



Universidade Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação Lato Sensu
Engenharia Industrial 4.0



GABRIELA SERAFINI
PAULA FERNANDA LANZARINI
SARAH VITORINO ESTEVAM DIAS

**PROJETO BLACK BELT: AUMENTO DO OEE EM INDÚSTRIA DE
ALINHADORES DENTÁRIOS ATRAVÉS DA METODOLOGIA DMAIC**

CURITIBA

2022

GABRIELA SERAFINI
PAULA FERNANDA LANZARINI
SARAH VITORINO ESTEVAM DIAS

**PROJETO BLACK BELT: AUMENTO DO OEE EM INDÚSTRIA DE
ALINHADORES DENTÁRIOS ATRAVÉS DA METODOLOGIA DMAIC**

Monografia apresentada como resultado parcial à obtenção do grau de Especialista em Engenharia Industrial 4.0. Curso de Pós-graduação Lato Sensu, Setor de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Me. Anderson Donato

**CURITIBA
2022**

RESUMO

Este trabalho foi realizado visando a conclusão do curso em Engenharia de Qualidade 4.0 e obtenção da certificação *Black Belt*. Para isso foi desenvolvido um projeto de melhoria de processo utilizando a metodologia *Lean Six Sigma* na empresa ClearCorrect. O projeto teve como objetivo aumentar o indicador de OEE – *Overall Equipment Effectiveness*, que traduzido seria o indicador de Eficiência Geral do Equipamento, da linha de produção de alinhadores dentários e de modo específico no setor de impressão 3D. O aumento do OEE é um habilitador para aumentar a capacidade produtiva desta planta industrial diminuindo a necessidade de compra de mais impressoras. Este indicador mensura o potencial produtivo utilizando três vertentes: disponibilidade, produtividade e qualidade. Seguindo os passos da metodologia DMAIC (*Define* – Definir; *Measure* – Medir; *Analyze* – Analisar; *Improve* – Melhorar; *Control* – Controlar) foi encontrado o principal ofensor do OEE: impressoras paradas para manutenção devido a molas travadas, reduzindo a disponibilidade das máquinas. Foram testadas e validadas duas soluções para o problema: manutenção preventiva das impressoras incluindo limpeza do sistema onde ficam as molas e redução do diâmetro das molas. A equipe do projeto definiu, juntamente com os especialistas da área, o plano de ação para implementação das soluções. A finalização das ações ocorreu após o prazo limite de conclusão do projeto, porém ficou acordado entre as partes que a empresa realizaria o acompanhamento dos resultados. Porém, é importante destacar que além das metas de aumento do indicador de eficiência, atrelado a oportunidades de ganhos financeiros o desenvolvimento do projeto proporcionou visibilidade dos problemas de maior impacto em relação a disponibilidade das impressoras evidenciando a necessidade da utilização dos dados para avaliação dos processos.

Palavras-chave: *Lean Six Sigma*; *Black Belt*; OEE.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - Scanner Intraoral Virtuo Vivo - ClearCorrect	8
FIGURA 2 - Alinhador invisível - ClearCorrect	8
FIGURA 3 - Linha das impressoras 3D ClearCorrect	9
FIGURA 4 - Histórico indicadores	12
FIGURA 5 - SIPOC do processo de impressão 3D	14
FIGURA 6 - Árvore de estratificação do problema	16
FIGURA 7 - Planilha DownTime	17
FIGURA 8 - Relatório BI para checagem do porcentual de apontamento de máquina parada	17
FIGURA 9 - Gráfico de Pareto com os principais motivos de parada de máquina	18
FIGURA 10 - Mecanismo TILT passando por manutenção. O TILT são molas amarelas apoiadas que trabalham por dentro de um eixo	20
FIGURA 11 - Tempo de máquina parada por mola travada de out/21 a mar/22	21
FIGURA 12 - Tempo de máquina parada por mola travada por impressora	21
FIGURA 13 - Racional meta específica	22
FIGURA 14 - Fluxograma do processo de impressão 3D	23
Figura 15 - Matriz GUT para priorização das causas potenciais	25
FIGURA 16 - Fotos da conferência do nivelamento das impressoras	26
FIGURA 17 - Print do cronograma de manutenções preventivas no SAP	26
FIGURA 18 - Print do checklist com limpeza do sistema TILT	27
FIGURA 19 - Tabela de conferência da presença de O-ring	28
FIGURA 20 - Teste de hipóteses feito no Minitab	28
FIGURA 21 - Tabela de contenção de riscos	30
FIGURA 22 - Plano de ação para implementação da solução	31
FIGURA 23 – Acordo equipe e empresa (via e-mail)	32

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Método DMAIC.....	6
TABELA 2 – Histórico indicadores.....	11
TABELA 3 – Cálculo <i>saving</i>	13

CONTEÚDO

1. INTRODUÇÃO	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. METODOLOGIA SEIS SIGMA	6
3. METODOLOGIA DMAIC PARA RESOLUÇÃO DO PROBLEMA.....	7
3.1. DEFINE.....	7
3.1.1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E META GLOBAL	7
3.1.2. DESCRIÇÃO DO INDICADOR.....	9
3.1.3. COMPORTAMENTO HISTÓRICO	11
3.1.4. ESTIMATIVA DE GANHOS	12
3.1.5. FLUXO DO PROCESSO	13
3.2. MEASURE.....	15
3.2.1. FATORES DE ESTRATIFICAÇÃO.....	15
3.2.2. CONFIABILIDADE DOS DADOS	17
3.2.3. FOCOS DO PROBLEMA.....	18
3.2.4. MECANISMO DE IMPRESSÃO 3D.....	19
3.2.5. ANÁLISE DE VARIAÇÃO DOS FOCOS	20
3.2.6. METAS ESPECÍFICAS DOS FOCOS	22
3.3. ANALYZE.....	22
3.3.1. PROCESSO GERADOR DO PROBLEMA.....	22
3.3.2. CAUSAS POTENCIAIS	23
3.3.3. VALIDAÇÃO DAS CAUSAS	25
3.4. IMPROVE.....	29
3.4.1. POSSÍVEIS SOLUÇÕES: PRIORIZAÇÃO E TESTES.....	29
3.4.2. IMPLEMENTAÇÃO DAS AÇÕES.....	32
3.5. CONTROL.....	32
3.5.1. ATINGIMENTO DAS METAS	32
3.5.2. LIÇÕES APRENDIDAS	32
4. CONCLUSÕES	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo utilizar a metodologia Seis Sigma para implementar melhorias na linha de produção de alinhadores dentários na empresa ClearCorrect localizada na cidade de Curitiba – PR. A melhoria consiste em aumentar o OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), ou Eficiência Global do Equipamento, atuando na redução de problemas envolvendo as impressoras 3D. Este projeto está alinhado as metas estratégicas da empresa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. METODOLOGIA SEIS SIGMA

A metodologia Seis Sigma surgiu em 1987, criada por Bill Smith, engenheiro da Motorola na época. Ela tem como intuito reduzir as variabilidades do processo industrial conduzindo ao patamar de quase zero defeitos. A aplicação dessa metodologia trouxe para a Motorola grandes ganhos frente a seus concorrentes, pois propiciou que a empresa comercializasse produtos com melhor qualidade a preços mais baixos. Com isso, a aplicação da metodologia foi difundida para outras empresas, tendo destaque também em outras corporações como General Eletric e Sony (WERKEMA, 2012).

A implementação do Seis Sigma consiste em seguir os passos do método DMAIC, acrônimo inglês para *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*. Em cada uma dessas etapas são realizadas ações para que de modo bem estruturado seja alcançado o objetivo proposto do projeto. As descrições dessas etapas são apresentadas na TABELA 1 (WERKEMA, 2012).

TABELA 1 – Método DMAIC

Etapa	Descrição
D - Define	Definição do escopo do projeto
M - Measure	Localização do foco do problema
A - Analyze	Determinação das causas do problema
I - Improve	Implementação das soluções
C - Control	Verificação do alcance da meta

Fonte: WERKEMA (2012)

3. METODOLOGIA DMAIC PARA RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

Neste tópico será detalhado o desenvolvimento da metodologia DMAIC na identificação e resolução do problema identificado na linha de produção dos alinhadores dentários da empresa ClearCorrect.

3.1. DEFINE

3.1.1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E META GLOBAL

A Neodent é uma marca líder em implantes dentários e soluções odontológicas, pertencente ao Grupo Straumann. Em 2021, a empresa fez a aquisição da Smilink do Brasil, que tem como objetivo tornar mais conhecido e acessível a opção de tratamentos com alinhadores transparentes, sempre com foco na tecnologia e simplicidade dos processos. Com a aquisição, a possibilidade de crescimento escalável foi reforçada porque a produção destes alinhadores, antes terceirizada, agora está centralizada na nova fábrica do Grupo, em Curitiba-PR: ClearCorrect, que hoje é responsável pela produção dos alinhadores das duas marcas do Grupo. (STRAUMANN, 2021).

Na FIGURA 1 é mostrado um exemplo de um Scanner Intraoral para realização do projeto de ajuste dos pacientes. E a FIGURA 2 destaca o alinhador e suas principais características.

FIGURA 1 - Scanner Intraoral Virtuo Vivo - ClearCorrect



Fonte: GRUPO STRAUMANN (2022)

FIGURA 2 - Alinhador invisível - ClearCorrect



Fonte: GRUPO STRAUMANN (2022)

Uma das principais etapas do processo de produção de alinhadores dentários é a impressão dos moldes. Esses moldes são impressos em 15 impressoras 3D instaladas na fábrica, conforme FIGURA 3.

FIGURA 3 - Linha das impressoras 3D ClearCorrect



Fonte: As autoras (2022)

Tendo em vista o cenário de expansão industrial e necessidade de aumento da produção para atender a perspectiva de aumento significativo da demanda, o objetivo é aumentar o indicador de OEE para 75% de acordo com a meta estratégica da empresa.

3.1.2. DESCRIÇÃO DO INDICADOR

Como métrica para avaliação dos resultados do projeto será utilizado o próprio indicador de OEE. Seu conceito foi introduzido por Seiichi Nakajima, um dos principais representantes da TPM (*Total Productive Maintenance*) para avaliar o desempenho de um equipamento e para melhoria contínua dos processos. Esse indicador promove uma visão ampliada da vida útil dos equipamentos e assume que as condições de uso destes é basicamente influenciada pela sua disponibilidade, desempenho e qualidade (KÜGER, 2015).

Na empresa em estudo o OEE é composto pelos indicadores de disponibilidade, produtividade e qualidade, calculados conforme mostrado a seguir.

OEE = Disponibilidade x Produtividade x Qualidade

Sendo:

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{Tempo de trabalho real}}{\text{n}^\circ \text{ de turnos} \times \frac{\text{horas}}{\text{turno}} \times 60 \times \text{n}^\circ \text{ de impressoras} - \text{Parada planejada}}$$

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Produção real}}{\frac{\text{Produção}}{\text{Bandeja}} \times \frac{\text{Tempo de ciclo}}{\text{Tempo de trabalho real}}}$$

$$\text{Qualidade} = 1 - \frac{\text{Peças defeituosas}}{\text{Produção real}}$$

A disponibilidade é calculada na divisão do tempo de trabalho real total (soma do tempo de todas as impressoras) pelo tempo planejado. A produtividade leva em consideração o total de peças impressas em relação à quantidade ideal de acordo com a bandeja e o tempo de ciclo para o período de trabalho real. E a qualidade é calculada pelo número de peças boas (número de peças totais menos o *scrap* - refugo) dividido pelo número de peças totais.

Os dados são obtidos de variadas fontes, sendo algumas automáticas e outras por lançamento manual dos operadores. As principais fontes de informação estão listadas a seguir:

- Disponibilidade
 - Tempo de trabalho real: Gerado automaticamente pelo equipamento (*Jobs_Macro*);
 - Justificativa do tempo parado: Coletado pelos operadores de linha (*DownTime D100*);
- Produtividade:
 - Os dados de produção real são gerados pela finalização das ordens de produção pelo operador no sistema de ERP SAP.
 - Os dados da produção teórica e tempo de ciclo ideal são enviados pela empresa que fornece as impressoras 3D;
- Qualidade:
 - Quantidade de refugo é informado através de preenchimento de formulário pelos operadores da linha.

3.1.3. COMPORTAMENTO HISTÓRICO

Os dados históricos foram considerados de outubro de 2021 a março de 2022 (TABELA 2). Período avaliado com maior aderência de preenchimento das informações.

TABELA 2 – Histórico indicadores

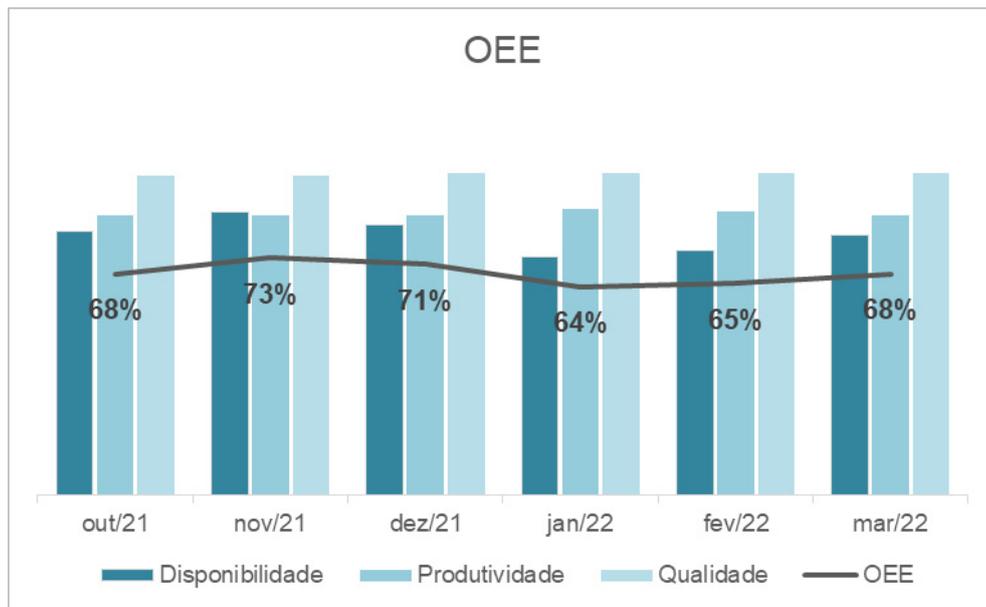
Mês	Disponibilidade	Produtividade	Qualidade	OEE
Outubro/21	81%	86%	98%	68%
Novembro/21	87%	86%	98%	73%
Dezembro/21	83%	86%	99%	71%
Janeiro/22	73%	88%	99%	64%
Fevereiro/22	75%	87%	99%	65%
Março/22	80%	86%	99%	68%
Média	80%	87%	99%	68%
Meta	87%	87%	99%	75%

Fonte: As autoras (2022)

Neste período os indicadores de disponibilidade, produtividade e qualidade tiveram uma média de 80%, 87% e 99%, respectivamente, resultando em um OEE médio de 68%. Para que o objetivo do projeto seja alcançado, as metas individuais para disponibilidade, produtividade e qualidade também foram estabelecidas em 87%, 87% e 99%, respectivamente.

O comportamento dos indicadores também pode ser visualizado pelo gráfico a seguir (FIGURA 4).

FIGURA 4 - Histórico indicadores



Fonte: As autoras (2022)

De outubro a dezembro de 2021 o OEE ficou em média 71%. Neste período o indicador apresentou uma tendência de alta em função de ganhos com a produtividade. Em 2022 o OEE voltou a cair ficando com a média de 65%, nos meses de janeiro a março, principalmente devido à queda do indicador de disponibilidade. Com base nos dados apontados acima, é possível verificar também que apenas o indicador de disponibilidade possui média abaixo da meta estipulada.

3.1.4. ESTIMATIVA DE GANHOS

O principal ganho do projeto será aumentar a eficiência de operação das impressoras, permitindo a expansão da capacidade de produção evitando a necessidade de comprar maior número de impressoras para atender a demanda esperada. A perspectiva é um aumento que resultará na produção de 10 mil peças por dia. Para tanto, verificou-se a quantidade necessária de impressoras tendo em vista o OEE atual e a meta, como pode ser visto na TABELA 3.

TABELA 3 – Cálculo *saving*

Produção	10.000 peças/dia
Capacidade	21 peças/hora/impressora
OEE atual (68%)	27 impressoras
OEE meta (75%)	25 impressoras
Custo por impressora	89.800,00 €
Cost avoidance	179.600,00 €

Fonte: As autoras (2022)

Com a meta de produção de 10.000 peças e sabendo que cada impressora produz 21 peças/hora e que a linha pode ficar ativa durante os 3 turnos (24 horas) tem-se 504 peças/dia/impressora. Se dividirmos a meta de 10.000 peças por 504 peças/dia/impressora precisaríamos de aproximadamente 20 impressoras para produzir 100% com eficiência máxima. Considerando o OEE atual de 68% para atingir esta produção seriam necessárias 27 impressoras, mas com o aumento do OEE para 75% a necessidade diminui para 25 impressoras. Se cada impressora possui um custo de 89.800,00 € há um custo evitado de 179.600,00 €, que corresponde a compra de 2 impressoras.

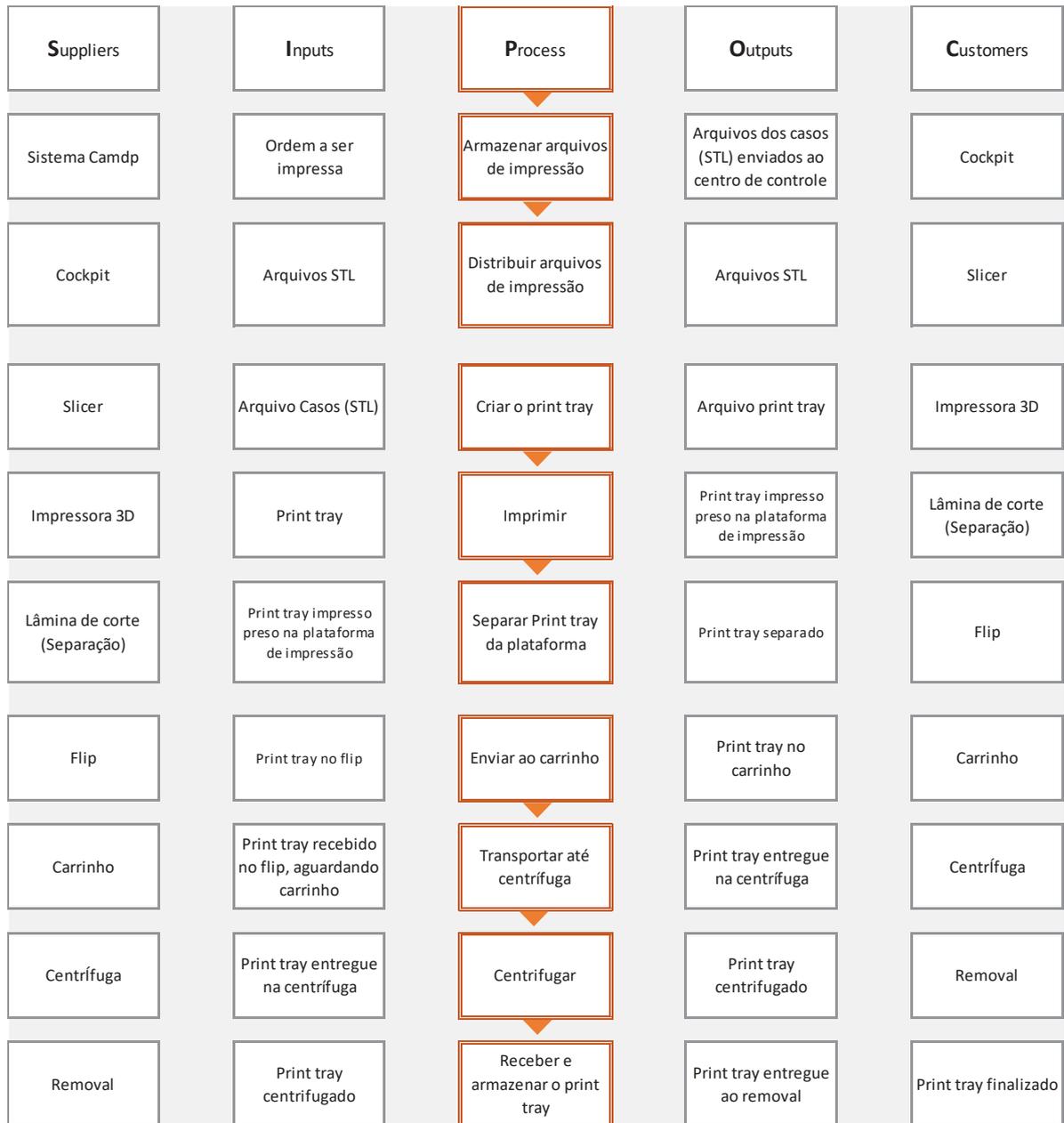
Desta forma, entende-se que o projeto deve ser desenvolvido pois além de estar alinhado com o principal objetivo estratégico da organização também traz retorno financeiro.

3.1.5. FLUXO DO PROCESSO

O fluxo produtivo é iniciado com as ordens pré-estabelecidas pelo setor de PCP (Planejamento e Controle de Produção) até a etapa de embalagem. O produto final segue o prontuário do paciente, com medidas de arcada dentária e descritivos feitos pelo dentista responsável, modulando 6 peças, sendo elas: os alinhadores, *engagers* (*template* para colagem) e *retainers* (utilizados para realinhamento dos dentes). Cada modelo é desenvolvido especificamente para atender a necessidade do cliente, impressos em máquinas 3D e fabricados em plástico termo formado. O projeto atuará na etapa da impressão por isso será detalhado apenas este processo.

Através da ferramenta SIPOC (*Supplier, Input, Process, Outputs e Customer*) o processo de impressão foi mapeado, tendo as principais etapas definidas na FIGURA 5.

FIGURA 5 - SIPOC do processo de impressão 3D



Fonte: As autoras (2022)

O processo de impressão 3D conta com apenas um operador para realizar o preparo dos arquivos que serão moldados, abastecer o refil de resina (matéria-prima utilizada para fabricação das peças) e realizar o acompanhamento até a centrífuga. A fábrica conta atualmente com 15 impressoras e 3 centrífugas.

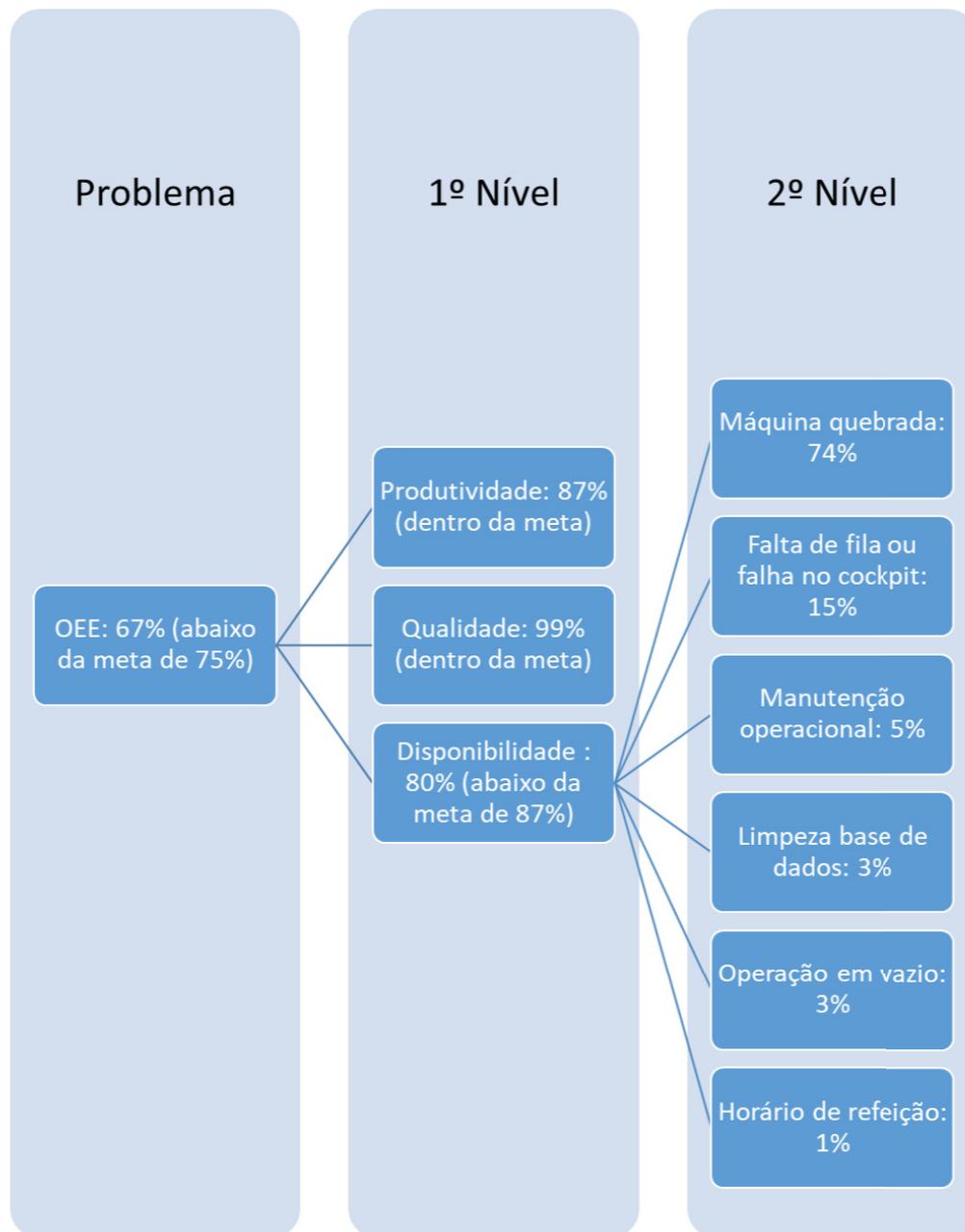
3.2. MEASURE

3.2.1. FATORES DE ESTRATIFICAÇÃO

Conforme apresentado no tópico 3.1.4 é possível avaliar que o maior ofensor para o baixo valor de OEE é o indicador de disponibilidade, o qual será o foco de atuação do projeto.

O indicador de disponibilidade é reduzido caso haja parada de máquinas que não sejam programados. A partir da planilha base *DownTime*, mencionada no item 3.1.3, foi verificado a diferença entre a hora de início e fim para cada parada não programada, onde foi possível diagnosticar as principais causas secundárias na redução da disponibilidade das impressoras 3D. Desta forma, foi construída a árvore de estratificação do problema, conforme FIGURA 6.

FIGURA 6 - Árvore de estratificação do problema



Fonte: As autoras (2022)

Entre as causas de baixa disponibilidade estão: máquina quebrada (74%), falta de fila ou falha no cockpit (15%), manutenção operacional (5%), limpeza na base de dados (3%), operação em vazio (3%) e horário de refeição (1%). A partir da estratificação de segundo nível foi verificado que o fator condicionante para a indisponibilidade das máquinas é a sua quebra.

3.2.2. CONFIABILIDADE DOS DADOS

A principal fonte de dados para estratificação do problema é a planilha *DownTime* (FIGURA 7). Nesta planilha os operadores apontam as paradas de máquina não planejadas com a duração e a justificativa.

FIGURA 7 - Planilha DownTime

Preencher data de início da ocorrência	Preencher data de fim da ocorrência	Selecionar APENAS as impressoras da flechinha na direita,	Selecionar APENAS as paradas da flechinha na direita, NÃO ESCREVER	Y = yes (sim) N = no (não)
Hora de Início	Hora de Fim	Impressora	Parada	Parada planejada? (Y/N)
05/10/2021 14:55	05/10/2021 16:15	219R118425	Problema com cockpit	N
05/10/2021 09:30	05/10/2021 11:10	219R118425	Problema com cockpit	N
05/10/2021 09:15	05/10/2021 11:15	220R127045	Problema com cockpit	N
05/10/2021 10:05	05/10/2021 11:00	219R12410C	Problema com cockpit	N
05/10/2021 10:40	05/10/2021 11:10	219R12411C	Problema com cockpit	N
05/10/2021 10:05	05/10/2021 11:00	219R12412C	Problema com cockpit	N
05/10/2021 10:10	05/10/2021 11:05	220R125823	Problema com cockpit	N
07/10/2021 19:10	07/10/2021 22:30	220R127045	Máquina quebrada	N
07/10/2021 20:02	07/10/2021 22:30	220R125853	Máquina quebrada	N
07/10/2021 18:55	07/10/2021 22:30	219R12413C	Máquina quebrada	N
07/10/2021 19:36	07/10/2021 22:30	219R12414C	Máquina quebrada	N

Fonte: As autoras (2022)

Com o projeto verificou a necessidade de garantir o preenchimento através do confronto destas informações com o tempo de trabalho dado automático pela máquina (banco de dados). Para isso foi criado um relatório utilizando *business intelligence* (BI) o qual mostra o percentual de apontamento (FIGURA 8).

FIGURA 8 - Relatório BI para checagem do percentual de apontamento dos motivos de máquina parada

date	Availability	Percentual_Apontamento
27/07/2021 00:00:00	92,75%	97,92%
26/07/2021 00:00:00	82,39%	98,78%
25/07/2021 00:00:00	0,00%	
24/07/2021 00:00:00	84,51%	92,11%
23/07/2021 00:00:00	85,85%	97,91%
22/07/2021 00:00:00	74,08%	95,30%
21/07/2021 00:00:00	88,06%	88,15%
20/07/2021 00:00:00	81,52%	99,05%
19/07/2021 00:00:00	86,88%	98,83%

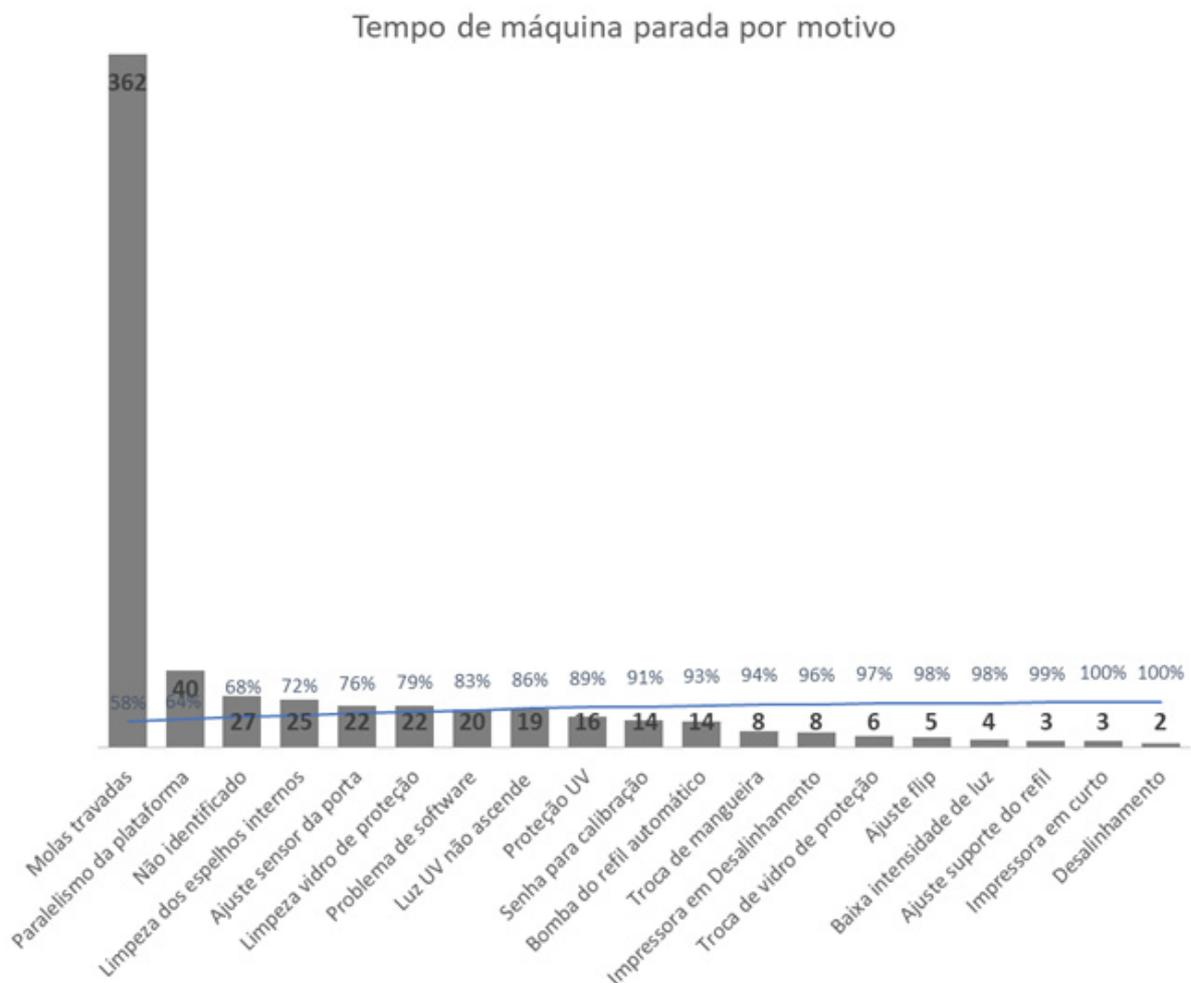
Fonte: As autoras (2022)

Para avaliar a confiabilidade dos dados são realizadas auditorias quinzenais e os relatórios são acompanhados diariamente.

3.2.3. FOCOS DO PROBLEMA

Através da árvore de estratificação mostrada anteriormente foi verificado que o principal ofensor de perda de disponibilidade são as máquinas paradas (impressoras 3D) por quebra. Sendo assim, foram investigados os dados históricos para levantar os principais motivos de quebra de máquina. Foi considerado o período de outubro de 2021 a março de 2022. O gráfico de Pareto dos principais motivos é mostrado na FIGURA 9, abaixo. Nele estão contabilizadas as horas de máquina parada deste período por motivo apontado pela manutenção.

FIGURA 9 - Gráfico de Pareto com os principais motivos de parada de máquina



Fonte: As autoras (2022)

Como pode ser observado no gráfico anterior o principal motivo de máquina parada é mola travada, seguido de paralelismo da plataforma, não identificado, limpeza dos espelhos internos, ajuste sensor da porta e limpeza vidro de proteção. Esses motivos compõem aproximadamente 80% das causas de parada para manutenção. Entre eles há uma classificação como não identificado, neste caso fica como oportunidade atuar na melhoria da identificação e/ou registro dos problemas pelos profissionais da manutenção. Porém, a partir deste gráfico fica evidente o problema de mola travada é muito mais relevante frente aos demais, por isso que este foi considerado o foco de redução do projeto.

3.2.4. MECANISMO DE IMPRESSÃO 3D

Neste tópico será detalhado o mecanismo das impressoras 3D para evidenciar a localização do principal problema identificado: molas travadas. Ao iniciar a impressão, uma plataforma desce e encontra o ponto zero a partir de uma força aplicada no fundo do reservatório. Neste momento, ao receber essa força, o mecanismo conta com uma mola, também chamada de *tilt*, que absorve essa pressão. A cada camada, a plataforma sobe permitindo que a resina contida no reservatório preencha os espaços e desce novamente. O *tilt* funciona dentro de um eixo com espaçamento mínimo, portanto, caso caia resina neste local, devido à alta densidade do material, ocorre o travamento do trabalho do *tilt*.

Caso o mecanismo *tilt* travar entre a absorção e volta a posição original, problema designado como molas travadas, teremos um reservatório desnivelado, visto que o sistema se encontra somente em um dos lados da máquina resultando na perda da impressão e a parada da máquina para aguardar o time de manutenção realizar a limpeza e remontagem do *tilt* (FIGURA 10).

FIGURA 10 - Mecanismo *tilt* passando por manutenção. *Tilts* são molas amarelas.

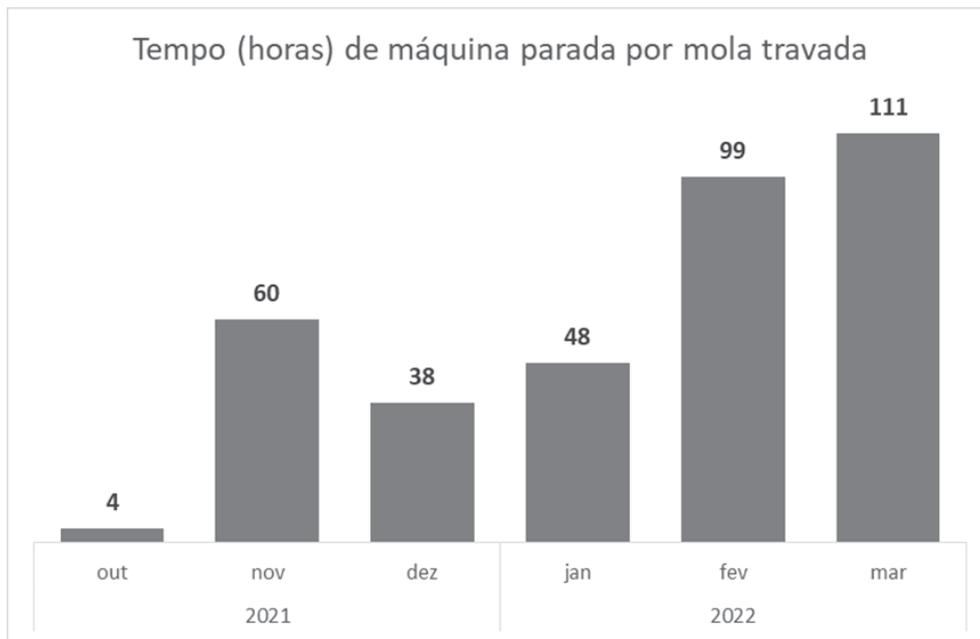


Fonte: As autoras (2022)

3.2.5. ANÁLISE DE VARIAÇÃO DOS FOCOS

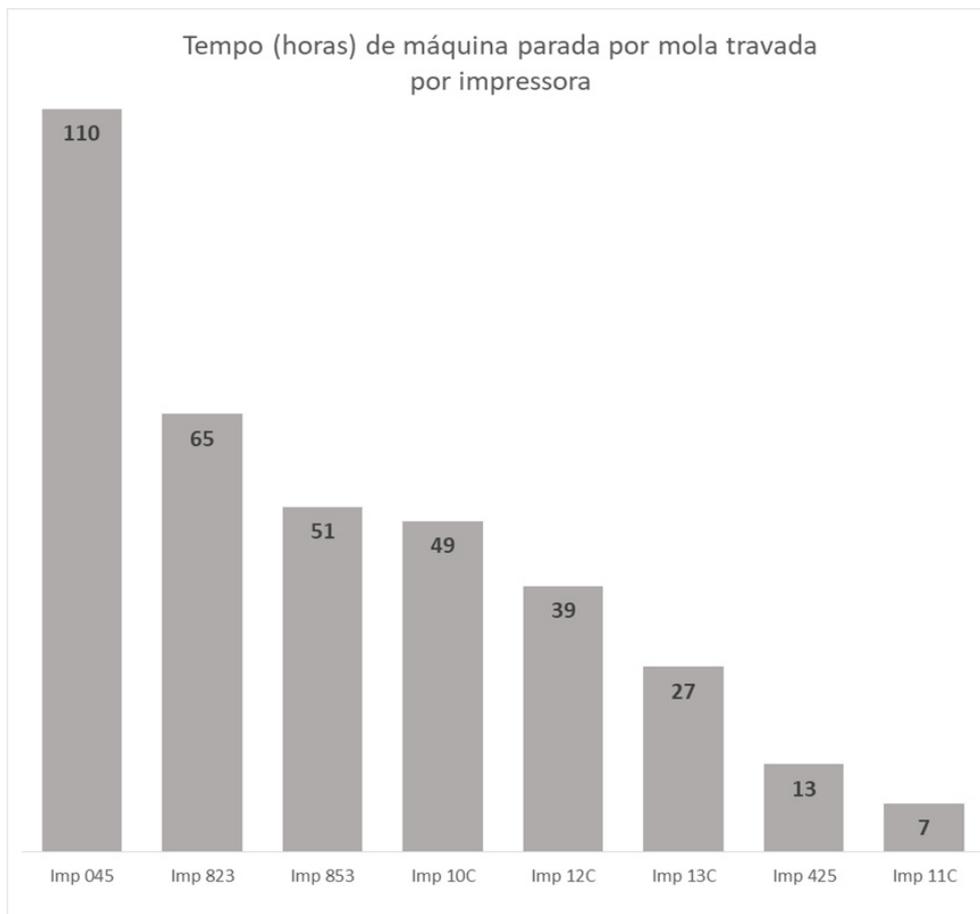
Foram realizadas análises do problema de molas travadas em relação ao tempo e por impressora. A FIGURA 11 mostra o gráfico do tempo de impressoras paradas para manutenção devido ao problema de mola travada no decorrer do período de estudo. É possível observar uma tendência de crescimento desde outubro de 2021 até março de 2022. Já a FIGURA 12 mostra o gráfico com o problema estratificados por impressora. Nele são apresentadas as impressoras com mais tempo de parada por mola travada: LMP045, seguido da LMP823, LMP853, LMP10C, LMP12C, LMP13C, LMP425 e LMP11C.

FIGURA 11 - Tempo de máquina parada por mola travada de out/21 a mar/22



Fonte: As autoras (2022)

FIGURA 12 - Tempo de máquina parada por mola travada por impressora



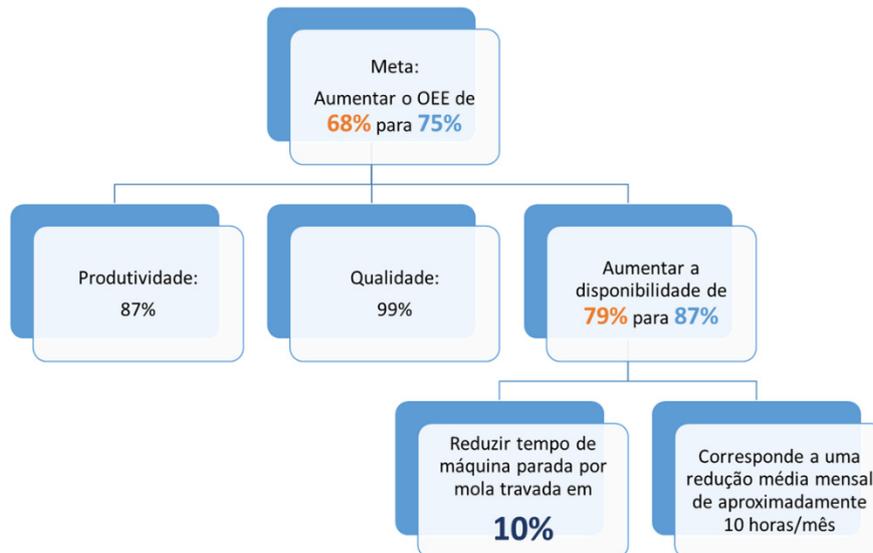
Fonte: As autoras (2022)

3.2.6. METAS ESPECÍFICAS DOS FOCOS

Como foi demonstrado no decorrer do projeto, este atuará apenas com a meta específica de redução de máquina parada por mola travada. No período dos dados considerado para estudo (out/21 a mar/22) as impressoras ficaram paradas para manutenção por mola travada 362 horas. Com base nesse valor será definido o quanto deve ser a meta de redução tendo em vista o atingimento da meta global, como será apresentado no próximo tópico.

A média do indicador de disponibilidade foi de 80%, neste mesmo período as máquinas ficaram paradas por mola travada 362 horas. Com o objetivo de aumentar o indicador de disponibilidade para 87% o tempo de impressora parada deve reduzir para aproximadamente, 329 horas, o que corresponde a uma redução de 10%. O racional da meta específica está apresentado na FIGURA 13 (abaixo).

FIGURA 13 - Racional meta específica



Fonte: As autoras (2022)

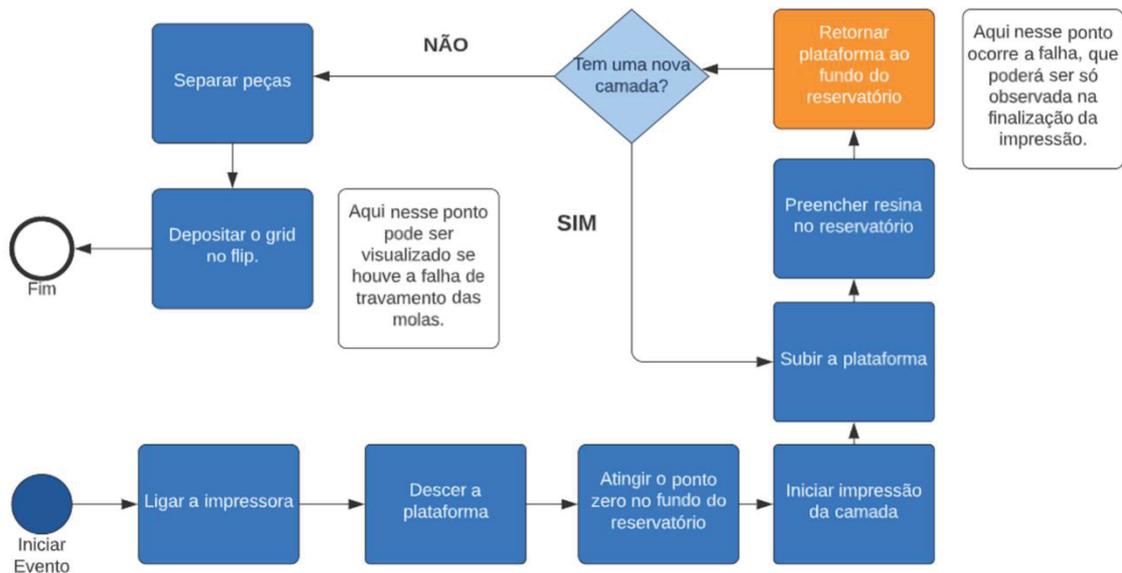
3.3. ANALYZE

3.3.1. PROCESSO GERADOR DO PROBLEMA

Na etapa de Analyze são determinadas as causas de cada problema. A estratificação dos dados mostrou que as molas travadas são o principal problema a ser

priorizado. Para isso é importante analisar o processo gerador através do fluxograma como mostrado na FIGURA 14.

FIGURA 14 - Fluxograma do processo de impressão 3D



Fonte: As autoras (2022)

A falha ocorre durante a impressão das camadas da peça, no qual a plataforma desce até o ponto zero e inicia a impressão até subir novamente até o determinado ponto conforme o número de camadas a serem impressas. O reservatório de resina é preenchido e é avaliado se há novas camadas no projeto. Se sim, repete-se o processo até não haver novas camadas. No momento que a plataforma retorna ao fundo do reservatório pode ocorrer o travamento de molas que só será identificado quando finalizar a peça causando o prejuízo de materiais e tempo.

3.3.2. CAUSAS POTENCIAIS

Dentro dessa etapa foram identificadas e priorizadas as causas potenciais do problema prioritário de travamento de molas. A identificação foi realizada através de *brainstorm* realizado em duas etapas com o primeiro e segundo turno envolvendo os operadores de linha e o Champion do projeto. Foram determinadas que as causas que mais influenciam o problema são:

- Nivelamento de impressora
- Falta de manutenção preventiva
- Tolerância de trabalho do espaço TILT
- Falta de O-rings
- Matriz de treinamento
- Impressora desatualizada
- Rodízio de Operadores
- Agitação excessiva
- Troca de Wipers não realizada
- Wiper não absorve excesso de resina
- Impressora despadronizada
- Limpeza incorreta
- Ausência de checklist
- Quantidade de resina no reservatório

As causas acima estão relacionadas a necessidade de manutenções no próprio equipamento, sem mudanças no mapa do processo o qual se mantém conforme apresentado anteriormente.

Conforme acima foi identificado um grande número de causas potenciais para o problema. A priorização das principais causas a serem atacadas foi feita através da matriz GUT, também conhecida como Matriz de Prioridades. O termo GUT é um acrônimo para:

G = Gravidade: representa o impacto do problema.

U = Urgência: representa o prazo para resolução do problema.

T = Tendência: representa a probabilidade de agravamento do problema se ele não for atacado.

A matriz GUT utiliza esses 3 elementos para classificar e priorizar um problema através de pontuações. Na aplicação feita as maiores pontuações foram elencadas conforme sequência na FIGURA 15.

Figura 15 - Matriz GUT para priorização das causas potenciais

<u>n</u>	<u>descrição</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>soma</u>
<u>1</u>	Nivelamento Impressora	125	64				189
<u>2</u>	Falta de Man. Preventiva	125	45				170
<u>3</u>	Tolerancia de trabalho do espaço TILT	125	24				149
<u>4</u>	Falta de O-Rings	64	24				88
<u>5</u>	Matriz de Treinamento	64	20				84
<u>6</u>	Impressora desatualizada	64	9				73
<u>7</u>	Rodízio de Operadores	27	36				63
<u>8</u>	Agitação excessiva	27	16				43
<u>9</u>	Troca de Wipers não realizada	8	30				38
<u>10</u>	Wiper não absorve excesso de resina	8	30				38
<u>11</u>	Impressora despadronizada	8	12				20
<u>12</u>	Limpeza incorreta	1	1				2
<u>13</u>	Ausencia de CheckList	1	1				2
<u>14</u>	Qtde de resina no reservatório	1	1				2

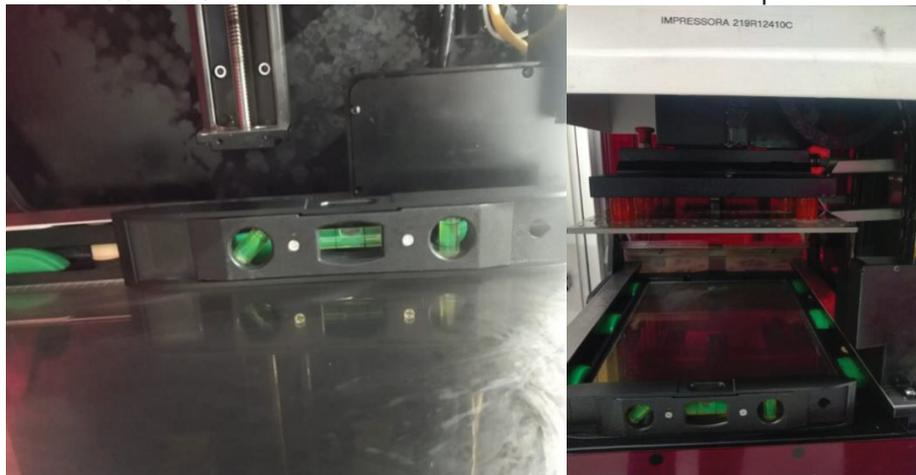
Fonte: As autoras (2022)

3.3.3. VALIDAÇÃO DAS CAUSAS

A validação das causas é importante para identificar a importância e a real relação de cada causa para a solução do problema de travamento das molas. Para cada causa potencial foi necessário realizar um plano de ação para coletar os dados que verificam quais delas realmente contribuem de modo significativo para a ocorrência de molas travadas.

A) Nivelamento das impressoras: O desvio no nivelamento da plataforma foi levantado como uma possível causa do escoamento da resina que causa o travamento de molas. Conforme pode ser observado na FIGURA 16 foram feitas medições para evidenciar a causa. Entretanto, após a medição de todas as impressoras, a conclusão foi de que todas estavam niveladas descartando-se essa causa.

FIGURA 16 - Fotos da conferência do nivelamento das impressoras



Fonte: As autoras (2022)

B) Falta de manutenção preventiva: A falta de limpeza periódica do sistema é possivelmente uma causa de molas travadas. As manutenções preventivas não eram realizadas periodicamente e como ação de melhoria foi elaborado um cronograma de manutenções com *checklist* contemplando a limpeza do sistema TILT (FIGURA 17 e 18).

FIGURA 17 - Print do cronograma de manutenções preventivas no SAP

InícioBase	Texto breve	Local de instalação	Denom.loc. instalação	Data de Status do sistema	Dt real fim
20.06.2022	Preventiva Trimestral IMP-05-14C	4401-CLE-CLEAR-0003	IMPRESSORA 3D	ENTE CONF DMNV IMPA NOLQ SCDM	08.08.2022
	Preventiva Trimestral IMP-06-13C	4401-CLE-CLEAR-0003	IMPRESSORA 3D	ENTE CONF DMNV IMPA NOLQ SCDM	08.08.2022
	Preventiva Trimestral IMP-07-425	4401-CLE-CLEAR-0003	IMPRESSORA 3D	ENTE CONF DMNV IMPA NOLQ SCDM	08.08.2022
	Preventiva Trimestral IMP-08-853	4401-CLE-CLEAR-0003	IMPRESSORA 3D	ENTE CONF DMNV IMPA NOLQ SCDM	08.08.2022
	Preventiva Trimestral IMP-09-045	4401-CLE-CLEAR-0003	IMPRESSORA 3D	ENTE CONF DMNV IMPA NOLQ SCDM	08.08.2022
21.07.2022	Preventiva Trimestral IMP-10-10C	4401-CLE-CLEAR-0003	IMPRESSORA 3D	LIB IMPR NOLQ SCDM	
	Preventiva Trimestral IMP-11-11C	4401-CLE-CLEAR-0003	IMPRESSORA 3D	LIB IMPR NOLQ SCDM	
	Preventiva Trimestral IMP-12-12C	4401-CLE-CLEAR-0003	IMPRESSORA 3D	LIB IMPR NOLQ SCDM	
	Preventiva Trimestral IMP-13-823	4401-CLE-CLEAR-0003	IMPRESSORA 3D	LIB IMPR NOLQ SCDM	
	Preventiva Trimestral IMP-14-21A	4401-CLE-CLEAR-0003	IMPRESSORA 3D	LIB IMPR NOLQ SCDM	
	Preventiva Trimestral IMP-15-199	4401-CLE-CLEAR-0003	IMPRESSORA 3D	LIB IMPR NOLQ SCDM	
20.08.2022	Preventiva Trimestral IMP-15-199	4401-CLE-CLEAR-0003	IMPRESSORA 3D	LIB IMPR NOLQ SCDM	
	Preventiva Trimestral IMP-17-22B	4401-CLE-CLEAR-0003	IMPRESSORA 3D	LIB IMPR NOLQ SCDM	
	Preventiva Trimestral IMP-18-23B	4401-CLE-CLEAR-0003	IMPRESSORA 3D	LIB IMPR NOLQ SCDM	
	Preventiva Trimestral IMP-19-24C	4401-CLE-CLEAR-0003	IMPRESSORA 3D	LIB IMPR NOLQ SCDM	
	Preventiva Trimestral IMP-20-957	4401-CLE-CLEAR-0003	IMPRESSORA 3D	LIB IMPR NOLQ SCDM	
	Preventiva Trimestral IMP-21-415	4401-CLE-CLEAR-0003	IMPRESSORA 3D	LIB IMPR NOLQ SCDM	

Fonte: As autoras (2022)

FIGURA 18 - Print do checklist com limpeza do sistema TILT

Oper	SOp	ConTrab	Pla	Ch	ChMto	C	Tit breve operação	T	Trabalho real	Trab	Un	N	Dur	Un	CdCal	TpAtiv	Recebedor	Pto descarga
0010	FWI-0000	4401	FW01				Sistema TILT	0,000	0,000							PPROCI		
0020	FWI-0000	4401	FW01				Fusos Z e ADM	0,000	0,000							PPROCI		
0030	FWI-0000	4401	FW01				Platforma	0,000	0,000							PPROCI		
0040	FWI-0000	4401	FW01				Bomba Peristáltica	0,000	0,000							PPROCI		
0050	FWI-0000	4401	FW01				Tampa	0,000	0,000							PPROCI		
0060	FWI-0000	4401	FW01					0,0	0,0	HR			HR					
0070	FWI-0000	4401	FW01					0,0	0,0	HR			HR					
0080	FWI-0000	4401	FW01					0,0	0,0	HR			HR					
0090	FWI-0000	4401	FW01					0,0	0,0	HR			HR					
0100	FWI-0000	4401	FW01					0,0	0,0	HR			HR					
0110	FWI-0000	4401	FW01					0,0	0,0	HR			HR					
0120	FWI-0000	4401	FW01					0,0	0,0	HR			HR					
0130	FWI-0000	4401	FW01					0,0	0,0	HR			HR					
0140	FWI-0000	4401	FW01					0,0	0,0	HR			HR					
0150	FWI-0000	4401	FW01					0,0	0,0	HR			HR					
0160	FWI-0000	4401	FW01					0,0	0,0	HR			HR					
0170	FWI-0000	4401	FW01					0,0	0,0	HR			HR					

Fonte: As autoras (2022)

A limpeza do sistema é eficaz para reduzir a incidência de molas travadas, portanto sua realização nas manutenções de forma preventiva comprova a causa.

C) Tolerância do espaço TILT: A diminuição da peça amarela e o aumento do espaço TILT possibilitam que a resina, devido a sua densidade, tenha mais espaço e dessa forma a incidência do travamento é menor. O técnico responsável pelo equipamento emitiu um laudo atestando sobre as mudanças no espaço TILT, sendo que as novas impressoras já apresentam essa melhoria.

Para validar a causa a impressora 10C teve o diâmetro de peça alterado no dia 26/05/22 e não apresentou mais travamento de molas após esse período, bem como as novas impressoras.

D) Falta de O-rings: Foi levantada a hipótese de que a falta da peça O-ring poderia ser a causa de travamento. Na tabela abaixo (FIGURA 19) está a conferência sobre a presença de O-ring. As impressoras marcadas em amarelo têm alta incidência de travamento mesmo com a presença do O-ring, indicando que não seria um fator causador. Para comprovar a causa foi realizado um teste de hipótese correlacionando a quantidade de O-rings por impressora e o tempo de máquina parada por travamento de molas utilizando o *software* Minitab (FIGURA 20).

FIGURA 19 - Tabela de conferência da presença de O-ring

	Impressora	O-Rings
Linha 2	221R13621A	0
	221R136199	0
	221R13620A	0
	221R13622B	0
	221R13623B	0
Linha 3	219R12414C	0
	220R127045	2
	219R12413C	2
	220R125853	0
	221R13624C	0
Linha 5	219R118425	2
	220R125823	1
	219R12412C	0
	219R12411C	2
	219R12410C	1

Fonte: As autoras (2022)

FIGURA 20 - Teste de hipóteses feito no Minitab

One-Sample T: N de Oring

Test of $\mu = 0$ vs $\neq 0$

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	T	P
N de Oring	8	1,250	0,886	0,313	(0,509; 1,991)	3,99	0,005

	C1-T	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	Impressora	Tempo parada	N de Oring				
1	Imp045	110	2				
2	Imp823	65	1				
3	Imp853	51	0				
4	Imp10C	49	1				
5	Imp12C	39	0				
6	Imp13C	27	2				
7	Imp425	13	2				
8	Imp11C	7	2				

Fonte: As autoras (2022)

Parâmetros:

H₀: a presença de O-ring é causa de parada (média igual de 0);

H_1 : a presença de O-ring não é causa de parada (média diferente de 0)

O resultado do teste gerou p-valor menor 0.05 então rejeito H_0 e aceito H_1 , sendo assim descarta-se a hipótese de que a ausência de O-ring é uma causa.

E) Matriz de Treinamentos: Foi levantada a necessidade de melhorar o treinamento das equipes que realizam a limpeza de resina para reduzir acúmulos do material e evitar o travamento de molas. Não há como validar esta causa, porém ficou como um ponto de melhoria do processo

De acordo com os resultados obtidos na validação, as causas fundamentais são:

- Falta de manutenção preventiva que contemple a limpeza do sistema TILT;
- Espaço TILT insuficiente para a contenção da resina.

3.4. IMPROVE

3.4.1. POSSÍVEIS SOLUÇÕES: PRIORIZAÇÃO E TESTES

Através da metodologia foram identificadas duas causas principais para o problema prioritário: falta de manutenção preventiva e adequação da tolerância do espaço do sistema TILT. Sendo assim as soluções serão:

- Realizar a manutenção preventiva nas impressoras incluindo checagem e limpeza das molas de acordo com cronograma estabelecido.
- Diminuir diâmetro das molas. A diminuição do diâmetro das molas é porque o espaço entre elas e o suporte é muito pequeno, então resina ou outras partículas podem bloquear a função da mola que fica presa dentro do eixo, ocasionando o problema designado aqui como mola travada.

Não será necessário priorizar as soluções pois as alterações dos diâmetros serão realizadas durante as manutenções preventivas. Também não será necessário testar as soluções pois ambas foram testadas na etapa anterior do projeto que evidenciou que a realização de manutenção preventiva é uma maneira eficiente de evitar travamento de mola, já que tem como intuito avaliar e corrigir o sistema antes que o problema ocorra e a redução do diâmetro foi validada com os testes realizados na impressora 10C (modelo compatível com as demais), além de ser observado que o problema não ocorre nas novas impressoras que possui diâmetro já alterado.

6.2 LEVANTAMENTO DE RISCOS E PLANO DE AÇÃO

Para as duas soluções foram levantados os riscos e as ações para implementação juntamente com os profissionais da área. Os riscos apontados estão listados na tabela a seguir bem como o plano de contingência (FIGURA 21) e na FIGURA 22 é possível visualizar as ações definidas.

FIGURA 21 - Tabela de contenção de riscos

Descrição	CAUSA FUNDAMENTAL	SOLUÇÃO SELECIONADA	RISCO DA IMPLEMENTAÇÃO (Imaginar que a solução foi implantada - Quais efeitos colaterais podem ser gerados?)	ANÁLISE DE RISCO			PLANO DE CONTINGÊNCIA (Que fazer para minimizar o Risco)
				PROBABILIDADE	IMPACTO	RISCO	
X	Falta de manutenção preventiva	Executar manutenção preventiva	Tempo de manutenção superior ao tempo de parada de máquina ocasionando perda de produção	10%	3	Baixo	Considerar uma janela de tempo maior para esta ocasião. Aumentar tempo de parada programada de 2 horas para 4 horas.
			Não realização da manutenção conforme cronograma	80%	5	Médio	Alinhamento prévio com a manutenção e repasse para o turno que realiza a preventiva (3º turno)
X	Tolerância de trabalho do espaço TILT	Diminuir diâmetro moia (TILT)	Aumento de custos	10%	3	Baixo	Realizar as preventivas apenas no 3º turno conforme plano interno existente
			Alterar diâmetro padrão de fábrica pode ocasionar mal funcionamento ou manutenção não planejada	35%	7	Médio	Comunicar e validar com o fabricante a alteração
			Aumento de custos	10%	3	Baixo	Realizar o retrabalho internamente evitando importação de peças novas

Fonte: As autoras (2022)

FIGURA 22 - Plano de ação para implementação da solução

5W 2H										
Descrição	Causa Fundamental	Solução selecionada a ser implantada	Atividade	Who	When	Why	Where	How	How Much	Status
X	Falta de manutenção preventiva	Executar manutenção preventiva	Definir cronograma de manutenção	Khendal André	23/09/22	Determinar período ideal de realização de manutenção visando prevenir travamento das molas	Produção/Manutenção	Reunião entre o time de produção e manutenção para alinhamento do cronograma	NA	Concluído
			Cadastrar programa no SAP	Khendal André	28/09/22	Padronizar etapas e gerar lembretes da ação	Manutenção	Solicitar alteração de cadastro ao time de planejamento de produção	NA	Concluído
			Executar manutenção de acordo com cronograma	Cassiano Machado	21/10/22	Prevenir ocorrência do problema pela verificação programada das molas	Manutenção	Accionar equipe de manutenção do terceiro turno	Mão de obra interna: a calcular apenas para questão de análise	Em andamento
			Definir diâmetro TILT	Khendal André	16/09/22	Estabelecer tamanho ideal das molas	Produção/Fabricante	Reunião de alinhamento entre produção e fabricante	NA	Concluído
			Programar manutenção para retirada do sistema	Khendal André	23/09/22	Definir data/turno para não comprometer o tempo de produção	Produção/Manutenção	Accionar equipe de manutenção do terceiro turno	NA	Concluído
			Levar peça para ferramentaria para ajuste	Cassiano Machado	19/10/22	Diminuir diâmetro mola com equipe especializada	Manutenção	Accionar equipe de ferramentaria	Mão de obra interna: a calcular apenas para questão de análise	Em andamento
	Tolerância de trabalho do espaço TILT		Montar sistema na impressora	Cassiano Machado	21/10/22	Rodar impressoras com sistema de mola ajustado	Manutenção	Accionar equipe de manutenção do terceiro turno	Mão de obra interna: a calcular apenas para questão de análise	Em andamento

Fonte: As autoras (2022)

3.4.2. IMPLEMENTAÇÃO DAS AÇÕES

A finalização da implementação das ações ocorreu após prazo limite de conclusão do projeto, portanto o acompanhamento do resultado das ações será realizado pela empresa.

3.5. CONTROL

3.5.1. ATINGIMENTO DAS METAS

Conforme descrito no tópico anterior não houve tempo hábil para finalizar todas as etapas do DMAIC e comprovar os ganhos alcançados do projeto, porém foi acordado entre as partes que a empresa seguiria com o acompanhamento dos resultados. Tal acordo pode ser evidenciado na FIGURA 23, a seguir.

FIGURA 23 – Acordo equipe e empresa (via e-mail)

Projeto Black Belt

Fabiano Nascimento

Ter, 25/10/2022 13:52

Para: Sarah Vitorino Estevam Dias

Paula Fernanda Lanzarini

Gabriela Serafini

Boa tarde!

Segue plano de ação em anexo.

As ações estão todas concluídas. Os diâmetros de Tilt já foram alterados em todas as impressoras e estamos coletando dados para etapa de controle.

A etapa de controle agora seguirá em andamento com observação do time interno da Clearcorrect, fazendo adequações ao plano se necessário, seguindo a metodologia utilizada pelo grupo.

Aproveito para reconhecer a resiliência durante o projeto que foi de grande importância para gerar o conhecimento de forma metódica, permitindo se atacar uma única causa raiz com um plano de ação assertivo até então!

Agradeço a troca de experiências que deu um grau maior de maturidade ao time na solução de problemas.

Atenciosamente / Best Regards,

Fabiano Nascimento

Technical Coordinator – Production Excellence

3.5.2. LIÇÕES APRENDIDAS

Um dos principais desafios foi a própria seleção do projeto, porém foi útil para desenvolver senso crítico na avaliação de problemas que se encaixassem na

metodologia. Sendo assim, a etapa do *define* foi mais longa que o planejado, mas o prazo estendido foi necessário para que o problema e a meta fossem mais assertivos.

A execução do projeto mostrou para os envolvidos da empresa a necessidade de aumentar a confiabilidade dos dados, o que fez com que ocorressem mudanças na metodologia da coleta e tratamento das informações. Também evidenciou a necessidade de medir os processos para comprovar através de dados os problemas existentes, porém não dimensionados.

Como nenhum integrante da equipe trabalha na empresa e em um período ainda de pandemia fez com as visitas fossem restritas e o entendimento do processo menos ágil. Aliado à burocracia corporativa fez com que as algumas ações fossem adiadas. Em um outro cenário a principal recomendação é prover maior disponibilidade de visitas ao Gemba.

4. CONCLUSÕES

O desenvolvimento do projeto de melhoria no indicador de OEE no setor de impressoras 3D da empresa Clearcorrect possibilitou a aplicação das ferramentas Lean Six Sigma e da metodologia DMAIC em uma situação real.

Na etapa do *Define* o principal objetivo foi entender o problema e os ganhos para a empresa com a realização do projeto. Considerando que o setor de impressoras 3D é o gargalo no processo produtivo, ficou evidenciado que as melhorias propostas poderiam reduzir o tempo de parada das máquinas possibilitando um aumento de capacidade de produção e, portanto, evitar o custo de compra de novas impressoras. A principal conclusão dessa etapa foi de que o prosseguimento do projeto era de crucial importância e estava alinhado com o planejamento estratégico de ampliar a produção dos próximos anos.

Na etapa do *Measure* o principal desafio foi reunir dados confiáveis para entender o comportamento do problema. Nessa etapa foram verificadas oportunidades de melhorias nas coletas de dados devido a importância dos mesmos para estratificação do problema e encontrar as causas raízes. A principal conclusão dessa etapa foi determinar o travamento de molas como o principal problema a ser atacado para atingir as metas específicas.

Na etapa de *Analyze* foi aprofundado o processo gerador do problema de travamento de molas e foram desdobradas as suas causas potenciais. Diante de várias

causas foi feita a priorização e a comprovação das mesmas para serem trabalhadas na etapa do *Improve*. Apenas as causas de falta de manutenção preventiva e ajuste no espaço de tolerância TILT foram diretamente relacionadas como principais causadoras do travamento de molas.

Devido à complexidade do tema, atualmente a empresa está implementando as soluções da etapa *Improve*. Para isso foi desenvolvido um plano de ação em conjunto com toda a equipe do projeto e foi firmado entre as partes o compromisso da aplicação do plano dentro dos prazos acordados para a conclusão da referida etapa e posteriormente o início da etapa de *Control*.

Os objetivos propostos e o resultado geral ainda não podem ser mensurados, pois dependem do acompanhamento dos resultados após a implementação das ações. Apesar dos ganhos em coletas de dados e melhoria de processo com estabelecimento de manutenções preventivas, ficou claro a complexidade do tema e da necessidade de mais tempo para implementar as melhorias de forma consistente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Grupo Straumann. Disponível em: <<https://www.straumann.com/clearcorrect/br/pt/discover/nova-aquisicao-da-clearcorrect-.html>>. Acesso em: abr/2022.

KÜGER, R. **Melhoria na gestão da capacidade produtiva através da aplicação das ferramentas OEE e UEP nos processos industriais.** p.11. Monografia – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2015.

WERKEMA, C. **Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas.** 1ed. São Paulo: Gen Atlas, 2012.