retorno das linhas e aumentando a disponibilidade dos equipamentos.

### 3.5 Considerações finais

Discorridos todos esses benefícios e feitas essas análises relacionados à aplicação da manufatura aditiva a uma indústria de cerveja, é possível concluir previamente a viabilidade econômica e técnica do investimento. No entanto, algumas considerações devem ser feitas acerca dos resultados obtidos e das oportunidades de melhoria que ficam como aprendizado do processo.

Em primeiro lugar, é válido ressaltar que a manufatura aditiva é uma tecnologia bem consolidada no mercado e com várias empresas confiáveis atuando no ramo. Nesse sentido, a livre concorrência no setor ocasionou o aparecimento de empresas confiáveis com preços competitivos. No caso da empresa adotada como fornecedora homologada, os preços tanto de filamentos, quanto da impressora estão muito acima do mercado, e o fato de ser o único fornecedor homologado obriga o PCM a adquirir insumos com eles. Nesse sentido, a adoção de mais fornecedores alternativos para material de impressão pode potencializar os ganhos obtidos com manufatura aditiva.

Outro ponto importante está na taxa de ocupação da impressora 3D, a qual pode ser alavancada para melhorar os ganhos. Se considerar os tempos gastos com impressão de peças de reposição, o tempo total de uso da impressora totaliza pouco mais de 2500 horas que representam 105 dias de trabalho ao longo do ano. É certo que, mais oportunidades devem ser mapeadas para aumentar o leque de *spare parts* produzidos com manufatura aditiva, mas uma gestão melhor dessa taxa de ocupação pode potencializar os *savings*. Vale ressaltar que o estudo analisa o primeiro ano de aplicação da impressora, portanto, mais oportunidades podem ser encontradas e o ganho nos anos seguintes pode ser muito maior.

Alinhado à essa ideia, tem o fato de que a unidade estudada representa uma cervejaria pequena, quando comparada as demais do grupo. Esse fator tem consequência direta na quantidade de oportunidades de peças passíveis de manufatura aditiva, pois a quantidade de peças é numericamente maior. Tal fato também se deve à ausência de um profissional dedicado a ficar totalmente voltado às atividades de manufatura aditiva, procurando oportunidades, modelando peças e promovendo melhorias

Por fim, é necessário destacar que os pontos levantados na viabilidade técnica dependem totalmente da expertise do time e sua capacidade de resolver problemas e encontrar caminhos usando a manufatura aditiva. Essas iniciativas promovem melhorias na fábrica, aumentam a confiabilidade operacional e a disponibilidade dos equipamentos, tendo impacto

financeiro indireto que não é considerado no cálculo por não representar a regra do jogo e não ter demanda constante.

## 4 CONCLUSÃO

O trabalho cumpre seu objetivo de analisar a viabilidade técnica e econômica da implementação de uma impressora 3D no setor de Planejamento e Controle de Manutenção de uma cervejaria localizada no estado do Ceará, considerando o contexto industrial, as dificuldades logísticas, a necessidade de redução de custos e o aumento da competitividade no setor cervejeiro.

O estudo é persistente quando, através da apresentação do contexto da empresa e de suas características, mostra que o ambiente de alta competitividade e desafiador torna-se um palco para a inovação e soluções estratégicas que aumentam a autonomia do setor de manutenção e reduzem os custos de fabricação, ao mesmo tempo que diminui o *lead time* de aquisição de peças.

Foi mostrado, através de análise financeira, que a substituição de compra de determinadas peças por fabricação interna via impressão 3D proporciona uma redução substancial de gastos de manutenção. Os resultados mostraram que os resultados obtidos mostraram que os ganhos concebidos por manufatura aditiva para alguns itens de troca anual justificam o investimento no projeto já no primeiro ano, além de poupar esforços do time de PCM nas questões administrativas das aquisições de peças.

Do ponto de vista técnico, a impressão 3D mostrou-se uma grande aliada ao setor ao contribuir com a redução do lead time de peças, promover ações de melhoria como parte do programa de TPM da fábrica, contribuir com a segurança operacional e a mitigação de riscos, além de promover maior flexibilidade para atendimento das demandas de manutenção.

Dessa forma, é possível concluir que a manufatura aditiva no setor de Planejamento e Controle de Manutenção representa uma solução estratégica para aumentar a eficiência operacional, promover a redução de custos de manutenção, fortalecer a autonomia da manutenção e, conseqüentemente, aumentar a competitividade da empresa. Além do benefício econômico, a tecnologia agrega valor ao ser uma ferramenta de inovação da manutenção que gera agilidade, autonomia e eficiência.

Por fim, é sugerido que algumas ações sejam tomadas para potencializar os retornos obtidos, como a exploração de novos fornecedores, mapeamento de mais peças para validação e melhoria da gestão da taxa de ocupação da impressora.

## REFERÊNCIAS

- REGO, J. R.; MESQUITA, M. A. **Controle de estoque de peças de reposição: uma revisão da literatura**. Produção, São Paulo, v. 21, n. 4, p. 645-655, out./dez.2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/prod/a/V8C9mztm5B8Lk9pFJkQmF9y/> . Acesso em: 13 nov. 2025.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012.
- VIANA, H. R. G. **Planejamento e controle da manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.
- XENOS, Harilaus G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.
- BRANCO FILHO, Gil. A **Organização, o planejamento e o controle da manutenção**. Ciência Moderna, 2008.
- NETO, Roberto Barreto. **Estudo da viabilidade econômica sobre implantação do processo de recuperação plástica em indústria calçadista a partir da aplicação de Gerenciamento de Projetos**. 2018. 54 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- CAMPOS, R. S.; SIMON, A. T. **Benefícios da otimização do estoque de peças de reposição em conjunto com as operações de manutenção**. Exacta, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 1-15, 2021. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/exacta/article/view/8399>. Acesso em: 14 out. 2025.
- ZHANG, S.; HUANG, K.; YUAN, Y. **Spare parts inventory management: a literature review**. Sustainability, Basel, v. 13, n. 5, p. 2460, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/5/2460>. Acesso em: 15 out. 2025.
- SILVA, W. A. da. **Gestão dos estoques de peças de reposição para manutenção (MRO)**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2020. Disponível em: <https://lalt.fecfau.unicamp.br/wp-content/uploads/2020/07/tcc-161.pdf>. Acesso em: 21 out. 2025.
- ASSAF NETO, A. **Finanças corporativas e valor**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2012.
- GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira**. 12. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.
- SOUZA, A.; CLEMENTE, A. **Decisões financeiras e análise de investimentos**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

- YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- VOLPATO, Neri. **Manufatura aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D**. São Paulo: Blucher, 2017.
- BERMAN, B. **3-D printing: The new industrial revolution**. *Business Horizons*, v. 55, n. 2, p. 155 - 162, 2012.
- GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B. **Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing**. 3. ed. New York: Springer, 2021.
- HOLMSTRÖM, J.; PARTANEN, J.; TUOMI, J.; WALTER, M. **Rapid manufacturing in the spare parts supply chain**. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 21, n. 6, p. 687 - 697, 2010.
- KHAJAVI, S. H.; PARTANEN, J.; HOLMSTRÖM, J. **Additive manufacturing in the spare parts supply chain**. *Computers in Industry*, v. 65, n. 1, p. 50 - 63, 2014.

